

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего  
образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование)

15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств

(код и наименование направления подготовки)

Технология машиностроения

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на Разработка технологического процесса изготовления  
тему маховика

Обучающийся

Кошкин Г.А.

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.В. Зотов

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

доцент М.А. Кривова

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

Тольятти 2025

## **Аннотация**

Технологический процесс изготовления маховика.

Выпускная квалификационная является одним из самых важных этапов в обучении и подготовке кадров и молодых специалистов.

Данная работа заключается в создании и разработке технологического процесса изготовления детали, а именно маховика.

В настоящей выпускной работе будут рассмотрены следующие этапы проектирования и разработки.

Первый этап – это анализ исходных данных. Здесь необходимо ознакомиться с конструктивными особенностями маховика. Понять, как он устроен, и какие есть особенности его изготовления.

Второй этап – это технологическая часть работы. На этом этапе важно правильно разработать технологический процесс изготовления маховика.

Третий этап – проектирование станочного приспособления. Здесь нужно произвести расчёт зажимного приспособления, которое используется для захвата маховика при его обработке.

Четвёртый этап – это проектирование режущего инструмента. На данном этапе нужно будет спроектировать инструмент, который используется на определённом этапе механической обработки.

Пятый этап – это литературные исследования. Здесь важно понять и разобраться, какие есть возможности по улучшению качества обработки детали.

Шестой этап – безопасность и экологичность технического объекта. Здесь необходимо ознакомиться с планировкой производственной линии.

Седьмой этап – экономическая эффективность работы.

Далее идут заключение, список используемой литературы и приложения.

## **Abstract**

The title of the graduation work is the «Technological process of manufacturing a flywheel».

The graduation work consists of an introduction, six parts, 5 figures, 12 tables, a conclusion, and a list of 25 references including foreign sources.

The aim of this graduation work is to develop a technological process of the flywheel manufacturing with a minimum cost.

The object of the graduation work is the technology of flywheel manufacturing.

The subject of the graduation work is the development of technological documents for flywheel processing.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are the analysis of the initial data, the technological part, the safety and adaptability of the production site and the conclusion.

The first part describes in details the collection and description of the initial data. These types of data can be the weight of flywheel, a material, which is used for manufacturing a flywheel, an annual product release program. This information is always used to determine the type of production for example. It's also important to have a design drawing, which can be very helpful to analyse geometric characteristics of the flywheel.

The second part outlines the results of a technological part, where we can see the designing of some documents like a part processing plan, a calculation of cutting modes, a cutting tool design and a gripping device design.

The third part consists of learning and analysing of the production site which must satisfy all environmental and occupational safety standards.

In conclusion we'd like to stress that this graduation work has a big significance for young people who would like to be an engineer. Nevertheless, more experimental data are required in order to get more precise calculations.

## Содержание

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                        | 5  |
| 1. Анализ исходных данных .....                                      | 6  |
| 1.1 Анализ служебного назначения и условий работы детали.....        | 6  |
| 1.2 Классификация поверхностей детали .....                          | 7  |
| 1.3 Анализ требований к поверхностям детали .....                    | 8  |
| 1.4 Анализ технологичности конструкции детали .....                  | 9  |
| 1.5 Формулировка задач работы.....                                   | 10 |
| 2 Технологическая часть работы .....                                 | 11 |
| 2.1 Определение типа производства .....                              | 11 |
| 2.2 Выбор стратегии разработки технологического процесса .....       | 11 |
| 2.3 Выбор метода получения заготовки .....                           | 12 |
| 2.4 Выбор метода обработки поверхностей .....                        | 13 |
| 2.5 Определение припусков и проектирование заготовки.....            | 18 |
| 2.6 Разработка технологического маршрута и плана изготовления детали | 21 |
| 2.7 Разработка технологических операций .....                        | 27 |
| 3 Проектирование станочного приспособления .....                     | 33 |
| 4 Проектирование режущего инструмента.....                           | 50 |
| 5 Безопасность и технологичность технического объекта .....          | 63 |
| 6 Экономическая эффективность работы .....                           | 71 |
| Заключение .....                                                     | 75 |
| Список используемой литературы .....                                 | 76 |
| Приложение А .....                                                   | 78 |
| Приложение Б .....                                                   | 80 |
| Приложение В.....                                                    | 82 |

## **Введение**

Выпускная квалификационная работа является важным этапом в подготовке молодых специалистов в области инженерной подготовки.

Данная работа подразумевает, что студент успешно прошёл обучение, освоил основные принципы конструирования и проектирования, научился разрабатывать технологические процессы изготовления деталей. Помимо этого студент также должен уметь разрабатывать конструкторскую и техническую документацию, производить расчёты, а также уметь работать в 3D программах, таких как Компас, SolidWorks, Catia, Siemens NX и другие.

В конце своего обучения студент использует все эти знания и приобретённые навыки, чтобы разработать собственную технологию, конструкторскую документацию и другие виды чертежей. Также студенту предоставляется возможность провести собственные исследования в области проектирования и внести улучшения в уже имеющуюся технологию.

Помимо этого, также стоит понимать, что выпускная квалификационная работа является заключительным этапом. В этой работе присутствуют несколько дополнительных глав, связанных с экономической эффективностью работы, а также безопасностью и экологическими нормами технического объекта производства.

В данной работе есть все основные главы, связанные с разработкой технологического процесса и конструкторской документацией маховика, поэтому она и называется выпускной.

В настоящей выпускной квалификационной работе будет использована информация, полученная из предприятия АвтоВаз, которое на сегодняшний день является одним из передовых инженерных центров по производству автомобилей. Поэтому данная информация является актуальной и может быть использована в дальнейшем в других работах.



## 1.2 Классификация поверхностей детали

Имея при себе эту конструкторскую документацию, нам необходимо произвести небольшой анализ поверхностей данного типа маховика и определить назначение каждой поверхности.

Итак, существуют несколько основных видов поверхностей. Это исполнительная поверхность, основная конструкторская база, вспомогательная конструкторская база, а также свободные поверхности.

На рисунке ниже представлены все поверхности маховика. Как уже видно из рисунка, всего их 29.

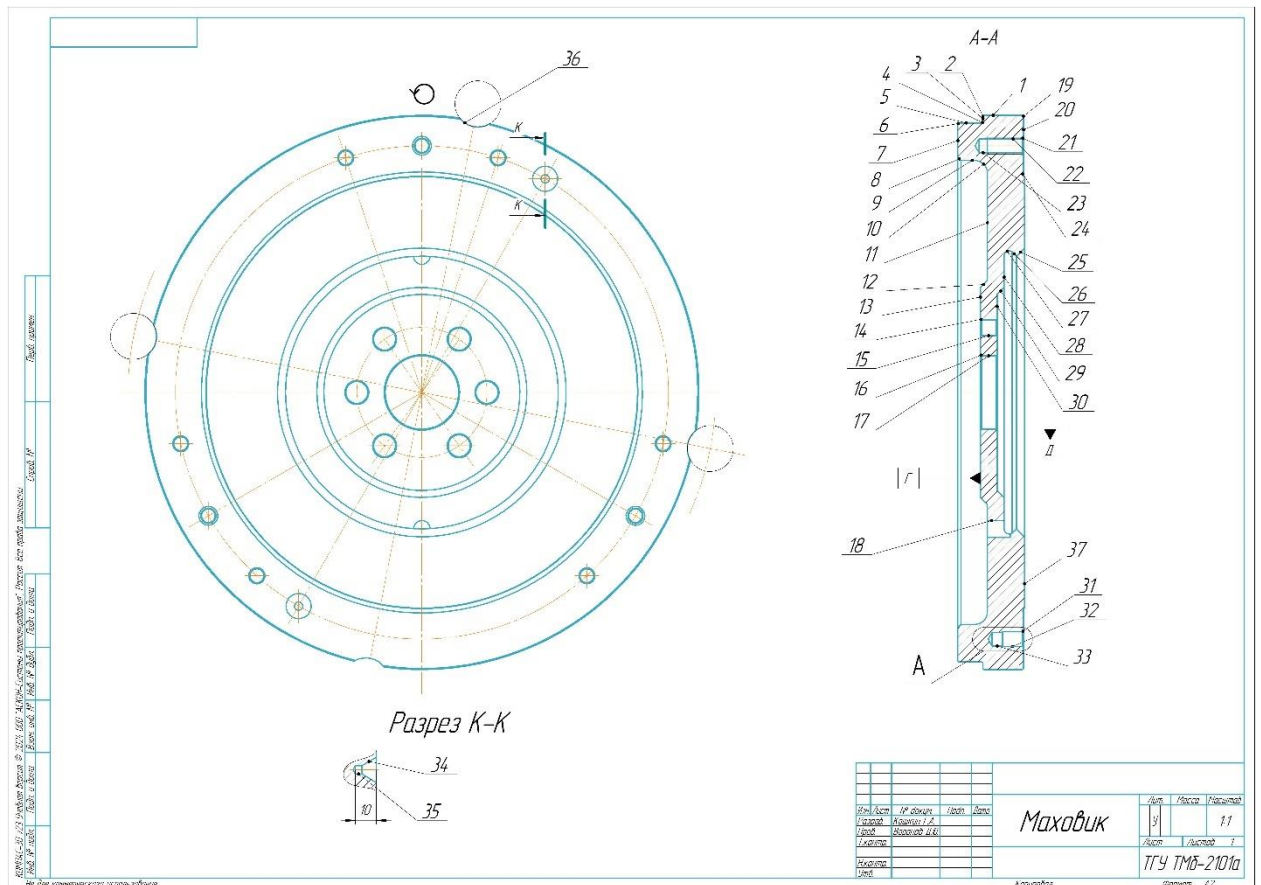


Рис 2 – Классификация поверхностей маховика

Исполнительные поверхности маховика можно назвать поверхности под номерами 1,3,5,7,9,10,11,13,25,27,28,29,30.

Поверхность 1 – на эту поверхность надевают обод зубчатый маховика, который передаёт вращение дальше на привод.

Основная конструкторская база (ОКБ) – это поверхности плоскости и отверстия 13 и 17, которые определяют положение всей детали.

Вспомогательная конструкторская база (ВКБ) – это относится к поверхностям под номером 15,18,22,32,34,35. Эти поверхности нужны для определения положения присоединяемого к маховику изделия в сборке.

Технологическая база – к ней можно отнести поверхности 4, 6. Они служат для определения положения маховика во время его обработки.

Остальные поверхности – свободные.

Все систематизированные поверхности заносим в таблицу 1:

Таблица 1 – Систематизация поверхностей

| Тип поверхности      | Номер поверхности                 |
|----------------------|-----------------------------------|
| Исполнительная       | 1,3,5,7,9,10,11,13,25,27,28,29,30 |
| ОКБ                  | 13,17                             |
| ВКБ                  | 15,18,22,32,34,35                 |
| Технологическая база | 7,20,37                           |

### 1.3 Анализ требований к поверхностям детали

При помощи литературных исследований и информации, полученной от компании АвтоВаз необходимо провести изучение физико-механических и химических свойств материала маховика.

Материал заготовки, используемый для производства маховика: чугун Gh 190.

В состав данного материала входят следующие химические элементы: марганец (Mn) 0,43 - 0,51 %, углерод (C) с содержанием от 3,06 до 3,40%, кремний (Si) 1,64 - 2,53%, фосфор (P) имеет содержание в пределах от 0,028 до 0,045, сера (S) находится в диапазоне от 0,022–0,138 [2].

По физическим свойствам этот материал имеет следующие параметры: твёрдость (HB) 225, предел прочности ( $\sigma_B$ ) 315 МПа.

## 1.4 Анализ технологичности конструкции детали

На этом этапе необходимо определиться с критериями технологичности детали маховика. Чтобы понять на сколько деталь технологична, нужно воспользоваться критериями технологичности.

Существуют много различных критериев, определяющих уровень технологичности той или иной детали. К таким критериям можно отнести:

- а) технологичность заготовки;
- б) технологичность обработки детали;
- в) технологичность самой детали;

Здесь были перечислены основные критерии по технологичности изделия. Стоит отметить, что данная деталь, а именно маховик является телом вращения, имеет все конструктивные отверстия, расположенные на одинаковом расстоянии друг от друга. Поэтому данный вид изделия является технологичным и по форме заготовки, и по геометрическим характеристикам самого изделия.

Что касается технологичности обработки поверхностей маховика. На всех операциях по обработки данной детали применяются операции токарной черновой и чистовой обработки. Также здесь присутствуют операции сверления, зенкерования и развёртывания. Все эти типы операций являются довольно простыми с точки зрения исполнения и реализации. Однако операция развёртывания считается более сложной механической обработкой, так для её реализации требуется довольно точный инструмент и оборудование. Однако такой тип операции применяется только для обработки 3 основных отверстий, поэтому маховик является технологичным по критериям обрабатываемости [3].

## **1.5 Формулировка задач работы**

Таким образом, чтобы выполнить поставленную задачу, необходимо определиться с типом производства, разработать технологический процесс изготовления маховика, разработать и спроектировать режущий инструмент, а также захватное приспособление. Далее нужно разработать планировку участка, на котором будет изготавливаться изделие. Помимо этого также важно оценить экономическую эффективность работы и оценить экологичность и безопасность такого типа производства.

## **2 Технологическая часть работы**

### **2.1 Определение типа производства**

Выбор типа производства считается первым и самым важным этапом в проектировании, так как от этого выбора будет зависеть дальнейшая стратегия работы.

Всего существуют несколько основных типов производства. Это единичное производство, серийное производство, которое также подразделяется на мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производства и массовый тип производства, имеющий самый большой объём выпуска, но ограниченную номенклатуру изделий [4].

Чтобы определиться с типом производства, необходимо иметь при себе начальные данные. Это годовой объём выпуска. У нас он равен 100000 штук. А также это масса маховика, которая равна 7,20 кг.

Используя таблицу определения типа производства, было определено, что тип производства в данном случае – массовый.

### **2.2 Выбор стратегии разработки технологического процесса**

Чтобы выбрать правильную стратегию дальнейшей разработки технологического процесса, необходимо определиться с понятием массового типа производства.

Итак, стоит отметить, что для массового типа производства характерны следующие черты. Это узкая, постоянная и неизменная номенклатура изготавливаемых изделий, применение специализированного оборудования [5]. В массовом производстве практически отсутствует применение универсальных приспособлений. Помимо этого для данного типа производства также характерны низкая квалификация рабочих и низкая себестоимость произведённой продукции.

## 2.3 Выбор метода получения заготовки

Так как наша деталь – это маховик, то это деталь тела вращения. Учитывая её геометрические параметры и выбранный тип производства, можно сказать, что одним из наиболее применимых методов получения такой заготовки – это отливка по выплавляемым моделям или литьё в землю [6]. Это два наиболее распространённых метода получения заготовки для маховика.

Однако стоит выбрать один наиболее эффективный способ, при котором будет самая качественная заготовка. Теперь сравним эти два метода и выберем подходящий.

Для того, чтобы выбрать наиболее удобный способ получения заготовки, необходимо воспользоваться формулой (1.1) для расчёта стоимости заготовки для отливки в землю:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C \times M_{\text{заг}}}{1000} - (M_{\text{заг}} - M_{\text{д}}) \times \frac{C_{\text{от}}}{1000}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{заг}}$  – это масса заготовки в кг. В данном случае она равна 10 кг.

$C_{\text{от}}$  – это стоимость одной тонны отходов, которая равна 11000 руб/т;

$C_{\text{заг}}$  – стоимость заготовки для отливки в землю;

$M_{\text{д}}$  – это масса детали в кг. Для нас эта масса равна 7,20 кг;

$C$  – это стоимость одной тонны материала для отливки. Для чугуна Gh 190 этот показатель равен 45000 руб/т.

Подставляя все имеющиеся данные в формулу, получается, что стоимость такой заготовки равна:

$$C_{\text{заг}} = \frac{45000 \times 10}{1000} - (10 - 7,20) \times \frac{11000}{1000} = 419,2 \text{ руб},$$

Теперь определим стоимость заготовки в литьё по выплавляемым формам. Используем формулу (1) для расчётов. Однако некоторые параметры будут отличаться.

К таким параметрам можно отнести:

$C$  – это стоимость 1 тонны материала заготовки. В этом случае она равна 62000 руб/т.

Подставляем все данные в формулу и получаем следующий результат:

$$C_{\text{заг}} = \frac{62000 \times 10}{1000} - (10 - 7,20) \times \frac{11000}{1000} = 589,2 \text{ руб},$$

Таким образом можно сделать, вывод, что по себестоимости получения заготовки самым дешёвым методом будет отливка заготовки в землю.

## **2.4 Выбор метода обработки поверхностей**

На этом этапе необходимо проанализировать, по какому маршруту будут обрабатываться каждая из поверхностей маховика. Методы обработки поверхностей представлены в таблице 2.

Для поверхности 1 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой токарной обработкой, чистовой токарной и контрольной.

Для поверхности 2 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 3 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой и чистовой.

Для поверхности 4 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой токарной обработкой, чистовой, контрольной.

Для поверхности 5 (Ra 2,0 IT8) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой, контрольной.

Для поверхности 6 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 7 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 8 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 9 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой и чистовой.

Для поверхности 10 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 11 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 12 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 13 (Ra 2,5 IT9) – это операции чернового точения и чистового точения.

Для поверхности 14 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 15 (Ra 2,5 IT9) – это операции сверления, зенкерования и контроля.

Для поверхности 16 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 17 (Ra 2,0 IT8) – это операции, связанные со сверлением, зенкерованием контролем.

Для поверхности 18 (Ra 12,5 IT14) – это операции, связанные со сверлением.

Для поверхности 19 (Ra 12,5 IT14) – это операция снятия фаски.

Для поверхности 20 (Ra 2,5 IT9) – точение черновое и чистовое, тонкое и контроль.

Для поверхности 21 (Ra 12,5 IT14) – это операция нарезания фаски.

Для поверхности 22 (Ra 2,5 IT9) – это операции сверления, зенкерования, нарезания резьбы контролем.

Для поверхности 23 (Ra 12,5 IT11) – это операция сверления.

Для поверхности 24 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 25 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 26 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 27 (Ra 6,3 IT10) – это операции, связанные с черновой механической обработкой, чистовой.

Для поверхности 28 (Ra 6,3 IT10) - это операции черного и чистового точения.

Для поверхности 29 (Ra 6,3 IT10) – операции черного и чистового точения.

Для поверхности 30 (Ra 6,3 IT10) – операции черного и чистового точения.

Для поверхности 31 (Ra 12,5 IT14) – это операции со снятием фаски.

Для поверхности 32 (Ra 2,5 IT6) – это операции сверления, зенкерования, протягивания и нарезания резьбы и контроля.

Для поверхности 33 (Ra 12,5 IT11) – это операция сверления.

Для поверхности 34 (Ra 1,25 IT8) – это операции сверления и зенкования.

Для поверхности 35 (Ra 12,5 IT11) – это операция сверления.

Для поверхности 36 (Ra 12,5 IT14) – данный вид поверхности не подлежит механической обработке, так как предназначен для захвата и транспортировки детали роботом.

Для поверхности 37 (Ra 2,0 IT8) – это операции черного точения, чистового, тонкого и контроля.

Теперь необходимо занести все данные о поверхностях в таблицу 2, в которой представлены методы обработки поверхностей маховика.

Таблица 2 – Методы обработки поверхностей

| №<br>поверх-<br>ности | Вид<br>поверхности  | Квалитет<br>точности | Шероховатость<br>Ra, мкм | Последовательность обработки                                       |
|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1                     | Цилиндри-<br>ческая | 10                   | 6,3                      | черновая токарная обработка,<br>чистовая токарная и<br>контрольная |
| 2                     | Фаска               | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                           |
| 3                     | Плоскость           | 10                   | 6,3                      | операции черновой<br>механической обработки и<br>чистовой          |
| 4                     | Скругление          | 10                   | 6,3                      | черновая токарная<br>обработка, чистовая,<br>контрольная           |
| 5                     | Цилиндри-<br>ческая | 8                    | 2,0                      |                                                                    |
| 6                     | Фаска               | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                           |
| 7                     | Плоскость           | 10                   | 6,3                      | операции черновой<br>механической обработки и<br>чистовой          |
| 8                     | Фаска               | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                           |
| 9                     | Цилиндри-<br>ческая | 10                   | 6,3                      | операции черновой<br>механической обработки и<br>чистовой          |
| 10                    | Скругление          |                      |                          |                                                                    |
| 11                    | Плоскость           |                      |                          |                                                                    |
| 12                    | Фасонная            |                      |                          |                                                                    |
| 13                    | Плоскость           | 9                    | 2,5                      | операция нарезания фаски                                           |
| 14                    | Фаска               | 14                   | 12,5                     |                                                                    |
| 15                    | Отверстие           | 9                    | 2,5                      | операции сверления,<br>зенкерования и контроля                     |
| 16                    | Фаска               | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                           |

Продолжение таблицы 2

| №<br>поверх-<br>ности | Вид<br>поверхности | Квалитет<br>точности | Шероховатость<br>Ra, мкм | Последовательность обработки                                                      |
|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 17                    | Отверстие          | 8                    | 2,0                      | операции сверления,<br>зенкерования и контроля                                    |
| 18                    | Отверстие          | 14                   | 12,5                     | операция сверления                                                                |
| 19                    | Фаска              | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                                          |
| 20                    | Плоскость          | 9                    | 2,5                      | операции точения черногого и<br>чистового, тонкого и контроля                     |
| 21                    | Фаска              | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                                          |
| 22                    | Резьба             | 9                    | 2,5                      | операция сверления,<br>зенкерования, нарезания резьбы<br>контроля                 |
| 23                    | Отверстие          | 11                   | 12,5                     | операция сверления                                                                |
| 24                    | Фасонная           | 8                    | 2,0                      | операции точения черногого и<br>чистового, тонкого и контроля                     |
| 25                    | Фасонная           | 10                   | 6,3                      | операции черновой<br>механической обработки и<br>чистовой                         |
| 26                    | Фаска              |                      |                          |                                                                                   |
| 27                    | Скругление         |                      |                          |                                                                                   |
| 28                    | Плоскость          |                      |                          |                                                                                   |
| 29                    | Фасонная           |                      |                          |                                                                                   |
| 30                    | Плоскость          |                      |                          |                                                                                   |
| 31                    | Фаска              | 14                   | 12,5                     | операция нарезания фаски                                                          |
| 32                    | Резьба             | 6                    | 2,5                      | операции сверления,<br>зенкерования, протягивания,<br>нарезания резьбы и контроля |
| 33                    | Отверстие          | 11                   | 12,5                     | операция сверления                                                                |
| 34                    | Зенковка           | 8                    | 1,25                     | операция сверления и<br>зенкования                                                |
| 35                    | Отверстие          | 11                   | 12,5                     | операция сверления                                                                |
| 36                    | Фасонная           | 14                   | 12,5                     | не подлежит механической<br>обработке                                             |
| 37                    | Плоскость          | 8                    | 2,0                      | операция черногого точения,<br>чистового, тонкого и контроль                      |

Таким образом маховик – это тело вращения. Особенность её геометрии требует определённых нюансов в механической обработке. Однако есть несколько рекомендаций, которые стоит учитывать при проектировании маховика.

Необходимо придерживаться принципа постоянства базирования [7]. Этот принцип очень полезен, так как обеспечивается более высокая точность обработки изделия и минимальные погрешности.

Проводить тщательный контроль всех размеров после каждой операции на обработку. Это поможет предотвратить брак на дальнейших этапах.

Придерживаться принципа совмещения базирования. То есть добиваться совмещения измерительных и технологических баз.

Так как тип производства маховика – массовый, то это предполагает применение специализированных инструментов [8]. Однако в случае проектирования маховика можно применять режущие инструменты универсальные, так как они могут обрабатывать не одну, а несколько различных изделий, что существенно сокращает номенклатуру инструментов и облегчает труд рабочему персоналу.

## **2.5 Определение припусков и проектирование заготовки**

Основная цель данного раздела – это определение минимальных припусков на обработку поверхностей маховика.

Здесь необходимо выбрать одну поверхность на своё усмотрение и произвести расчёт в области определения всех припусков, которые будут проходить на всех технологических операциях по обработке этой поверхности. Для того, чтобы произвести расчёт припусков, необходимо воспользоваться ГОСТ 26645-85.

В качестве такой операции была выбрана поверхность № 37. К данному типу поверхности предъявляются наиболее строгие требования. Операции,

выполняемые на этой поверхности: черновое точение, чистовое точение, тонкое. Поэтому произведём расчёт аналитическим методом.

Для этого важно воспользоваться формулой (1.1) для расчёта минимального припуска поверхности:

$$Z_{min}^i = R_z^{i-1} + h^{i-1} + \Delta_{пр}^{i-1} + \varepsilon_y^i, \quad (2)$$

где  $i$  – это индекс выполняемого технологического перехода;

$R_z^{i-1}$  – это средняя высота неровностей поверхности;

$h^{i-1}$  – это глубина дефектного слоя, который остался после предыдущей обработки;

$\Delta_{пр}^{i-1}$  – это пространственное отклонение поверхности относительно технологической базы;

$\varepsilon_y^i$  – погрешность при установке заготовки на одном из переходов.

Сначала важно определить пространственные отклонения детали маховика [9]. Для этого необходимо использовать формулу (1.2):

$$\Delta_{пр}^i = \Delta_{пр}^{i-1} \times K_y, \quad (3)$$

где  $K_y$  – это коэффициент уточнения, который зависит от способа установки детали в приспособлении.

Теперь рассчитываем пространственное отклонение заготовки:

$$\Delta_{загот} = \Delta_{кор} \times d = 2 \times 208 = 416 \text{ мкм.}$$

где  $d$  – это диаметр обрабатываемой поверхности заготовки.

Далее считаем отклонение при черновом точении:

$$\Delta_{черн} = \Delta_{загот} \times k_y = 416 \times 0,06 = 24,96 \text{ мкм.}$$

Затем производим расчёт чистового отклонения:

$$\Delta_{\text{чист}} = \Delta_{\text{черн}} * k_y = 24,96 * 0,05 = 1,25 \text{ мкм.}$$

Далее рассчитываем отклонение при тонком точении:

$$\Delta_{\text{тонк}} = \Delta_{\text{чист}} * k_y = 1,25 * 0,03 = 0,04 \text{ мкм.}$$

Теперь находим погрешность установки маховика при точении на опорные поверхности, который будет составлять:

$$\varepsilon_y = 80 \text{ мкм.}$$

Теперь идёт расчёт минимальных припусков поверхности № 37. Расчёт сначала определим для чернового точения.

$$Z_{\text{min}}^1 = 50 + 50 + 24,96 + 80 = 204,96 \text{ мкм.}$$

Далее идёт вычисление припуска при чистовом точении.

$$Z_{\text{min}}^2 = 40 + 20 + 1,25 + 80 = 141,25 \text{ мкм.}$$

Теперь производим расчёт припуска при тонком точении.

$$Z_{\text{min}}^3 = 5 + 5 + 0,04 + 80 = 90,04 \text{ мкм.}$$

## 2.6 Разработка технологического маршрута и плана изготовления детали

В этом разделе необходимо разработать оптимальный маршрут изготовления детали маховика так, чтобы обеспечить при этом заданное качество изготовления детали при наименьших затратах [10].

В этом разделе также необходимо будет разработать чертёж с указанием всех требований по обработке поверхностей детали маховика.

На этом этапе нужно разработать технологический маршрут изготовления детали. В этом маршруте необходимо будет указать номер операции, наименование операции, порядок действий, а также указать параметры контроля и требования.

Все данные о технологическом маршруте изготовления детали представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технологический маршрут изготовления детали

| № Операции | Наименование операции | Порядок действий                                                                                                                                                                           | Параметры контроля и требования                                                                                                    |
|------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 000        | Заготовительная       | -                                                                                                                                                                                          | -                                                                                                                                  |
| 010        | Токарная (черновая)   | достать заготовку из коробки<br>установить в патрон станка<br>начать механическую обработку изделия<br>извлечь деталь из патрона<br>провести контроль размеров заготовки по карте контроля | проверить на наличие дефектов: трещин, заусенцев и др., не допускается наличие газовых раковин, пригаров, ржавчины на поверхностях |

Продолжение таблицы 3

| № Операции | Наименование операции | Порядок действий                                                         | Параметры контроля и требования                                                                                                                                                                          |
|------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015        | Токарная (чистовая)   | установить заготовку в патрон станка, очистив её от стружки              | на поверхностях маховика не должно быть трещин, пригаров, вмятин и других дефектов                                                                                                                       |
|            |                       | начать процесс механической обработки                                    |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | провести контроль размеров заготовки по карте контроля                   |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | очистить деталь от стружки                                               |                                                                                                                                                                                                          |
| 020        | Тонкое точение        | установить заготовку в патрон станка, очистив её от стружки              | на поверхностях маховика не должно быть трещин, пригаров, вмятин и других дефектов                                                                                                                       |
|            |                       | начать процесс механической обработки                                    |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | провести контроль размеров заготовки по карте контроля                   |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | очистить деталь от стружки                                               |                                                                                                                                                                                                          |
| 030        | Сверлильная           | установить заготовку в патрон станка, очистив её от стружки              | осмотреть отверстия маховика на предмет различных дефектов, в отверстиях не допускается наличие мусора, стружки, не допускается обработка отверстий без СОЖ, не допускается недолива или излишка металла |
|            |                       | начать сверлильную обработку отверстий                                   |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | параллельно с обработкой производить подачу СОЖ                          |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | очистить отверстия от стружки сжатым воздухом                            |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | провести контроль размеров отверстий заготовки по карте контроля         |                                                                                                                                                                                                          |
| 040        | Очистная              | закрепить изделие в установке для очистки                                | не допускается нахождение стружки в отверстиях детали, не допускается наличие трещин, ржавчин и других дефектов на поверхности маховика                                                                  |
|            |                       | закрепить так, чтобы отверстия детали были направлены в сторону форсунок |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | начать процедуру очистки                                                 |                                                                                                                                                                                                          |
|            |                       | высушить деталь сжатым воздухом                                          |                                                                                                                                                                                                          |

Продолжение таблицы 3

| № Операции | Наименование операции | Порядок действий                                    | Параметры контроля и требования                                                                                                                                                                              |
|------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 050        | Балансировочная       | установить деталь в патрон станка                   | не допускается нахождение стружки в отверстиях, не допускается наличие трещин, пригаров, газовых раковин, прорывов, зарезов и иных дефектов, провести тщательный контроль изделия согласно контрольной карте |
|            |                       | начать цикл обработки                               |                                                                                                                                                                                                              |
|            |                       | после операции осмотреть деталь на предмет дефектов |                                                                                                                                                                                                              |
|            |                       | проверить точность всех размеров маховика           |                                                                                                                                                                                                              |
|            |                       | промаркировать                                      |                                                                                                                                                                                                              |
| 060        | Контрольная           | -                                                   | -                                                                                                                                                                                                            |

В данной таблице 3 представлен весь порядок действий на каждом этапе операций, а также приведено дополнительное поле, в котором указаны все параметры контроля и требования, которые необходимо соблюдать при контрольном осмотре размеров поверхностей маховика согласно карте контроля.

Задача на следующем этапе – разработать план обработки поверхностей детали в графическом виде. В этом плане необходимо указать номера операций, типы оборудования, которые применялись при изготовлении, схемы базирования и технологические требования по обработке поверхностей.

Теперь необходимо разработать схемы базирования детали на каждом этапе механической обработки поверхностей изделия [11]. Важно указать схемы базирования так, чтобы обеспечивалось правильное положение маховика во время обработки. Помимо этого следует также руководствоваться принципом постоянства баз, чтобы обеспечить наименьшую погрешность базирования.

Базами могут являться различные геометрические тела детали: плоскости, поверхности, точки, оси отверстий, поверхности отверстий.

Далее нужно также знать, что при составлении схемы базирования необходимо добиваться того, чтобы деталь была забазирована по 6 точкам [12]. Это нужно для ограничения степени свободы детали и полного её закрепления.

Моя схема базирования представлена на плане изготовления маховика на каждом переходе.

## **2.7 Выбор средств технологического оснащения**

В этой главе нужно выбрать определённый тип оборудования на каждую операцию. Необходимо выбрать не только оборудование для выполнения механической обработки изделий, но и подобрать контрольные приспособления, а также оборудование для очистки детали на финишной обработке.

В случае обработки маховика была выбрана сборочная линия. Это автоматическая из трёх двухшпиндельных токарных обрабатывающих центров фирмы «ЭМАГ» [13]. На этой линии происходит загрузка заготовок маховика. По этой линии заготовка проходит своё движение и обрабатывается на определённых участках.

Использование линий очень удобно в производстве, так как большинство процессов, связанных с перемещением, совершаются автоматически, тем самым сокращая общее время изготовления изделия и повышая производительность такой линии.

Теперь можно приступать к подбору необходимо оборудования.

Для операций, связанных с токарной черновой и токарной чистовой обработками, которые ведутся на операциях 010 и 020, можно применить станок 16Б20ТМ или автоматическую линию из токарных станков фирмы «МЗАЛ». Эти типы станка очень полезны тем, что на них легко обрабатывать детали разного уровня геометрической сложности. Особенно легко на них обрабатывать детали тел вращения, что очень подходит в случае обработки

маховика. Также на этих станках можно вести дополнительную обработку по нарезанию резьб.

На сверлильной операции 030 лучше всего подойдёт сверлильный станок MF-01/6 или вертикальный 2-х шпиндельный токарный обрабатывающий центр фирмы «FAMAR». Данные типы станков имеют широкое применение и могут обрабатывать отверстия разного диаметра [14].

Для операции 050, которая называется балансировочной необходимо применить балансировочный станок ТБ 300.

Для операций, предназначенных для очистки детали можно применить очистную станцию РСТ 420.

Для контрольных операций также удобно подобрать мерительные инструменты, калибры, шаблоны и контрольный стол.

Дополнительная информация представлена в таблице 4 ниже. Тут представлены оборудование, инструменты для оборудования, контрольные и мерительные инструменты.

Таблица 4 – Средства технологического оснащения

| № операции | Станочное оборудование                                   | Станочное приспособление                                                        | Режущие инструменты                                                    | Контрольные и измерительные инструменты                                                  |
|------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 000        | Загрузка деталей                                         | -                                                                               | -                                                                      | -                                                                                        |
| 010        | 16Б20ТМ<br>Автоматическая линия из токарных станков МЗАЛ | патрон трёхкулачковый 02-7114-5520-02, кулачок 02-7016-7397, опора 02-7035-5801 | PRGCR 2020K 12 с пластиной твёрдосплавной<br>RCMT 12 04<br>MP- H7 4425 | калибр 41 8733 4242. Калибр 02 8364 5329-0, калибр для визуального контроля 02 8364 6557 |

Продолжение таблицы 4

| № операции | Станочное оборудование                                                                   | Станочное приспособление                                                            | Режущие инструменты                                                                                                                       | Контрольные и измерительные инструменты                                                                                                                                                           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015        | 16Б20ТМ                                                                                  | патрон трёхкулачковый 02-7114-5520-04, кулачок 02-7016-7950, опора 02-7114-5520-111 | инструмент 870-2100 21LX1-8 с пластиной твёрдосплавной 870-2180-21РМ 4334                                                                 | калибр 02 8364 5329-02, калибр 02 8364 5887, пробка 02 8130 4331                                                                                                                                  |
| 020        | 16Б20ТМ                                                                                  | патрон трёхкулачковый 02-7112-5676, кулачок 02-7016-7972, опора 02-7036-7975        | пластина 2010-0108.012, резец 02-2108-9705<br>пластина 2008-2952.317, резец 00-NR2525M15<br>пластина 2008-1987.317, резец 02-2148-9557    | калибр индикаторный для контроля допусков параллельности и биений 02-8731-5794, линейка лекальная для контроля допуска плоскостности 0,06 мм ЛД-1-320 (ГОСТ 8026), стол для калибров 41-8734-4134 |
| 030        | MF-01/6<br>Вертикальный 2-х шпиндельный токарный обрабатывающий центр ф. "FAMAR", Италия | приспособление специальное, прихваты                                                | сверло твёрдосплавное диаметр 7 мм 02.2302.9012, сверло твёрдосплавное диаметр 8,5 мм 02.2302.9011, метчик твёрдосплавный М8 02.2620.9622 | пробка предельная 02 8130 8313, калибр предельный 41 8151 4682-01, спецприбор "Солекс" 02 8704 5164                                                                                               |
| 040        | -                                                                                        | -                                                                                   | -                                                                                                                                         | -                                                                                                                                                                                                 |
| 050        | Балансировочный станок ТБ 300                                                            | -                                                                                   | -                                                                                                                                         | -                                                                                                                                                                                                 |
| 060        | Контрольные приборы                                                                      | -                                                                                   | -                                                                                                                                         | линейка лекальная ЛД-1-320 ГОСТ 8026-92, штангенциркуль Ш Ц ГОСТ 310 606-0809, калибр предельный 02 8102 6413                                                                                     |

В данной таблице 4 можно заметить, что на операциях под номерами 040, 050 и 060 не указаны режущие инструменты, станочные приспособления и контрольные и измерительные инструменты кроме операции 060. Это связано с тем, что операция 040 – это очистная операция, на которой нет режущих или станочных приспособлений, а также контрольных инструментов. Также нет режущих, контрольных и станочных приспособлений на операции балансировки детали [15]. На операции контроля также не указаны режущие и станочные инструменты и приспособления, но указаны контрольные инструменты, так как на данной операции они необходимы.

## **2.7 Разработка технологических операций**

В этом разделе важно разработать технологический процесс изготовления маховика. Необходимо определить такие показатели, как штучное время, операционное время. Также необходимо произвести расчёт режимов резания, то есть определить три основных параметра [16]. К таким параметрам можно отнести скорость резания, подачу и глубину резания.

Также существуют и другие характеристики, которые тоже важны при разработке технологического процесса. К таким характеристикам можно отнести частоту вращения шпинделя, мощность электродвигателя, составляющие силы резания и др.

Сначала необходимо произвести расчёт режимов резания. Напомним, что к основным параметрам режима резания относятся скорость резания, глубина резания и подача [17]. Для того, чтобы рассчитать эти параметры необходимо выбрать определённую технологическую операцию, для которой будет выполнен расчёт.

В качестве такой операции была выбрана черновая токарная обработка 010 операции по 5-ой поверхности.

Первый переход.

Для начала необходимо определить глубину и подачу при резании на первом переходе:

$$- t = 2 \text{ мм};$$

$$- S = 1,5 \text{ мм/об};$$

Далее определяется скорость резания по формуле (2):

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^{X_v} \times S^{y_v}} \times K_V, \quad (4)$$

$$\text{где } K_V = K_{MV} \times K_{PV} \times K_{IV} \times K_{\phi V} \times K_{OV};$$

$$K_{OV} = 1,0; K_{MV} = 0,95; K_{PV} = 1,0; K_{IV} = 1,0; K_{\phi V} = 1,0.$$

$$K_V = 0,95 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,95.$$

Далее определяются коэффициенты  $C_v = 92$ ;  $X_v = 1,0$ ;  $y_v = 0,75$ ;  $m=0,28$ ;  $T=60$  мин.

$$V = \frac{92}{60^{0,28} \times 2^1 \times 1,5^{0,75}} \times 0,95 = 9,17 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Теперь необходимо рассчитать частоту вращения шпинделя, используя формулу (5):

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D}, \quad (5)$$

где  $D$  – это диаметр обработанной поверхности в мм. Подставляем все значения в данную формулу и получаем результат:

$$n = \frac{1000 \times 9,17}{\pi \times 261,7} = 11,16 \text{ мин}^{-1}.$$

Далее идёт расчёт 5-ой поверхности на операции 015 – это токарная чистовая обработка. Поверхность под номером 5.

Второй переход.

$$t = 0,35 \text{ мм}; S = 1,5 \text{ мм/об};$$

Рассчитываем скорость резания по формуле (2):

$$V = \frac{92}{60^{0,28} \times 0,35^1 \times 1,5^{0,75}} \times 0,95 = 58,55 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Определяем частоту вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \times 58,55}{\pi \times 257,7} = 72,36 \text{ мин}^{-1}.$$

Наконец производим расчёт режимов резания на 020 операции – это операция тонкого точения.

Третий переход.

$$t = 0,15 \text{ мм}; S = 1,5 \text{ мм/об}.$$

Расчёт скорости резания и частоты вращения:

$$V = \frac{92}{60^{0,28} \times 0,15^1 \times 1,5^{0,75}} \times 0,95 = 136,61 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$
$$n = \frac{1000 \times 136,61}{\pi \times 257,0} = 169,29 \text{ мин}^{-1}.$$

Таким образом были определены основные режимы резания на механическую обработку 5-ой поверхности.

Далее начинается нормировка технологического процесса.

Норма времени показывает, сколько затрачено времени на обработку одной детали, одной партии деталей, сколько было затрачено времени на одну операцию и т.д.

Самым важным параметром является штучное время [18]. Этот показатель можно определить по следующей формуле (6):

$$T_{шт} = T_d + T_0 + T_{обсл} + T_{то}, \quad (6)$$

где  $T_{шт}$  – это штучное время в минутах. Это время показывает, сколько его требуется на обработку одной детали на одной операции;

$T_0$  – это время основное, которое требуется на обработку;

$T_{то}$  – это время, необходимое для обслуживания техники и организационных мероприятий;

$T_{обсл}$  – это время обслуживания по организационным вопросам;

$T_d$  – это время, которое нужно для того, чтобы снять заготовку или установить её в патрон или счистить с неё стружку. Также это время называют вспомогательным или временем потерь.

Все эти показатели необходимо также рассчитать, чтобы определить штучное время.

Сначала необходимо произвести расчёт основного технологического времени, которое рассчитывается по следующей формуле:

$$T_0 = \frac{L_{px} \times i}{S_{min}}, \quad (7)$$

где  $L_{px}$  – это длина рабочего хода инструмента;  $i$  – это число рабочих ходов;  $S_{min}$  – это минутная подача режущего инструмента;

Величина минутной подачи инструмента при токарной обработке рассчитывается по формуле (8):

$$S_{min} = S_0 \times n, \quad (8)$$

где  $n$  – это число оборотов шпинделя;  $S_0$  – это подача в мм/мин;

Далее нужно произвести расчёт времени, связанный с техническим обслуживанием [19]. Его можно определить по формуле (9):

$$T_{\text{то}} = 0,1 \times T_0. \quad (9)$$

Для операции, связанной с токарной черновой обработкой основное время будет равно 1,93 мин.

Подставляя это значение в формулу (9), получается следующий результат:

$$T_{\text{то}} = 0,1 \times 1,93 = 0,193 \text{ мин.}$$

Далее переходим к расчёту времени, которое требуется на техническое обслуживание и организацию по подготовке к производству. Данная формула (10) имеет следующий вид:

$$T_{\text{обсл}} = 0,07 \times T_{\text{оп}}. \quad (10)$$

Для обработки маховика на черновой токарной операции  $T_{\text{оп}} = 3,5$  мин.

$$T_{\text{обсл}} = 0,07 \times 3,5 = 0,245 \text{ мин.}$$

Остаётся только вспомогательное время, однако его не нужно определять, так как оно уже есть в технологическом процессе изготовления детали маховика.  $T_{\text{д}} = 2$  мин.

Теперь все величины норм времени, которые есть на черновой токарной операции, определены. Остаётся только рассчитать штучное время [20]. Для этого надо лишь просуммировать все нормы времени, используя формулу (1) и получить такой результат:

$$T_{\text{шт}} = 2 + 1,93 + 0,245 + 0,193 = 4,368 \text{ мин.}$$

Теперь необходимо произвести такие же расчёты норм времени на других операциях, а именно на операциях токарной чистовой обработке, сверлильной обработке, чистовой операции, а также балансировочной.

Далее необходимо рассчитать нормы времени для токарной чистовой обработки. Для этого надо воспользоваться формулами (2), (3), (4) для подсчёта всех норм времени.

Все рассчитанные нормы времени, а также основные режимы резания занесены в таблицу (5), с которой можно ознакомиться ниже:

Таблица 5 – Нормы времени на технологический процесс изготовления маховика

| № операции | S,<br>мм/мин | V,<br>м/мин | n,<br>об/мин | T <sub>0</sub> ,<br>мин | T <sub>шт</sub> ,<br>мин | T,<br>мин |
|------------|--------------|-------------|--------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| 000        | -            | -           | -            | -                       | -                        | -         |
| 010        | 26           | 65,4        | 100          | 1,93                    | 4,37                     | 68,5      |
| 020        | 62           | 410         | 628          | 0,92                    | 0,64                     | 94        |
| 030        | 128          | 23          | 1127         | 0,68                    | 0,875                    | 68,5      |
| 040        | -            | -           | -            | -                       | -                        | -         |
| 050        | -            | -           | 2000         | 0,2                     | 0,4                      | -         |
| 060        | -            | -           | -            | -                       | -                        | -         |

Как уже видно из таблицы 5, здесь также присутствуют параметры режимов резания. Однако на операциях под номером 040 и 060 нет норм времени. Это связано с тем, что это операция по очистке детали сжатым воздухом [21]. Операция происходит очень быстро, поэтому нет необходимости в её расчёте. Тоже самое на операции под номером 060. Этот процесс также не является существенным при расчёте норм времени.

### **3 Проектирование станочного приспособления**

На этом этапе нужно разработать и спроектировать станочное приспособление для данной детали, а именно для маховика. Необходимо выбрать одну из операций, на которой происходит механическая обработка изделия.

Далее необходимо произвести расчёт, чтобы спроектировать приспособление для захвата детали. Для этого надо определить диаметр детали для захвата, определить длину её обработки, знать материал заготовки, а также материал режущей части резца.

Помимо этого также важно произвести расчёт всех сил резания, которые действуют на маховик во время его обработки. Далее необходимо рассчитать диаметр поршня и на основе этого диаметра подобрать систему привода. Эта система может быть или пневматической или гидравлической в зависимости от давления, которое воздействует на поршень [22].

Теперь, когда все вопросы по данной теме были уяснены, можно приступать к расчёту и проектированию привода.

Для этого сначала рассмотрим эскиз детали маховика на операции 020, которая носит название токарной (тонкое точение).

Эскиз данной детали представлен на рисунке ниже:

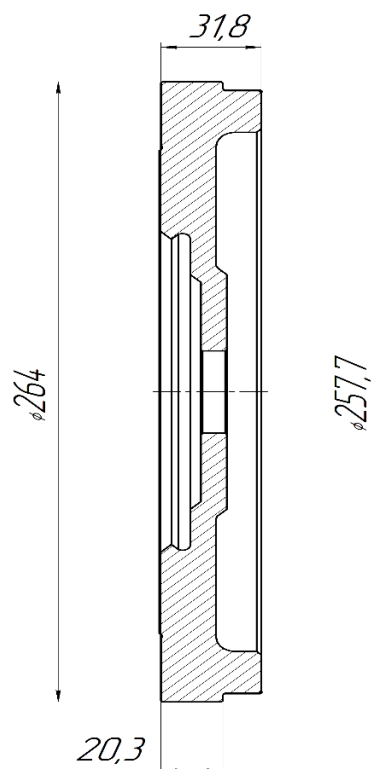


Рис 3 – Эскиз маховика на операции 020

Теперь важно уточнить начальные данные. Как уже было сказано выше, для проектирования нужно знать диаметр маховика, материал, из которого он сделан, а также материал режущей части инструмента.

Все параметры обработки маховика представлены ниже:

- диаметр маховика в зоне захвата: 264 мм;
- диаметр обработки: 257,7 мм;
- длина захвата: 20,3 мм;
- полная длина маховика: 31,8 мм;
- вид обработки: чистовая;
- материал резца: T5K10;
- предел прочности материала заготовки: 315 МПа;
- скорость резания  $V$  – 415 м/мин;
- подача  $S$  – 75 мм/об;

- глубина резания  $t = 0,5$  мм.

Существуют также данные по геометрическим параметрам резца, эти параметры указаны ниже:

- $\varphi = 45^\circ$ ;
- $\gamma = +5^\circ$ ;
- $\lambda = +5^\circ$ ;

После того, как были уяснены все начальные данные заготовки, резца и параметров резания, теперь можно приступить непосредственно к самим расчётам.

Сначала потребуется сделать математические вычисления для определения составляющих сил резания, действующих на изделие во время токарной чистовой операции.

Основная формула, по которой будут производиться все вычисления по нахождению составляющих сил резания, представлена ниже:

$$P_{zy} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^Y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (11)$$

где  $P_{zy}$  – это сила, которую нужно определить;

$C_p$  – это коэффициент, который зависит от свойств материала резца;

$K_p$  – это параметр, который имеет зависимость от характера механической обработки;

$x, Y, n$  – это коэффициенты, которые отвечают за положение нашего инструмента в декартовой системе координат.

Теперь необходимо будет приступить к правильному подбору всех параметров и коэффициентов для расчёта всех сил резания.

Все коэффициенты для расчёта силы тангенциальной  $P_z$ , радиальной  $P_y$ , осевой  $P_x$  представлены в таблицах 6, 7 и 8.

Таблица 6 – Параметры для тангенциальной силы  $P_z$

| $C_p$ | x   | Y    | n |
|-------|-----|------|---|
| 92    | 1,0 | 0,75 | 0 |

Таблица 7 – Параметры для радиальной силы  $P_y$

| $C_p$ | x   | Y    | n |
|-------|-----|------|---|
| 54    | 0,9 | 0,75 | 0 |

Таблица 8 – Параметры для осевой силы  $P_x$

| $C_p$ | x   | Y   | n |
|-------|-----|-----|---|
| 46    | 1,0 | 0,4 | 0 |

Также помимо этих параметров нельзя не учитывать и коэффициент  $K_p$ , который тоже надо определить по следующей формуле (12):

$$K_p = K_{MP} \times K_\varphi \times K_{\gamma P} \times K_{\lambda P}, \quad (12)$$

где  $K_{MP}$  – это специальный коэффициент, который учитывает зависимость качества обработки от силовых показателей;

$K_\varphi$  – это параметр, учитывающий влияние угла резца в плане на силовые показатели при обработке резанием;

$K_{\gamma P}$  – это коэффициент, который учитывает зависимость переднего угла резца на силовые показатели;

$K_{\lambda P}$  – это параметр, который учитывает зависимость угла наклона режущей кромки инструмента на силовые показатели при обработке изделия.

Используя геометрические данные резца, теперь можно определить все эти угловые коэффициенты;

Для этого все выведенные значения были занесены в таблицу 9, где будут выведены все данные угловых коэффициентов.

Таблица 9 – Значения угловых коэффициентов

| Коэффициент     | Тангенциальная составляющая силы $P_z$ | Радиальная составляющая силы $P_y$ | Осевая составляющая силы $P_x$ |
|-----------------|----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| $K_{\gamma P}$  | 1,1                                    | 1,4                                | 1,4                            |
| $K_{\lambda P}$ | 1,0                                    | 1,25                               | 0,85                           |
| $K_{\varphi}$   | 1,0                                    | 1,0                                | 1,0                            |

Остаётся последний параметр, и это коэффициент  $K_{MP}$ , который определяется по формуле (13) и имеет следующий вид:

$$K_{MP} = \left( \frac{HB}{190} \right)^n, \quad (13)$$

где  $n$  – это показатель степени при определённом типе механической обработки. В данном случае этот показатель равен 0,4.

$HB$  – это показатель твердости обрабатываемого материала заготовки.

Этот показатель уже известен и имеет значение, равное 225 единиц по Бринеллю.

Далее можно подставить все имеющиеся данные в формулу (13) и вывести значение коэффициента:

$$K_{MP} = \left( \frac{225}{190} \right)^{0,4} = 1,184^{0,4} = 1,069.$$

Используя этот найденный коэффициент, можно приступить к нахождению новых параметров. Имея в наличии формулу (12), есть возможность определить коэффициент  $K_p$ .

Определим его сразу для трёх составляющих сил резания, действующих на нашу заготовку.

Для этого во-первых, произведём расчёт этого параметра для тангенциальной силы:

$$K_{pz} = 1 \times 1,1 \times 1 \times 1,069 = 1.176,$$

Теперь, следуя этому принципу, находим также коэффициенты и для других составляющих сил. Определяем коэффициент для радиальной силы:

$$K_{py} = 1 \times 1,4 \times 1,25 \times 1,069 = 1.871,$$

И наконец находим последний параметр для осевой составляющей силы резания:

$$K_{px} = 1 \times 1,4 \times 0,85 \times 1,069 = 1.272,$$

После расчёта этих несложных угловых параметров, мы можем переходить к определению главных составляющих сил резания.

Следуем такому же принципу и определяем для начала силу тангенциальной составляющей резания:

$$P_z = 10 \times 92 \times 0,5^1 \times 75^{0,75} \times 415^0 \times 1.069 = 12532 \text{ N}.$$

Теперь переходим к расчёту силы радиальной составляющей резания:

$$P_y = 10 \times 54 \times 0,5^{0,9} \times 75^{0,75} \times 415^0 \times 1.069 = 7883 \text{ N}.$$

Далее переходим к расчёту последней составляющей силы резания, а именно к осевой силе резания:

$$P_x = 10 \times 46 \times 0,5^1 \times 75^{0,4} \times 415^0 \times 1.069 = 1383 \text{ N}.$$

Таким образом в наличии имеются три составляющие силы резания. Сравнив эти три величины, можно легко сделать вывод о том, что самой большой по величине силой является тангенциальная составляющая сила резания, которая равна 12,5 кН.

Далее начинается новый этап расчётов, который заключается в расчёте крутящих и и других моментов сил, которые также стремятся провернуть заготовку [23]. Помимо этого нам также будет необходимо произвести расчёт усилий зажима и подсчёте моментов, которые препятствуют провороту заготовке в патроне станка.

Итак, сначала определяем крутящий суммарный крутящий момент, который стремится провернуть заготовку в патроне. Эта формула (14) имеет вид:

$$M_p = \frac{P_z \times d_2}{2}, \quad (14)$$

где  $d_2$  – это диаметр обрабатываемой поверхности маховика, который равен 257,7 мм.

Остальные значения уже известны. Подставим их в формулу (14) и получим следующий результат:

$$M_p = \frac{P_z \times d_2}{2} = \frac{12532 \times 257,7}{2} = 1614748 \text{ Н},$$

Далее переходим к расчёту крутящего момента, который мешает провернуть заготовку из зажима патрона. Эта формула (15) имеет следующий вид:

$$M_3 = \frac{W \times f \times d_1}{2}, \quad (15)$$

где  $W$  – это усилие зажима, которое нам также необходимо рассчитать;  
 $f$  – это коэффициент трения между заготовкой и кулачками патрона.

Исходя из этих условий, был выбран коэффициент трения, равный 0,4, так как рабочая поверхность будет со взаимно перпендикулярными канавками.

Чтобы определить усилие зажима  $W$ , которое возникает в заготовке, нужно воспользоваться формулой (16), которая представлена ниже:

$$W = \frac{K \times P_z \times d_2}{f \times d_1}, \quad (16)$$

где  $K$  – это коэффициент запаса, который учитывает все возможные риски на износ инструмента.

Для того, чтобы определить этот параметр  $K$ , необходимо воспользоваться ещё одной формулой (17), представленной ниже:

$$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6, \quad (17)$$

где  $K_0$  – это коэффициент гарантированного запаса, который равен 1,5;

$K_1$  – это параметр, который учитывает изменение сил резания при различных неровностях поверхности изделия. При чистовой обработке этот показатель равен 1;

$K_2$  – это коэффициент, учитывающий увеличение сил резания при износе инструмента. Этот параметр равен 1;

$K_3$  – это параметр, который учитывает изменение сил при прерывистом резании. Так как у меня непрерывистое резание, то этот показатель также равен единице;

$K_4$  – коэффициент, учитывающий постоянную силу, которую развивает зажимное устройство. Для механизированных приводов этот показатель равен единице;

$K_5$  – этот показатель отвечает за эргономику немеханизированных зажимных механизмов. Для механизированных приводов такой коэффициент будет равен 1;

$K_6$  – этот показатель используют в расчётах только в том случае, если речь идёт про крутящие моменты сил, которые стремятся повернуть заготовку на опору-штыри. В нашем случае таких опор нет, поэтому принимаем этот показатель, равный единице.

Таким образом, общий коэффициент  $K$  будет иметь следующее значение по формуле:

$$K = 1,5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,5.$$

Теперь можно переходить к расчёту усилия зажима  $W$  по формуле (16):

$$W = \frac{1,5 \times 12532 \times 257,7}{0,4 \times 264} = 45874 \text{ Н.}$$

Далее определяется значение крутящего момента по формуле (15):

$$M_3 = \frac{45874 \times 0,4 \times 264}{2} = 2422147 \text{ Нм.}$$

Используя данные, которые были получены в результате расчётов и вычислений, можно приступить к новым расчётам по нахождению момента силы, который также стремится вырвать обрабатываемое изделие из кулачков патрона в станке. Этот момент можно найти по формуле (18) ниже:

$$M_p'' = P_y \times l_1. \quad (18)$$

Подставляя все имеющиеся у нас данные, мы рассчитываем вот такой результат:

$$M_p'' = 7883 \times 31,8 = 250679 \text{ Нм.}$$

Наконец можно приступить к расчёту зажимного усилия, которое должно быть, чтобы держать заготовку в патроне станка, препятствуя всем силам и крутящим моментам, стремящимся вырвать маховик из кулачков. Данная формула (19) представлена ниже:

$$W'' = \frac{1.5 \cdot K \cdot M_p''}{f \cdot d_1}. \quad (19)$$

В этом уравнении известны все параметры и коэффициенты, так как они были рассчитаны выше. Подставим в эту формулу все найденные значения и выведем результат:

$$W'' = \frac{1.5 \cdot 1,5 \cdot 250679}{0,4 \cdot 264} = 5341 \text{ Н.}$$

Именно такое усилие требуется для удержания маховика весом в 10 кг в патроне станка.

Далее переходим к определению момента, который должен быть, чтобы препятствовать прокручиванию изделия, который будет найден по формуле (20):

$$M''_3 = \frac{2 \cdot W'' \cdot f \cdot d_2}{3 \cdot d_1}, \quad (20)$$

Все характеристики этого выражения нам уже известны, остаётся только подставить все данные в эту формулу и вывести результат:

$$M''_3 = \frac{2 \cdot 5341 \cdot 0,4 \cdot 257,7}{3 \cdot 264} = 1390 \text{ Нм.}$$

Помимо этого необходимо ещё сделать вычисления в области нахождения последней величины. Это величина – полное зажимное усилие в области кулачков, чтобы удержать заготовку в патроне станка. Формула по нахождению этой величины описана ниже:

$$W_1 = \frac{W}{\left(1 - \left(\frac{3l_k}{H_k}\right) \times f_1\right)}, \quad (21)$$

где  $l_k$  – это вылет кулачка в мм; Я выбрал значение, равное 55 мм;

$H_k$  – это длина направляющих. Эту величину можно определить по конструктивным соображениям;

$f_1$  – это коэффициент трения, который примем равным 0,1.

Остальное в этом выражении уже известно. Однако, чтобы точно разобраться с конструктивными параметрами кулачков, необходимо немного ознакомиться с этим:

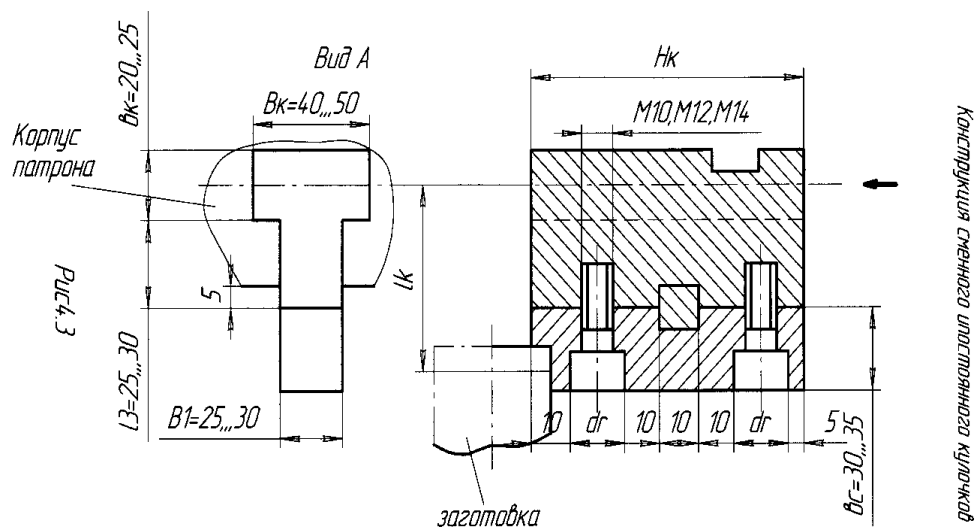


Рис 4 – Схемы постоянного и сменного кулачков

На этой схеме присутствуют и другие величины, которые тоже должны быть определены. Рассмотрим эти величины и разберём каждую из них.

- $L_k=55$  мм, это вылет кулачка. Об этой величине уже известно;
- $l_1=0,1$  – это коэффициент трения в направляющих постоянного кулачка и корпуса. Это значение выбрано автоматически. Также было упомянуто выше;
- $b_k=20$  мм, размер на станке;
- $l_3=30$  мм, это тоже размер на станке;
- $b_c=30$  мм, размер на станке;
- $H_k= 73$  мм, это длина направляющих, которая определяется по рисунку;

Остальные размеры уже строго фиксированы, поэтому их нельзя менять.

Теперь, когда известны все конструктивные особенности и параметры этих кулачков, можно приступать к проектированию своих собственных кулачков. Можно ознакомиться на рисунке ниже:



$$Q = \frac{W_1}{i_c}, \quad (22)$$

где значение  $i_c$  – это передаточное отношение по силе зажимного устройства. Для рычажных механизмов это отношение можно легко определить по формуле (23) ниже:

$$I_{C.P.M} = \frac{A}{B}, \quad (23)$$

где значения  $A$  и  $B$  – это плечи нашего рычага в механизме зажима. Для удобства расчёта примем передаточное отношение  $I_{C.P.M}$ , равное 5.

Поэтому, используя формулу (23), рассчитываем значение этого усилия:

$$Q = \frac{59271}{5} = 11854 \text{ Н.}$$

Далее переходим к определению наружного диаметра патрона, используя рисунок 4. Для этого также есть формула для вычисления этого размера. Данная формула представлена ниже:

$$D_{\Pi} = d_1 + 2H_K, \quad (24)$$

В этом выражении известны и определены все значения и размеры, поэтому можно подставить их в эту формулу и вывести следующий результат:

$$D_{\Pi} = 264 + 2 \times 73 = 410 \text{ мм.}$$

Теперь, когда определены многие характеристики оборудования, необходимо двигаться дальше и рассчитывать следующие значения величин нашего станка. Одним из таких значений является диаметр поршня. На основе получившегося размера важно подобрать правильную систему привода. Она

может быть пневматической или гидравлической. Всё зависит только от диаметра поршня и давления, которое на него воздействует.

Формула для определения диаметра поршня представлена ниже:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{P}}, \quad (25)$$

где  $P$  – это давление избыточное, которое создаёт воздух, циркулирующий в системе. Примем его равным 0,4 МПа.

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{11854}{0,4}} = 195 \text{ мм.}$$

Получившееся значение намного больше 120 мм, что уже является предельным размером для всех поршней из пневмосистем и гидросистем.

Поэтому берём давление  $P = 5,0$  МПа. Подставим это значение в формулу и выведем новый результат:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{29636}{2,5}} = 78 \text{ мм.}$$

Новый рассчитанный диаметр много меньше 120 мм, поэтому принимаем это давление и этот диаметр поршня в наш дальнейший расчёт.

Далее мы рассчитываем ход поршня в цилиндре, который можно найти по следующей формуле:

$$S_Q = \frac{S_W}{i_n}, \quad (26)$$

где  $S_W$  – это свободный ход кулачков в патроне станка в мм;

$i_n$  – это передаточное отношение по перемещению зажимного механизма в патроне токарного станка в мм.

Это отношение также рассчитывается по формуле:

$$i_n = \frac{1}{i_c}, \quad (27)$$

Однако по методическим рекомендациям значение  $S_Q$  необходимо принять с запасом в 10 – 15 мм.

Параметр  $i_c$  нам известен, поэтому подставляем его в формулу (27) и выводим следующий результат:

$$i_n = \frac{1}{i_c} = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Теперь можно приступить к расчёту свободного хода поршня в цилиндре:

$$S_Q = \frac{S_W}{i_n} = \frac{2}{0,2} = 25 \text{ мм.}$$

Последним этапом в проектировании остаётся расчёт погрешности приспособления. Этот расчёт производится тогда, когда уже спроектирован трёхкулачковый самоцентрирующий патрон токарного станка.

Формула, по которой можно определить эту погрешность, представлена ниже:

$$E_y = \frac{\sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2)}}{2}, \quad (28)$$

где  $\sqrt{(\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2)}$  – это колебания замыкающего звена, а точнее квадратный корень от суммы квадратов всех погрешностей замыкающего звена.

Используя чертёж патрона и привода, все эти погрешности были найдены исходя из 7 и 6 квалитетов, поэтому подставляем их в формулу и выводим новое значение:

$$\begin{aligned} E_y &= 0.5 \times \sqrt{(0.018^2 + 0.018^2 + 0.015^2 + 0.015^2 + 0.021^2 + 0.01^2)} \\ &= 0.0202 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Полученный результат должен быть меньше одной третьей от допуска на размер (диаметр) нашей обрабатываемой поверхности по квалитету на токарную обработку тонкого точения.

Этот параметр получился много меньше допуска, значит все расчёты были сделаны верно.

На этом расчёт и проектирование станочного приспособления заканчивается. Здесь были произведены все необходимые расчёты и вычисления для определения всех основных параметров и размеров, которые должны быть использованы при проектировании и конструировании чертежа трёхкулачкового патрона, а также выбранного гидравлического привода. Этот чертёж будет представлен в приложении.

## 4 Проектирование режущего инструмента

В этой главе необходимо выбрать режущий инструмент, который применяется при какой-либо операции по механической обработки маховика.

Выбрав этот режущий инструмент, необходимо понять, на какой операции его применяют, какие его характеристики материала по пределу прочности на сжатие, пределу прочности на изгиб, твердость материала, маркировка материала [24].

Помимо этого также стоит учитывать параметры режима резания, а именно скорость, подачу, глубину резания, частоту вращения шпинделя или частоту вращения самого изделия, мощность станка и многое другое.

Нельзя также забывать, что для лучшего понимания исходных данных резца нужно иметь при себе и чертёж этого инструмента, который будет помогать в дальнейших вычислениях. Чертёж спроектированного инструмента также будет представлен в приложении.

Начнём с того, что в качестве режущего инструмента было выбрано сверло для создания 2-ух сквозных отверстий в 8 мм (поверхность № 18).

Итак, сначала рассмотрим исходные данные для расчёта сверла:

- диаметр сверла  $D$ , мм: 8;
- подача  $S$ , мм/мин: 117;
- скорость вращения сверла  $V$ , м/мин: 18,8;
- обрабатываемый материал: серый чугун HB 225;
- материал сверла: P18.

Перед тем, как начать расчёт и проектирование сверла, необходимо определиться с выбором станка, на котором будут производиться операции сверления.

В качестве такого станка был выбран вертикально-сверлильный станок марки 2Н125. Его характеристики представлены ниже:

- максимальный обрабатываемый диаметр: 25 мм;
- мощность станка: 2,8 кВт;

- максимальная осевая сила резания станка: 9000 Н;
- КПД станка: 0,8.

Далее начинается расчёт режимов резания сверла и определение мощности резания. Для этого сначала необходимо определить глубину резания сверла, которая определяется по формуле (29):

$$t = \frac{D}{2}, \quad (29)$$

где  $D$  – это диаметр сверла в мм.

Подставляем значение диаметра в формулу и выводим результат:

$$t = \frac{8}{2} = 4 \text{ мм.}$$

Далее определяется значение подачи сверла в мм/об. Для этого необходимо воспользоваться таблицей методического пособия по проектированию режущих инструментов.

Таким образом была выбрана подача  $S = 0,56$  мм/об.

Теперь необходимо рассчитать осевую силу, которая возникает в процессе сверления. Она определяется по следующей формуле:

$$P_o = C_p D^{qP} S^{yP} K_p, \quad (30)$$

где  $P_o$  – это осевая сила при сверлении;  $C_p, qP, yP$  – это степенные показатели, которые определяются по таблице;

$K_p$  – это поправочный коэффициент на осевую силу.

Также важно учесть, что поправочный коэффициент  $K_p = K_{MP}$ , который для серых чугунов определяется по формуле:

$$K_{MP} = \left( \frac{HB}{190} \right)^{n_p}, \quad (31)$$

где HB – это твёрдость чугуна, которая равняется 225;

$n_p$  – это показатель степени, который определяется по таблице. Этот показатель равен 0,6.

Подставляем все значения в формулу и получаем следующий результат:

$$K_{MP} = \left( \frac{225}{190} \right)^{0,6} = 1,1.$$

Далее идёт расчёт осевой силы при сверлении:

$$P_o = 42,7 \times 8^{1,0} \times 0,56^{0,8} \times 1,1 = 236 \text{ Н.}$$

Данная сила намного меньше максимальной силы, которую можно развить на станке 2Н125, поэтому силовая проверка выполняется.

Далее назначается период стойкости сверла. Этот период также можно определить по таблице:

$$T = 35 \text{ мин};$$

Допустимый износ сверла для диаметров меньше 20 мм – 0,5...0,8 мм.

Далее идёт расчёт скорости резания при сверлении:

$$V = \frac{C_v D^{qv}}{T^m t^{xv} S^{yv}}, \quad (32)$$

где  $C_v, qv, m, xv, yv$  – это эмпирические коэффициенты и степенные показатели, определяемые по таблицам.

Подставляем все значения в данную формулу и выводим результат:

$$V = \frac{17,1 \times 8^{0,25}}{35^{0,125} \times 4^0 \times 0,56^{0,4}} = 23,25 \approx 23 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Далее определяются поправочные коэффициенты для корректировки скорости резания, который определяется по следующей зависимости:

$$K_{Mv} = \left( \frac{190}{HB} \right)^{n_v}, \quad (33)$$

где  $n_v$  – это показатель степени, который равняется 1,3.

Рассчитываем коэффициент:

$$K_{Mv} = \left( \frac{190}{225} \right)^{1,3} = 0,8.$$

После этого определяются коэффициенты  $K_{Hv}$  и  $K_{lv}$ . Для быстрорежущей стали P18 этот показатель будет равен  $K_{Hv} = 1$ . Для коэффициента  $K_{lv}$ , который зависит от глубины сверления, а точнее от отношения глубины сверления к диаметру сверления, значение равно  $K_{lv} = 1,0$ ;

Далее необходимо произвести расчёт действительной скорости резания. Для этого необходимо перемножить все 3 поправочных коэффициента, которые были определены выше по формуле:

$$K_v = K_{Mv} \times K_{Hv} \times K_{lv}, \quad (34)$$

$$K_v = 0,8 \times 1 \times 1,0 = 0,8.$$

Далее необходимо рассчитать действительную скорость вращения сверла по формуле (35):

$$V_d = V \times K_v, \quad (35)$$

$$V_d = 23 \times 0,8 = 18,4 \approx 18 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

После этого идёт расчёт частоты вращения шпинделя по следующей формуле (36):

$$n = \frac{1000 \times V_d}{\pi \times D}, \quad (36)$$

$$n = \frac{1000 \times 18}{\pi \times 8} = 716,56 \approx 717 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем частоту вращения шпинделя исходя из паспорта станка 2Н125 равной  $710 \text{ мин}^{-1}$ .

Теперь необходимо приступить к вычислению действительной частоты вращения шпинделя. Для этого сначала необходимо определить действительную скорость резания при сверлении. Для этого нужно воспользоваться формулой (32):

$$V_{d2} = \frac{\pi \times D \times n_p}{1000} = \frac{\pi \times 8 \times 710}{1000} = 17,84 \approx 18 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

где  $n_p = 710 \text{ мин}^{-1}$ , это частота вращения по паспорту станка.

Далее важно определить крутящий момент при сверлении, который может определён по формуле:

$$M = C_p \times D^{qM} \times S^{yM} \times K_p, \quad (37)$$

где  $qM, yM, C_p$  – это показатели степеней, которые определяются по таблице;

$K_p$  – это поправочный коэффициент на момент, который уже определён при расчёте осевой силы и равен 1,1.

$$M = 9,81 \times 0,021 \times 8^{2,0} \times 0,56^{0,3} \times 1,1 = 7,66 \approx 8 \text{ Нм}.$$

где 9,81 – это перевод в систему СИ.

Затем необходимо рассчитать мощность резания. Эта величина определяется по следующей формуле:

$$N_{\text{рез}} = \frac{M \times n_p}{975}, \quad (38)$$

Подставляем все имеющиеся значения в формулу и выводим результат:

$$N_{\text{рез}} = \frac{7,66 \times 710}{975} = 5,58 \text{ кВт.}$$

Далее необходимо сравнить это значение с допустимым значением мощности станка по равенству:

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп}}, \quad (39)$$

где  $N_{\text{шп}}$  – это мощность вращения шпинделя.

Данная мощность шпинделя определяется по формуле (40):

$$N_{\text{шп}} = N_d \times \eta, \quad (40)$$

где  $N_d$  – это мощность двигателя станка;

$\eta$  – это КПД станка, который равен 0,8.

Все эти значения подставляем в формулу и выводим следующий результат:

$$N_{\text{шп}} = 2,8 \times 0,8 = 2,24 \text{ кВт.}$$

Полученное значение мощности шпинделя станка меньше рассчитанного значения мощности, затрачиваемого на сверление, поэтому необходимо учесть коэффициент перегрузки. Для этого нужно воспользоваться выражением:

$$K_{\pi} = \frac{N_{\text{рез}}}{N_{\text{шп}}}, \quad (41)$$

$$K_{\pi} = \frac{5,58}{2,24} = 2,49.$$

При этом необходимо знать, что при выборе новой частоты вращения нужно руководствоваться следующим выражением:

$$n = \frac{n_p}{K_{\pi}}, \quad (42)$$

$$n = \frac{710}{2,49} = 285,14 \approx 285 \text{ мин}^{-1}.$$

Таким образом необходимо выбрать частоту вращения шпинделя равную 250 мин<sup>-1</sup>.

Далее определяем новую мощность резания по формуле (38):

$$N_{\text{рез}} = \frac{7,66 \times 250}{975} = 1,96 \text{ кВт}.$$

Полученное значение меньше максимального допустимого значения станка 2Н125, что удовлетворяет условиям резания.

Далее с этим учетом необходимо произвести перерасчёт скорости резания по формуле (32)

$$V_{\text{д2}} = \frac{\pi \times D \times n_p}{1000} = \frac{\pi \times 8 \times 250}{1000} = 6,28 \frac{\text{м}}{\text{мин}},$$

Затем идёт расчёт основного времени, которое определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{n \times S}, \quad (43)$$

где  $L$  – это длина обработки в мм.

Длина обработки определяется следующим образом:

$$L = L_0 + y + \Delta, \quad (44)$$

где  $L_0$  – это длина обрабатываемой поверхности при сверлении;

$y$  – это врезание сверла в мм;

$\Delta$  – это перебег сверла в мм.

Значение врезания сверла определяется следующим выражением:

$$y = 0,4D, \quad (45)$$
$$y = 0,4 \times 8 = 3,2 \text{ мм.}$$

Далее определяется перебег инструмента. Этот перебег лежит в диапазоне  $\Delta = 1 \dots 3$  мм. Поэтому было выбрано значение  $\Delta = 2$  мм.

Затем идёт длина обработки при сверлении. Она равняется  $L_0 = 8$  мм.

Теперь необходимо произвести расчёт всей длины обработки отверстия:

$$L = 8 + 3,2 + 2 = 13,2 \text{ мм.}$$

Далее идёт расчёт основного времени по формуле (43):

$$T_0 = \frac{13,2}{250 \times 0,56} = 0,09 \text{ мин.}$$

Затем идёт расчёт и выбор конуса Морзе хвостовика.

На этом этапе необходимо иметь такие данные, как значение осевой силы при сверлении, подача в мм/об, скорость резания, мощность при сверлении, частота вращения шпинделя.

Затем идёт расчёт среднего диаметра хвостовика Морзе по формуле (46):

$$d_{\text{ср}} = \frac{6M_{\text{ср}} \times \sin \theta}{\mu P_0 (1 - 0,04\Delta\theta)}, \quad (46)$$

где  $\mu$  – это коэффициент трения между быстрорежущей сталью и серым чугуном, которая равняется  $\mu = 0,2$ ;

$\theta$  – это угол конусности хвостовика, который равен  $1^\circ 30'$ ;

$M_{\text{ср}}$  – это крутящий момент или момент сил сопротивления, который был определён ранее;

$\Delta\theta$  – это отклонение угла конуса, который равен  $\Delta\theta = -5'$ ;

$P_0$  – это осевая сила при сверлении.

Подставляем все значения в данную формулу и выводим следующий результат:

$$d_{\text{ср}} = \frac{6 \times 7,66 \times 0,02618}{0,2 \times 236 \times (1 - 0,2)} = 0,03186 \text{ м} = 31,86 \text{ мм.}$$

Затем, когда средний диаметр хвостовика определён, необходимо воспользоваться ГОСТ 25557-2016 для выбора подходящего конуса Морзе.

Всего существуют несколько видов конусов Морзе. Поэтому был выбран конус Морзе № 0 с лапкой. Основные геометрические параметры конуса хвостовика:  $D_1 = 9,2$  мм,  $d_2 = 6,1$  мм. Остальные параметры конуса хвостовика представлены ниже в приложении А.

Далее необходимо воспользоваться ГОСТ 4010-77 и ГОСТ 14034-74 и выбрать соответствующее сверло. Подобрать сверло таким образом, чтобы

оно удовлетворяло процессу сверления и обладало необходимой длиной и диаметром.

Поэтому было выбрано сверло со следующими геометрическими характеристиками:  $L = 79$  мм,  $l = 37$  мм,  $d = 8,00$  мм.

Затем необходимо определиться с выбором рабочей части сверла. Так как обрабатываемый материал – серый чугун, а режущий инструмент изготовлен из быстрорежущей стали марки P18, то рекомендуется применить сверло одинарное с подточкой поперечной кромки и ленточки – НПЛ.

Таким образом было выбрано сверло с углом винтовой канавки  $\omega = 27^\circ$  и шагом винтовой канавки, равной  $H = 49,3$ .

Далее необходимо определить диаметр сердцевины сверла исходя из выражения:

$$d_c = 0,17D, \quad (47)$$
$$d_c = 0,17 \times 8 = 1,36 \text{ мм.}$$

Далее определяется обратная конусность хвостовика. Она также зависит от диаметра выбранного сверла. Поэтому было выбрано значение обратной конусности, равное  $0,08$  мм.

Затем, ГОСТ 4010-77, необходимо также выбрать высоту затылка  $K$  и ширину ленточки  $f_0$ . Эти геометрические параметры зависят от диаметра выбранного сверла. Поэтому были выбраны следующие значения этих величин:  $K = 0,2$ ,  $f_0 = 0,7$ .

Далее необходимо определить ширину пера сверла. Ширину пера можно вычислить по следующей формуле:

$$B = 0,58D, \quad (48)$$
$$B = 0,58 \times 8 = 4,64 \text{ мм.}$$

Затем необходимо также произвести необходимые вычисления в области нахождения геометрических характеристик профиля сверла. Для этого необходимо воспользоваться следующими выражениями:

$$R_B = C_p C_r C_c D, \quad (49)$$

где  $R_B$  – это наибольший радиус профиля сверла;

$C_p$  – это коэффициент для расчёта наибольшего радиуса профиля;

$C_r$  – это коэффициент для нахождения наибольшего радиуса профиля;

$C_c$  – это коэффициент для определения значения кривизны профиля сверла.

Чтобы определить коэффициент  $C_p$ , необходимо воспользоваться формулой (50):

$$C_p = \frac{0,026 \times 2\varphi \times \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega}, \quad (50)$$

где  $2\varphi$  – это угол между режущими кромками, который равен  $118^\circ$ ;

0,026 – это постоянная величина.

Подставляем все имеющиеся данные в формулу и выводим следующий результат:

$$C_p = \frac{0,026 \times 118 \times \sqrt[3]{118}}{27} = 0,56.$$

Далее нужно вычислить коэффициент  $C_r$ , который определяется по следующей формуле:

$$C_p = \left( \frac{0,14D}{d_c} \right)^{0,044}, \quad (51)$$

$$C_p = \left( \frac{0,14 \times 8}{1,36} \right)^{0,044} = 0,99.$$

Далее рассчитывается параметр  $C_c$  по следующей формуле:

$$C_c = \left( \frac{0,13\sqrt{D}}{d_c} \right)^{0,9}, \quad (52)$$

где  $D_c$  – это диаметр сверла;

$$C_c = \left( \frac{0,13\sqrt{8}}{1,36} \right)^{0,9} = 0,31.$$

Таким образом наибольший радиус сверла может быть рассчитан по формуле (49):

$$R_B = 0,56 \times 0,99 \times 0,31 \times 8 = 1,37 \text{ мм.}$$

Далее идёт расчёт наименьшего радиуса профиля, который вычисляется по следующему выражению:

$$R_m = C_d \times D, \quad (53)$$

где  $C_d$  – это коэффициент для вычисления наименьшего радиуса профиля режущего инструмента;

Данный коэффициент рассчитывается следующим образом:

$$C_d = 0,015\omega^{0,75}, \quad (54)$$

$$C_d = 0,015 \times 27^{0,75} = 0,18.$$

Затем необходимо приступить к расчёту наименьшего радиуса сверла:

$$R_m = 0,18 \times 8 = 1,44 \text{ мм.}$$

Далее идёт расчёт всего профиля сверла. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$\begin{aligned} B &= R_B + R_m, \\ B &= 1,37 + 1,44 = 2,81 \text{ мм.} \end{aligned} \tag{55}$$

Далее требуется спроектировать профиль сверла. Для этого необходимо воспользоваться рисунком.

Также требуется спроектировать центровое отверстие. Для этого также необходимо воспользоваться рисунком.

Далее назначаются допуски предельных отклонений на диаметр сверла в 8 мм. Для этого необходимо воспользоваться ГОСТ 25347-2013. Поэтому в качестве допуска предельных отклонений было выбрано значение, равное  $8H12_0^{+0,15}$ .

Затем необходимо назначить предельные отклонения на размер хвостовика Морзе. Для этого также необходимо воспользоваться ГОСТ 25347-2013.

Далее необходимо графическое представление всего спроектированного режущего инструмента. На чертеже необходимо представить общий вид сверла, указать длину его рабочей части, показать всю габаритную длину сверла, показать предельные отклонения на диаметр сверла и конус Морзе.

## **5 Безопасность и технологичность технического объекта**

В данной главе необходимо выявить потенциальные риски, которые присутствуют на производственном участке по изготовлению деталей.

Помимо этого важно не только учитывать все риски на производстве, но и принять меры или организовать мероприятия, чтобы устранить ту или иную проблему.

Важно знать, какова технологичность данного производственного объекта. Для этого необходимо определить, на сколько данный производственный участок соответствует заявленным требованиям по безопасности персонала, по эргономике помещений, по качеству и безопасности эксплуатации технического оборудования, по планировке самих помещений.

Планировка помещений – это важный этап в проектировании и подготовке производства. От этого будет зависеть здоровье и безопасность рабочего персонала, качество изготавливаемой продукции и многое другое. Планировка помещений включает в себя многие аспекты при подготовке производства. К ним можно отнести правильное размещение оборудования на площадке, чтобы обеспечивалось максимально эффективное использование рабочего пространства [23].

Также важно, чтобы обеспечивались безопасные и комфортные условия для работы персонала. Здесь можно выделить несколько важных факторов. Это температура помещения, влажность помещения, удобство использования оборудования, компактность оборудования и т.д. Также стоит обратить внимание на такие вредные производственные факторы, как загазованность помещений, запылённость помещений. Однако всё зависит от места работы, так как существуют разные нормы безопасности работы на производстве и нормы безопасности работы в офисных помещениях.

Одним из важных систем, которые нужны для предотвращения загазованности и улучшения качества воздуха является система вентиляции.

Система вентиляции необходима в каждом производственном и офисном помещении. Она нужна не только для поддержания качества воздуха, но и для сохранения здоровья персонала рабочих.

В каждом помещении должны находиться схемы экстренных выходов по эвакуации персонала в случае пожара и других непредвиденных ситуациях. Также должны присутствовать инструкции для оказания первой медицинской помощи пострадавшим, а также инструкции по правильному действию персонала в случае проведения террористических актов на производстве. Помимо этого на территориях каждого производственного участка должны находиться средства по ликвидации огня. К таким средствам можно отнести огнетушители, датчики дыма, кнопки вызова пожарной бригады, системы подвода воды для пожаротушения и т.д.

Всё сводится к тому, чтобы предотвратить или минимизировать все риски по получению травм или иного ущерба здоровью рабочего персонала.

Теперь необходимо составить таблицу, в которой будут занесены все вредные производственные факторы на различных этапах технологических операций.

Все данные по вредным производственным факторам на участке представлены в таблице 11.

Проанализируя эти факторы, можно разработать способы, направленные на их устранение.

Далее необходимо обратиться к техническому паспорту данного объекта по производству маховиков. В этом паспорте важно указать такие параметры, как технологический процесс, технологические операции, наименование должностных лиц, выполняющих ту или иную операцию, инженерно-техническое оборудование и материал, из которого изготавливают данную деталь.

Все данные технологического паспорта технического объекта представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технологический паспорт технического объекта

| Технологическая операция | Вид выполняемых работ                                            | Должность работника                        | Инженерно-техническое оборудование                           | Материал обрабатываемой детали |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Литьё                    | литьё по выплавляемым моделям                                    | литейщик                                   | автоматизированные заливочные устройства для заливки металла | чугун                          |
| Точение                  | точение всех основных поверхностей маховика                      | токарь                                     | автоматическая линия из токарных станков МЗАЛ 16Б20ТМ        | чугун                          |
| Сверление                | сверлить все отверстия для соединения со сцеплением и коленвалом | токарь                                     | автоматическая линия из токарных станков МЗАЛ 16Б20ТМ        | чугун                          |
| Балансировка             | проверка распределения нагрузки на маховик                       | балансировщик                              | балансировочный станок ТБ 300                                | чугун                          |
| Контрольная операция     | проверка деталей на соответствие техническим требованиям         | контролёр отдела технического контроля ОТК | микрометры, штангенциркули, калибры, эталоны                 | чугун                          |
| Очистная                 | промывка детали от стружки и СОЖ                                 | мойщик                                     | моечная машина РСТ 420                                       | чугун                          |

Теперь рассмотрим вредные производственные факторы, которые возникают на производстве. Эти факторы напрямую влияют на здоровье и трудоспособность рабочего персонала, поэтому их необходимо учитывать и принимать меры по их устранению.

Все вредные производственные факторы рекомендуется занести в таблицу 11. В этой таблице важно указать наименование операции, виды производственных рисков и меры, которые должны применяться по устранению этих рисков.

Таблица 11 – Вредные производственные факторы

| Наименование операции | Виды производственных рисков                     | Меры по устранению рисков                                                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Литьё                 | наличие испарений металла                        | спец-костюм, респиратор, огнеупорные перчатки                              |
|                       | высокие температуры в литейных цехах             |                                                                            |
|                       | раскалённые объекты                              |                                                                            |
| Точение               | отлетающая стружка металла                       | очки со спец-стеклом для токарных станков, перчатки, респираторы, наушники |
|                       | повышенный уровень вибраций и шума при точении   |                                                                            |
|                       | попадание СОЖ на кожный покров                   |                                                                            |
|                       | испарение СОЖ                                    |                                                                            |
| Сверление             | отлетающая стружка металла                       | очки со спец-стеклом для токарных станков, перчатки, респираторы, наушники |
|                       | повышенный уровень вибраций и шума при сверлении |                                                                            |
|                       | попадание СОЖ на кожу или глаза                  |                                                                            |
|                       | высокая температура обрабатываемых поверхности   |                                                                            |
|                       | испарение СОЖ                                    |                                                                            |
| Балансировка          | Высокий уровень шума при операции балансировки   | защитный корпус балансировочного станка, шумоизолирующие наушники          |
|                       | неправильное закрепление маховика в станке       |                                                                            |

В данной таблице 11 были рассмотрены основные виды рисков, которые возникают при обработке заготовки маховика. Также были рассмотрены меры, которые можно применить для устранения таких типов риска.

Теперь важно выделить основные источники всех производственных рисков.

Например, при обработке точением черновым и чистовым основным источником риска получения травм является сам токарный станок.

Помимо этого источником также может являться отлетающая стружка металла, эта стружка очень острая. При попадании на кожу мелкие частицы металла могут проникнуть вглубь в кожный покров, что может вызвать неприятный болевой эффект. Поэтому рекомендуется носить перчатки прорезиненные и очки.

На производстве также применяется смазывающая охлаждающая жидкость, которая является очень токсичной при попадании на кожу или глаза. Если СОЖ попала на поверхность кожи или глаз, необходимо промыть этот участок большим количеством воды или обратиться за медицинской помощью.

Теперь речь пойдёт про отходы, которые возникают при изготовлении маховика и влиянии этих отходов на окружающую среду.

Все данные о воздействии вредных производственных факторов на окружающую среду представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Воздействие вредных производственных факторов на окружающую среду

| Виды отходов производства  | Воздействие на атмосферу                                                                                                     | Воздействие на литосферу                                                                     | Воздействие на гидросферу                                                                       |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Масляные отходы, СОЖ       | загрязнение воздуха парами масла и другими нефтепродуктами                                                                   | загрязнение земли продуктами нефтепереработки, истощение естественного плодородия почв       | уничтожение морских и речных организмов, ухудшение качества воды                                |
| Стружка удалённого металла | ухудшение качества воздуха испарениями металла от стружки                                                                    | загрязнение почв, полная непригодность земли                                                 | потеря качества воды, негативный эффект на микроорганизмы                                       |
| Испарение металла          | ухудшение качества воздуха, негативное влияние испарений на сухопутных животных, постепенное накопление металла в организмах | накопление металла во почве, потеря плодородия почв, потеря урожая всех растительных культур | накопление испарившегося металла в организмах морских и речных обитателей, потеря качества воды |

Далее необходимо рассмотреть такой важный фактор на производстве, как обеспечение пожарной безопасности технического объекта.

Существуют разные виды классов пожарной опасности. Эти классы зависят от того, что является источником пожарной опасности, на сколько сложно потушить такие пожары, какой вид горючего материала.

Также нельзя забывать и про опасные факторы пожара, которые влияют на рабочий персонал и имущество предприятия. К таким опасным факторам можно отнести:

- пламя и искры;
- высокая температура окружающей среды;
- высокая концентрация продуктов горения;
- повышенное содержание дыма и углекислого газа;

Каждый из этих факторов нужно учитывать и принимать необходимые меры по их устранению.

Необходимо занести все факторы пожарной опасности в таблицу и указать классы пожарной опасности каждого из операций по обработке данного изделия. Все данные об идентификации классов пожара и опасных факторов пожара представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

| Наименование операции | Оборудование                                                 | Класс пожара | Опасные факторы пожара                                  | Сопутствующие проявления факторов пожара            |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Литьё                 | автоматизированные заливочные устройства для заливки металла | В            | повышенная температура окружающей среды                 | раскалённый металл                                  |
| Точение               | автоматическая линия из токарных станков МЗАЛ 16Б20ТМ        | В            | повышенная концентрация легковоспламеняющихся жидкостей | вероятность короткого замыкания и воспламенения СОЖ |
| Сверление             | автоматическая линия из токарных станков МЗАЛ 16Б20ТМ        | В            | повышенная концентрация легковоспламеняющихся жидкостей | вероятность короткого замыкания и воспламенения СОЖ |

Продолжение таблицы 13

| Наименование операции | Оборудование                  | Класс пожара | Опасные факторы пожара                     | Сопутствующие проявления факторов пожара |
|-----------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| Балансировка          | балансировочный станок ТБ 300 | В            | высокое электрическое напряжение установки | неисправность электрооборудования        |

В данной таблице можно увидеть, что основной класс пожарной опасности для данного производственного участка – это класс В.

Это связано с тем, что на данном производстве присутствуют жидкие вещества, которые применяются для смазки и охлаждения режущих инструментов, которые обрабатывают деталь. Эти жидкости или СОЖ токсичны и при попадании на кожу или в глаза могут вызывать ожоги и воспаления.

Помимо этого СОЖ – горючее вещество и при контакте с источником огня или электрической искрой она может мгновенно загореться и нанести вред как здоровью рабочего персонала, так и экономический ущерб всему производству.

Поэтому для данного типа производства был выбран класс пожара В.

Теперь следует рассмотреть обеспечение пожарной безопасности технического объекта. Так как был определён класс пожара, то можно рассмотреть средства, которые применяются для предотвращения пожара на объекте. К таким средствам можно отнести: огнетушители, ящики с песком, пожарные краны, датчики дыма, ручные насосы.

К мероприятиям по устранению пожарной опасности можно отнести: организация пожарной охраны, инструктаж пожарной безопасности, отведение мест для курения и бытовых нагревательных приборов, своевременные профилактические осмотры производственного участка, машин, станков и другой техники.

Также следует рассмотреть вопрос о проведении организационных мероприятий при воздействии вредных производственных факторов на окружающую среду. Это могут быть не только мероприятия, но и различное техническое оборудование, которое предотвращает загрязнение окружающей среды.

Для защиты атмосферы от вредных выбросов производства рекомендуется применить:

- воздушные фильтры,
- центробежная очистка,
- мокрая очистка,
- абсорбция.

Для защиты литосферы от вредных производственных факторов применяются следующие методы:

- утилизация отходов,
- сортировка отходов,
- переработка пластикового или металлического мусора,
- установки для термической переработки отходов.

Для защиты гидросферы от вредного воздействия производственных выбросов рекомендуется применить:

- фильтрование,
- отстаивание,
- процеживание,
- адсорбция.

## 6 Экономическая эффективность работы

Начинается новый раздел дипломной работы, который называется экономической эффективностью работы.

В данной главе необходимо провести техникоэкономическое обоснование выбора того или иного метода или оборудования, который будет внедрён в производственный процесс.

Так как данная деталь изготавливается на автоматической линии фирмы «МЗАЛ», а объём выпуска изделий составляет 100000 штук в год, то предлагается внедрить в производственный процесс агрегатные станки.

Данный тип станков обладает рядом преимуществ по сравнению с автоматической линией. Во-первых, это способность станков выполнять несколько операций одновременно [25]. Во-вторых, это универсальность станков, поэтому их легко настроить под разные производственные задачи. Также можно сказать, что такие станки довольно простые в обслуживании.

Для того, чтобы внедрить данный тип станков в производство, необходимо произвести экономический расчёт и обосновать выбор данных типов станков. Поэтому можно воспользоваться методом капитальных вложений и рассчитать годовой экономический эффект от внедрения нового оборудования, используя формулу (56):

$$\mathcal{E}_Г = [(C_{полн}^{баз} + E_н \times K_{уд}^{баз}) - (C_{полн}^{пр} + E_н \times K_{уд}^{пр})] \times N_Г, \quad (56)$$

где  $C_{полн}^{баз}, C_{полн}^{пр}$  – это полные себестоимости продукции (базовая и проектная);

$E_н$  – это нормативный коэффициент экономической эффективности, который равен 0,33;

$K_{уд}^{баз}, K_{уд}^{пр}$  – это удельные капитальные вложения (базовая и проектная);

$N_Г$  – это годовой объём выпуска изделий.

Далее необходимо произвести расчёт для определения ожидаемой прибыли по формуле (57):

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = (C_{\text{полн}}^{\text{баз}} - C_{\text{полн}}^{\text{пр}}) \times N_{\Gamma}, \quad (57)$$

Затем идёт вычисление налога на прибыль с учётом коэффициента налогообложения, расчёт чистой прибыли, срока окупаемости и сравнительной экономической эффективности.

$$H_{\text{пр}} = \text{Пр}_{\text{ож}} \times k_{\text{нал}}, \quad (58)$$

$$\text{Пр}_{\text{чист}} = \text{Пр}_{\text{ож}} - H_{\text{пр}}, \quad (59)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общ}}^{\text{пр}}}{\text{Пр}_{\text{чист}}}, \quad (60)$$

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{T_{\text{ок}}}, \quad (61)$$

где  $k_{\text{нал}}$  – это коэффициент налогообложения на прибыль, который равен 0,24;

$\text{Пр}_{\text{ож}}$  – это ожидаемая прибыль;

$H_{\text{пр}}$  – это налог на прибыль;

$T_{\text{ок}}$  – это срок окупаемости;

$K_{\text{общ}}^{\text{пр}}$  – это общие капитальные вложения;

$E_{\text{ср}}$  – это сравнительный экономический коэффициент.

Затем необходимо сравнить этот показатель с нормативным коэффициентом. Если сравнительный экономический коэффициент будет больше нормативного, тогда можно сделать вывод о том, что внедрение нового оборудования будет эффективным.

Далее необходимо произвести расчёт общего дисконтируемого и чистого дисконтируемого доходов по следующим формулам:

$$D_{\text{общ, диск}} = P_{\text{чист}} \times \sum_1^T \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (62)$$

$$\text{ЧДД} = D_{\text{общ, диск}} - K_{\text{общ, пр}}. \quad (63)$$

Если параметр ЧДД > 0, тогда можно утверждать, что внедрение нового оборудования является эффективным.

«МС1772Ф3» – это многоцелевой обрабатывающий центр (агрегатный станок), который предназначен для обработки сложных поверхностей и деталей тел вращения. Цена такого станка составляет 3098471 рублей. На таком станке можно совершать одновременно несколько различных операций. Помимо этого данная модель широко используется в условиях массового и крупносерийного типов производств.

Цена автоматической линии фирмы «МЗАЛ», на котором происходит изготовление маховика, составляет 18000000 рублей. С учётом грузочных машин, токарных и сверлильных станков, общая стоимость всей автоматической линии составляет 46428231 рублей. Таким образом, на одной производственной линии всего было 10 станков.

Предлагается заменить 10 таких станков на 7 станков модели «МС1772Ф3». Общая цена таких станков будет составлять 26027156 рублей. Это и есть базовая себестоимость продукции. Однако необходимо также определить и проектную себестоимость, которая равна 21689297 рублей.

Теперь необходимо рассчитать годовой экономический эффект:

$$\begin{aligned} \text{Э}_r &= [(26027156 + 0,33 \times 40 \times 10^6) - (21689297 + 0,33 \times 50 \times 10^6)] \times \\ &\times 10^5 = 103,7 \text{ млн рублей.} \end{aligned}$$

Далее необходимо произвести расчёт чистой прибыли, срока окупаемости, индекса доходности, чистого дисконтируемого дохода. Все эти параметры представлены в таблице:

Таблица 14 – Экономические показатели производства

| Наименование показателей | Чистая прибыль, млн руб | Индекс доходности, млн руб | Чистый дисконтируемый доход, млн руб | Срок окупаемости, лет |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Обозначение показателя   | ЧП                      | ИД                         | ЧДД                                  | T <sub>ок</sub>       |
| Результат                | 329                     | 1,43                       | 312                                  | 2                     |

Таким образом, были определены все необходимые показатели экономической прибыли данного внедрения. По итогам можно сказать, что внедрение агрегатных станков такого типа может оказаться достаточно эффективным решением для производства.

## **Заключение**

В результате проделанной работы были успешно достигнуты все поставленные задачи по разработке и проектированию детали маховика.

В этой работе были успешно выполнены все задачи. Был определён тип производства данной детали, разработан технологический процесс изготовления маховика, определены все технические требования на каждую поверхность изделия, рассчитаны нормативы времени на изготовление нашего изделия.

Помимо этого, в данной выпускной работе были также вычислены многие важные параметры, которые являются ключевыми в подготовке производства и проектировании маховика.

К таким параметрам можно отнести экономические показатели нашего производства. Это срок окупаемости производства, чистая прибыль, индекс доходности, чистый дисконтируемый доход. Все эти показатели в совокупности отражают то, насколько прибыльно то или иное предприятие или завод, какой доход оно приносит, через сколько лет оно может окупиться и так далее.

Без этих показателей невозможно понять и определить экономическую эффективность работы любого предприятия.

Помимо этого были проведены расчёты в области проектирования приспособления трёхкулачкового патрона токарного станка. Здесь можно выделить множество различных показателей, которые играют большую роль в проектировании будущего приспособления. К этим показателям можно отнести значения составляющих сил резания, основные параметры режима резания, геометрические параметры приспособления: диаметр поршня, стандартные изделия, систему привода и многое другое.

Таким образом, дипломная работа является важным и заключительным этапом в подготовке молодых специалистов в области инженерных специальностей.

## Список используемой литературы

1. Антонов, А. А. Технология машиностроительного производства: учебное пособие. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. – 320 с.
2. Баранов, И. В. Основы технологии машиностроительного производства. – Санкт-Петербург: Политехника, 2019. – 250 с.
3. Блинов, П. Н. Процессы и оборудование для машиностроительного производства. – Екатеринбург: УГАТУ, 2021. – 280 с.
4. Васильев, С. С. Современные технологии в машиностроении. – Казань: Казанский университет, 2022. – 240 с.
5. Демидов, Р. В. Инновационные технологии в производстве. – Москва: Наука, 2021. – 300 с.
6. Егоров, К. А. Автоматизация процессов машиностроительного производства. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2020. – 220 с.
7. Жданов, М. Ю. Современные материалы в машиностроении. – Москва: МИР, 2022. – 270 с.
8. Ильин, В. Т. Основы производства в машиностроении. – Новосибирск: СибГТУ, 2019. – 230 с.
9. Казаков, А. П. Технологические процессы в машиностроении. – Москва: Эксмо, 2022. – 260 с.
10. Кузнецов, С. А. Автоматизация машиностроительного производства. – Санкт-Петербург: Питер, 2021. – 300 с.
11. Лебедев, Д. В. Механизация и автоматизация производственных процессов. – Москва: Оникс, 2020. – 350 с.
12. Морозов, Н. А. Основы технологического проектирования. – Нижний Новгород: НГТУ, 2019. – 280 с.
13. Петров, И. Г. Технология композиционных материалов. – Красноярск: КГТУ, 2022. – 240 с.

14. Сидоренко, А. И. Современные технологии обработки материалов. Москва: Издательство АСВ, 2021. – 300 с.
15. Федоров, Р. М. Курс технологии машиностроения. – Челябинск: ЧГТУ, 2023. – 320 с.
16. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1. – 928 с.
17. Базров Б.М. Технология машиностроения: Учебник для вузов / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 728 с.
18. Грановский Г.И. Резание металлов: Учебник для вузов / Г.И. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
19. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов / И.М. Колесов. – М.: Высшая школа, 1999. – 591 с.
20. Корсаков В.С. Основы конструирования машин: Учебное пособие для вузов / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 272 с.
21. Hassan, M. F. (2019). “Flywheel Energy Storage Systems: Manufacturing Processes and Materials Selection”. Springer International Publishing.
22. Smith, J. & Johnson, T. (2020). “Advanced Manufacturing Technologies for Rotational Components in Automotive Industry”. Journal of Materials Processing Technology, 285, 116-142.
23. Wang, L. et al. (2018). “Optimization of Flywheel Manufacturing Process Using Computer-Aided Design and Finite Element Analysis”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 96(1-4), 1275-1286.
24. Kumar, R. & Singh, A. (2021). “Precision Casting Techniques for High-Performance Flywheels”. Materials Today: Proceedings, 45(3), 4521-4530.
25. Miller, A. B. (2017). “CNC Machining Processes for Flywheel Production”. Industrial Press Inc.

## Маршрутная карта

Таблица А.1 – Маршрутная карта

ГОСТ 3.1404-86

Формы 3

|      |      |         |         |      |
|------|------|---------|---------|------|
| Изм. | Лист | № докум | Подпись | Дата |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |

## Продолжение таблицы А.1

|       |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|
| Дубл. |  |  |  |  |
| Взам. |  |  |  |  |
| Подп. |  |  |  |  |

|      |      |         |         |      |
|------|------|---------|---------|------|
| Изн. | Лист | № докум | Подпись | Дата |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |
|      |      |         |         |      |

|         |               |  |  |  |
|---------|---------------|--|--|--|
| Разраб. | Кашкин Г.А.   |  |  |  |
| Пробер. | Воронцов Д.Ю. |  |  |  |
| Н.Контр | Воронцов Д.Ю. |  |  |  |
| Уплб.   | Ласина Н.Ю.   |  |  |  |

|     |     |    |       |                           |                               |                              |
|-----|-----|----|-------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Цех | Уч. | РМ | Опер. | Код наименования операции | Код наименования оборудования | Код наименования инструмента |
|     |     |    |       |                           |                               |                              |
|     |     |    |       |                           |                               |                              |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

|   |   |   |      |      |      |
|---|---|---|------|------|------|
| А | Б | Р | А 01 | Б 02 | Р 03 |
|   |   |   |      |      |      |
|   |   |   |      |      |      |

|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |
|----|-------|---|----|----|------|----|----|------|------|
| СМ | Проф. | Р | УТ | КР | КОИД | ЕН | ОП | К.ин | Т.ин |
|    |       |   |    |    |      |    |    |      |      |

## Операционная карта

Таблица Б.1 – Операционная карта

[illegible]

## Продолжение таблицы Б.1

81

Приложение В  
Спецификация

Таблица В.1 – Спецификация

| Перв. примеч. | Формат   | Зона         | Поз.     | Обозначение   | Наименование                   | Кол.                                      | Примечание |
|---------------|----------|--------------|----------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------------|------------|
|               |          |              |          |               |                                |                                           |            |
| Стор. №       |          |              |          |               | <u>Детали</u>                  |                                           |            |
|               |          |              |          |               |                                |                                           |            |
|               |          |              | 1        | 24.011.КП.001 | Кулачок сменный                | 3                                         |            |
|               |          |              | 2        | 24.011.КП.002 | Позиционная деталь             | 3                                         |            |
|               |          |              | 3        | 24.011.КП.003 | Кулачок постоянный             | 3                                         |            |
|               |          |              | 4        | 24.011.КП.004 | Крышка защитная                | 1                                         |            |
|               |          |              | 5        | 24.011.КП.005 | Рычаг                          | 3                                         |            |
|               |          |              | 6        | 24.011.КП.006 | Корпус патрона                 | 1                                         |            |
|               |          |              | 7        | 24.011.КП.007 | Шпиндель станка                | 1                                         |            |
|               |          |              | 8        | 24.011.КП.008 | Втулка центральная             | 1                                         |            |
|               |          |              | 9        | 24.011.КП.009 | Шток                           | 1                                         |            |
|               |          |              | 10       | 24.011.КП.010 | Корпус гидравлического привода | 1                                         |            |
| Подп. и дата  |          |              | 11       | 24.011.КП.011 | Кольцо уплотнительное          | 2                                         |            |
|               |          |              | 12       | 24.011.КП.012 | Поршень                        | 1                                         |            |
|               |          |              | 13       | 24.011.КП.013 | Кольцо                         | 2                                         |            |
|               |          |              | 14       | 24.011.КП.014 | Кольцо                         | 3                                         |            |
|               |          |              | 15       | 24.011.КП.015 | Кольцо                         | 1                                         |            |
|               |          |              | 16       | 24.011.КП.016 | Гидроцилиндр                   | 1                                         |            |
|               |          |              | 17       | 24.011.КП.017 | Уплотнитель 150*120*3          | 1                                         |            |
|               |          |              | 18       | 24.011.КП.018 | Шток задний                    | 1                                         |            |
|               |          |              | 19       | 24.011.КП.019 | Шток передний                  | 1                                         |            |
|               |          |              | 20       | 24.011.КП.020 | Ось                            | 1                                         |            |
|               |          |              | 21       | 24.011.КП.021 | Сухарь                         | 3                                         |            |
|               |          |              | 22       | 24.011.КП.022 | Втулка гидроцилиндра           | 1                                         |            |
|               |          |              | 23       | 24.011.КП.023 | Цилиндр                        | 1                                         |            |
| Взам. инв. №  |          |              |          |               |                                |                                           |            |
|               |          |              |          |               |                                |                                           |            |
| Подп. и дата  |          |              |          |               |                                |                                           |            |
|               |          |              |          |               |                                |                                           |            |
| Инв. № подл.  | Изм.     | Лист         | № докум. | Подп.         | Дата                           | 25.БР.ОТМП.006.70.000 СБ                  |            |
|               | Разраб.  | Кашкин Г.А.  |          |               |                                | Патрон трёхкулачковый<br>самоцентрирующий | Лит.       |
|               | Проб.    | Варанов Д.Ю. |          |               |                                |                                           | Лист       |
|               | Н.контр. | Варанов Д.Ю. |          |               |                                | ТГУ, ТМδ-2101а                            | Листов     |
|               | Утв.     | Логинов Н.Ю. |          |               |                                |                                           |            |

# Продолжение Приложения В

Продолжение таблицы В.1

| Перв. примен. |  | Формат | Зона | Поз. | Обозначение   | Наименование                   | Кол. | Примечание |
|---------------|--|--------|------|------|---------------|--------------------------------|------|------------|
|               |  |        |      |      |               | Детали                         |      |            |
|               |  |        |      | 1    | 24.011.КП.001 | Кулачок сменный                | 3    |            |
|               |  |        |      | 2    | 24.011.КП.002 | Позиционная деталь             | 3    |            |
|               |  |        |      | 3    | 24.011.КП.003 | Кулачок постоянный             | 3    |            |
|               |  |        |      | 4    | 24.011.КП.004 | Крышка защитная                | 1    |            |
|               |  |        |      | 5    | 24.011.КП.005 | Рычаг                          | 3    |            |
|               |  |        |      | 6    | 24.011.КП.006 | Корпус патрона                 | 1    |            |
|               |  |        |      | 7    | 24.011.КП.007 | Шпиндель станка                | 1    |            |
|               |  |        |      | 8    | 24.011.КП.008 | Втулка центральная             | 1    |            |
|               |  |        |      | 9    | 24.011.КП.009 | Шток                           | 1    |            |
|               |  |        |      | 10   | 24.011.КП.010 | Корпус гидравлического привода | 1    |            |
|               |  |        |      | 11   | 24.011.КП.011 | Кольцо уплотнительное          | 2    |            |
|               |  |        |      | 12   | 24.011.КП.012 | Поршень                        | 1    |            |
|               |  |        |      | 13   | 24.011.КП.013 | Кольцо                         | 2    |            |
|               |  |        |      | 14   | 24.011.КП.014 | Кольцо                         | 3    |            |
|               |  |        |      | 15   | 24.011.КП.015 | Кольцо                         | 1    |            |
|               |  |        |      | 16   | 24.011.КП.016 | Гидроцилиндр                   | 1    |            |
|               |  |        |      | 17   | 24.011.КП.017 | Уплотнитель 150*120*3          | 1    |            |
|               |  |        |      | 18   | 24.011.КП.018 | Шток задний                    | 1    |            |
|               |  |        |      | 19   | 24.011.КП.019 | Шток передний                  | 1    |            |
|               |  |        |      | 20   | 24.011.КП.020 | Ось                            | 1    |            |
|               |  |        |      | 21   | 24.011.КП.021 | Сухарь                         | 3    |            |
|               |  |        |      | 22   | 24.011.КП.022 | Втулка гидроцилиндра           | 1    |            |
|               |  |        |      | 23   | 24.011.КП.023 | Цилиндр                        | 1    |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        |      |      |               |                                |      |            |
|               |  |        | </   |      |               |                                |      |            |