



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.В.Бобровский  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**  
**(уровень бакалавра)**  
**направление подготовки 15.03.01 «Машиностроение»**  
**профиль «Технология машиностроения»**

Студент Бегун Анна Ильинична гр. МС6-1203

1. Тема Разработка технологического процесса изготовления маложесткого длинномерного вала водометного движителя

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе.

1) Чертёж детали.

2) Годовая программа 100 дет/год

3) Режим работы двухсменный.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 40-60 с.)

*Титульный лист.*

*Задание. Аннотация. Содержание.*

*Введение, цель работы*

*1) Описание исходных данных*

*2) Технологическая часть работы*

*3) Проектирование приспособлений*

*4) Безопасность и экологичность технического объекта*

*5) Экономическая эффективность работы*

*Заключение. Список используемой литературы.*

*Приложения: технологическая документация*

5. Ориентировочный перечень графического материала (6-7 листов формата А1)

1) Деталь (с изменениями) 0,5 – 1

2) План обработки 1 – 2

3) Технологические наладки 1 – 2

4) Приспособление станочное 1 – 1,5

5) Приспособление для ТСО 1 – 1,5

6) Презентация 0,5 – 1

6. Консультанты по разделам

Н. В. Зубкова

К. Ш. Нуров

В. Г. Виткалов

7. Дата выдачи задания «\_\_» марта 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. заведующего кафедрой  
к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ А.В. Бобровский  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Студента Бегун Анна Ильинична

По теме Разработка технологического процесса изготовления маложесткого длинномерного вала водометного движителя

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Задание. Аннотация. Содержание.	03.04.2016	04.06.2016	выполнено	
Введение	08.04.2016	03.06.2016	выполнено	
Описание исходных данных	20.04.2016	06.06.2016	выполнено	
Технологическая часть работы	29.04.2016	08.06.2016	выполнено	
Проектирование приспособлений	08.05.2016	10.06.2016	выполнено	
Безопасность и экологичность технического объекта	15.05.2016	12.06.2016	выполнено	
Экономическая эффективность работы	20.05.2016	20.06.2016	выполнено	
Заключение. Список используемой литературы.	23.05.2016	21.06.2016	выполнено	
Предварительная защита	16.06.2016		пройдено	

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_ Д. Г. Левашкин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ А. И. Бегун  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

УДК 621.9

Бегун А.И. Выпускная квалификационная работа. Разработка технологического процесса изготовления маложесткого длинномерного вала водометного движителя.

Кафедра: Оборудование и технологии машиностроительного производства.

ТГУ: Тольятти, 2016г., с 78, 6 л. формата А1, 1 плакат на л. формата А1.

В данной квалификационной работе был разработан специальный технологический процесс по изготовлению маложесткого длинномерного вала водометного движителя в условиях мелкосерийного типа производства. Также было введена инновация, связанная с сокращением термических операций – отпусков, с помощью применения 1 термосиловой операции с применением специального приспособления длительностью 12 часов. Работа была проверена на безопасность, экологичность и экономическую эффективность.

## ВВЕДЕНИЕ

Водометный судовой движитель относится к средствам создания тяги для движения судна. Водометный движитель с консольно расположенным импеллером выполнен в виде съемного конструктивно завершеного модуля, представляющего собой тело вращения. Модуль состоит из герметичного корпуса, например трубы, с расположенным в нем приводным валом с подшипниками. При этом корпус пересекает стенку водоводного канала по посадке с зазором, а другим концом соединен через пилонь с обечайкой импеллера, сопряженной с задним срезом водоводного канала по посадке с зазором. Сопло сопрягается с задним срезом обечайки импеллера по посадке с зазором и фиксируется замками. Повышается технологичность в производстве и эксплуатации за счет выделения осевого насоса во взаимозаменяемую конструктивно завершеноую сборочную единицу. Вал – это неотъемлемая часть изобретения. Подробные его характеристики будут изложены в разделах 1.1 – 1.4.

Целью выпускной квалификационной работы является: разработка технологического процесса изготовления маложесткого вала в условиях мелкосерийного типа производства. Описание анализа исходных данных и определение типа производства, выбор технологических баз и методов обработки, разрабатывается технологический маршрут и операционная технология, разрабатывается конструкция приспособления для термосиловой обработки снижающее уровень внутренних напряжений в материале.

Разработка технологического процесса сопровождается экономической эффективностью, экологичностью и проверкой на безопасность.

## СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
СОДЕРЖАНИЕ.....	6
1. Описание исходных данных.....	8
1.1. Назначение и условие работы.....	8
1.2. Классификация поверхностей детали.....	8
1.3. Описание материала заготовки.....	9
1.4. Описание технологичности конструкции детали.....	9
1.4.1. Количественный анализ технологичности.....	9
1.4.2. Качественный анализ технологичности.....	11
1.5. Определение типа производства.....	12
1.6. Выбор стратегии разработки техпроцесса.....	13
1.7. Задачи выпускной квалификационной работы.....	14
2. Технологическая часть работы.....	15
2.1. Технологичность заготовки.....	15
2.2. Технологичность обрабатываемых поверхностей.....	15
2.3. Разработка технологического маршрута и схем базирования.....	16
2.4. Показатели технологичности конструкции детали в целом.....	17
2.5. Описание технических требований к чертежу.....	17
2.6. Выбор маршрута обработки поверхностей.....	18
2.7. Разработка технологического маршрута обработки детали и выбор средств технологического оснащения.....	19
2.8. Выбор оборудования.....	20
2.9. Расчет припусков на механическую обработку.....	23
2.10. Расчет режимов резания и норм штучного времени.....	25
3. Проектирование приспособлений.....	36
3.1. Расчет и проектирование приспособлений для термосиловой обработки.....	36
3.1.1. Исходные данные.....	36

3.1.2. Определение допускаемых напряжений.....	36
3.1.3. Расчет допускаемых осевых усилий.....	38
3.1.4. Выбор марки стапеля.....	39
3.1.5. Расчет рабочего усилия создаваемого стапелем.....	41
3.1.6. Расчет сдвигающего усилия и напряжений смятия среза.....	43
3.1.7. Расчет относительной величины пластической деформации под действием растягивающей силы.....	44
3.1.8. Расчет времени охлаждения детали.....	45
3.1.11. Расчет времени охлаждения стапеля.....	49
3.2. Устройство и способ термосиловой обработки и обработки холодом мало жестких валов.....	51
3.3. Расчет и проектирование приспособления для базирования и закрепления детали.....	55
4. Безопасность и экологичность технического объекта.....	58
4.1. Конструктивно-техническая характеристика объекта.....	58
4.2. Идентификация производственное – технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	58
4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков.....	60
4.4. Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта.....	62
4.5. Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта.....	63
4.6. Организационные мероприятия по предотвращению пожара.....	64
4.7. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	64
4.8. Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.....	64
5. Экономическая эффективность работы .....	67

5.1. Расчет экономической эффективности путем сравнения базового и проектного варианта.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	74

## 1. Описание исходных данных

### 1.1. Назначение и условие работы

Деталь – длинномерный мало жесткий вал. В современном машиностроении всё чаще находят применение машины, содержащие в своём устройстве такие мало жесткие валы. В большинстве случаев они работают в условиях действия больших знакопеременных нагрузок и испытывают значительные упругие деформации изгиба и кручения. При больших скоростях вращения и малой жесткости валов даже весьма незначительная величина коробления вызывает появление дисбаланса, вибраций, увеличения динамических нагрузок на опоры, что существенно ускоряет разрушение детали и машины в целом, поэтому к структуре и марке материала детали предъявляются высокие требования. Выбираем в качестве материала для изготовления вала сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75.

### 1.2. Классификация поверхностей детали

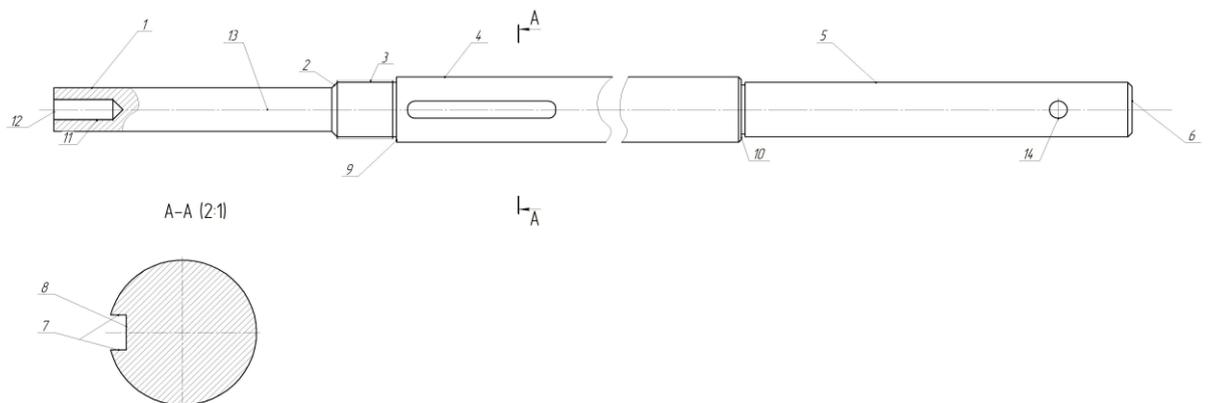


Рисунок 1.1 - Систематизация поверхностей

Таблица 1.1 - Классификация поверхностей детали по служебному назначению

№	Вид поверхностей	Номера поверхностей
1	2	3
1	Исполнительные	7, 11, 14
2	Основные конструкторские базы (ОКБ)	1, 2, 3, 9
3	Вспомогательные конструкторские базы (ВКБ)	4, 5, 10
4	Свободные	остальные

### 1.3. Описание материала заготовки

Материал вала: Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75.

Сталь 12Х18Н10Т – сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная, обладающая высокой твердостью (НВ>179МПа).

Сталь 12Х18Н10Т применяется в сварных конструкциях, работающих в контакте с азотной кислотой и другими средами окислительного характера; в некоторых органических растворителях, атмосферных условиях и т.д. Изготавливают емкостное, теплообменное и другое оборудование.

Для изготовления сварных конструкций в криогенной технике при температуре до 269°С.

Таблица 1.2 - Химический состав стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %	Ni, %
≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 0,2	17-19,0	≤ 0,020	≤ 0,035	9-11,0

Таблица 1.3 - Механические свойства стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75

$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	НВ, МПа
200	550	40	55	250	179

### 1.4. Описание технологичности конструкции детали

Анализ технологичности детали выполняем с целью выявления возможности снижения себестоимости обработки детали, путем совершенствования ее конструкции.

#### 1.4.1. Количественный анализ технологичности

Коэффициент унификации поверхностей рассчитывается по формуле:

$$K_y = \frac{n_y}{\sum n}, \quad (1.1)$$

где  $n_y$  - число унифицированных поверхностей;

$\sum n$  - сумма всех поверхностей.

$$K_y = \frac{12}{13} = 0,93;$$

$K_y = 0,93$ , т.к. некоторые поверхности детали выполняются стандартным инструментом на универсальном оборудовании с использованием специальной оснастки.

Коэффициент шероховатости поверхностей рассчитаем по формуле:

$$K_u = \frac{\sum n_i \cdot Ra_i}{\sum n_i}, \quad (1.2)$$

где  $n_i$  - число поверхностей;

$Ra_i$  – шероховатость поверхностей.

$$K_u = \frac{12,5 \cdot 2 + 6,3 \cdot 1 + 2,5 \cdot 4 + 1,25 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 0,63 \cdot 2}{13} = 3,7;$$

Средняя шероховатость поверхностей  $Ra$  3,7 мкм, значит, данную деталь можно изготовить на станках нормальной точности. Минимальная шероховатость  $Ra$  0,63 мкм.

Коэффициент точности рассчитывается:

$$K_T = \frac{\sum n_i \cdot IT_i}{\sum n_i}, \quad (1.3)$$

где  $IT_i$  - квалитет поверхностей.

$$K_T = \frac{4 \cdot 6 + 1 \cdot 7 + 4 \cdot 8 + 1 \cdot 11 + 2 \cdot 14}{13} = 7,84.$$

Средняя точность поверхностей выполнена по 8 квалитету, значит, данную деталь можно изготовить на станках нормальной точности.

#### 1.4.2. Качественный анализ технологичности

Рабочий чертеж вала содержит необходимую графическую информацию для полного представления о его конструкции. Указаны все размеры, отклонения от правильности, геометрических форм, проставлены шероховатости поверхностей. Расположение поверхностей обеспечивает свободный доступ режущего инструмента. Возникает необходимость применения специального станочного и мерительного инструмента из-за габаритов детали.

По технологическому признаку валы делятся на жесткие и не жесткие. Критерием отнесения вала к той или иной категории является отношение:

$$L / D_{cp}, \quad (1.4)$$

где  $L$  - общая длина вала;

$D_{cp}$  - средний диаметр ступеней вала.

Для рассматриваемого вала  $L = 3000 \text{ мм}$ ,  $D_{cp} = 90 \text{ мм}$ , тогда  $3000/90=33,33 > 12$  –следовательно, вал нежесткий и при разработке технологического процесса необходимо разрабатывать особые методы установки детали на станке и режимы резания.

#### 1.5. Определение типа производства

Массу детали можно найти по формуле:

$$M = V_{\text{ОБЩ}} \cdot \rho, \quad (1.5)$$

где  $\rho$ - плотность стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75;

$V$ - объем готовой детали;

$\rho$  стали =7920 кг/м<sup>3</sup>.

Объем детали находим следующим образом:

$$V = \pi \cdot d^2 \cdot l / 4, \quad (1.6)$$

где  $d$  – диаметр детали, мм;

$l$  – длина заготовки, мм.

Отсюда объем детали равен:

$$V_{\text{об}} = \frac{3,14 \cdot 60^2 \cdot 383}{4} + \frac{3,14 \cdot 80^2 \cdot 80}{4} + \frac{3,14 \cdot 90^2 \cdot 2009}{4} + \frac{3,14 \cdot 75^2 \cdot 528}{4} = 0,016 \text{ м}^3$$

Получаем, что:

$$M = V_{\text{ОБЩ}} \cdot \rho = 0,016 \cdot 7920 = 126,72 \text{ кг.}$$

Тип производства зависит от годовой программы выпуска детали и их массы. По данным, при массе детали  $m=126,72$  кг и годовой программе выпуска  $N = 100$  деталей в год - мелкосерийное производство. Для этого типа производства характерна переменнo-поточная форма организации технологического процесса.

## 1.6 Выбор стратегии разработки техпроцесса

Таблица 1.4 - Основные характеристики мелкосерийного производства

№	Критерий выбора техпроцесса	Характеристика
1	2	3
1	Форма организации техпроцесса для среднесерийного производства	Переменно-поточная
2	Повторяемость выпуска изделий	Периодическое повторение партий

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3
3	Унификация техпроцесса	Разработка специальных техпроцессов на базе единичных и типовых
4	Заготовка	Прокат, профильный прокат
5	Припуски	Подробный по переходам от детали до заготовки или по таблицам
6	Оборудование	Универсальное, специализированное с ЧПУ
7	Загрузка оборудования	Периодическая смена деталей на станках
8	Расстановка оборудования	С учётом характерного направления грузопотока деталей
9	Настройка станков	По управляющей программе
10	Оснастка	Универсальная и специальная
11	Подробность разработки техпроцесса	Маршрутная карта, операционная карта, карта эскизов
12	Нормирование	Пооперационное

### 1.7 Задачи выпускной квалификационной работы

На основании анализа базового технологического процесса изготовления маложесткого длинномерного вала в выпускной квалификационной работе предлагается решить следующие задачи:

1. Определить тип производства и выбрать стратегию разработки технологического процесса;
2. Выбрать оптимальный метод получения заготовки и маршрут обработки поверхностей;
3. Разработать технологический маршрут и схемы базирования заготовки;
4. Выбрать оборудование, приспособления, режущий инструмент, средства контроля;
5. Рассчитать припуски на обработку на спроектированные технологические операции;
6. Рассчитать и спроектировать приспособления для ТСО;

7. Рассмотреть мероприятия по обеспечению безопасности и экологичности технологического объекта;
8. Определить экономическую эффективность для усовершенствованной операции технологического процесса.

## 2. Технологическая часть работы

### 2.1. Технологичность заготовки

Деталь – вал изготавливается из стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75 методом проката в условиях мелкосерийного производства. Конфигурация наружного контура детали вызывают трудности при получении заготовки из-за больших габаритов. Таким образом, заготовку можно считать не технологичной.

### 2.2. Технологичность обрабатываемых поверхностей

Количество и протяженность сопрягаемых поверхностей вала определяется конструкцией узла и условиями работы детали. Точность поверхностей определяется требованиями работоспособности всего узла. Для нормальной работы вала заданная точность является оптимальной, ее повышение приведет к неоправданному росту затрат на обработку, а снижение приведет к снижению работоспособности. То же самое можно сказать и о требованиях к шероховатости рабочих поверхностей. Доступ к местам обработки и контроля свободный.

Протяженность поверхностей велика, что усложняет процесс обработки детали. Это негативно сказывается на технологичности конструкции вала.

Поверхности детали имеют качества, степени точности и шероховатости, соответствующие их служебному назначению. Максимальное значение данных параметров следующее:

Квалитета: JT6 – поверхности 3, 4, 5, 11;

Шероховатости: Ra 0,63 на поверхности 4, 5; Ra 1 на поверхности 3, 11;

Биение 0,02 поверхностей 3, 5 относительно поверхности 4;

Цилиндричность 0,05 поверхностей 1, 5;

Параллельность 0,025 поверхностей 7;

Симметричность 0,05 поверхностей 7;

Таким образом, конструкция вала не является технологичной.

### 2.3. Разработка технологического маршрута и схем базирования

Задача раздела – разработать оптимальный технологический маршрут, то есть такую последовательность операций, которая обеспечит получение из заготовки готовой детали с наименьшими затратами. При этом необходимо разработать такие схемы базирования заготовки на каждой операции, которые обеспечивают минимальную погрешность обработки и установки

При разработке маршрута обработки будем руководствоваться следующими правилами:

1. Содержание операций планировать по принципу концентрации переходов, то есть как можно больше поверхностей обрабатывать с одного установа;
2. На первой операции обрабатывать те поверхности заготовки, которые на последующих операциях будут использоваться в качестве технологических баз;
3. Точные поверхности обрабатывать в конце технологического процесса.

При разработке схем базирования будем использовать следующие рекомендации:

1. При разработке схем базирования обеспечить нулевую погрешность базирования путем использования в качестве технологических баз одних и тех же поверхностей заготовки на протяжении всего технологического процесса (принцип единства баз)
2. Черновые базы исходной заготовки использовать для базирования только на одном установе операции технологического процесса
3. В качестве технологических баз на каждом переходе использовать измерительные базы получаемых размеров (принцип совмещения баз)

#### 2.4. Показатели технологичности конструкции детали в целом

1. Материал не является дефицитным, стоимость приемлема;
2. Конфигурация детали не сложная, габариты большие;
3. Размеры и качество поверхности детали имеют оптимальные требования по точности и шероховатости;
4. С учётом требований к поверхностям детали (точности, шероховатости), а также их технологического назначения окончательное формирование поверхностей детали (ни одной) на заготовительной операции невозможно;
5. Конструкция не обеспечивает высокую жесткость детали;
6. Технические требования предусматривают особые методы и средства контроля;
7. Наличие конструктивных элементов, обеспечивают нормальную работу режущего инструмента;
8. Возможность обработки наибольшего количества поверхностей с одного установа;
9. Возможность обработки на проход;
10. Способ простановки размеров на чертеже учитывает способы настройки инструмента на размер.

Вывод: Поверхности детали имеют оптимальные значения качеств, шероховатости, отклонений форм и расположения, конструктивные элементы обеспечивают свободный доступ режущего инструмента и т.д., однако габариты детали не дают возможность однозначно определить деталь как технологичную. Таким образом, конструкция вала является не технологичной.

#### 2.5. Описание технических требований к чертежу

Таблица 2.1 – Анализ технических требований к чертежу детали

№ поверхности	Вид	Габаритные размеры	ЛТ	Ra, мкм	ТТ Технические условия	HRC
1	2	3	4	5	6	7
1.	ЦН	Ø 60	8	2,5	 	45..50
2.	П		8	2,5		
3.	Р	M80x4	6	1		
4.	ЦН	Ø 90	6	0,63	Д	
5.	ЦН	Ø 75	6	0,63	 	
6.	П		14	12,5		
7.	Ф		8	2,5	 	
8.	П		11	6,3		
9.	П		8	2,5		
10.	П		8	2,5		
11.	Р	M30x3	6	1		
12.	П		14	12,5		
14.	О	Ø 24	7	1,25	 	

## 2.6. Выбор маршрута обработки поверхностей

Анализ последовательности обработки поверхностей проводим с целью, проверки правильности выбора методов обработки.

Таблица 2.2 - Технологический маршрут обработки поверхностей

№ пов-ти	Вид	ЛТ	Ra	ТТ	Переходы
1	2	3	4	5	6
6, 12	П	14	12,5		ТО (ЛТ 14); Токарная отрезная(ЛТ 13;Ra 12,5).
4, 5	ЦН	6	0,63	 	Точение черновое (ЛТ 12;Ra 6,3); Точение чистовое (ЛТ 8;Ra 2,5); ТО (ЛТ 9); Точение тонкое (ЛТ 6;Ra 0,63);
1	ЦН	8	2,5	 	Точение черновое (ЛТ 12;Ra 6,3); Точение чистовое (ЛТ 8;Ra 2,5); ТО (ЛТ 9); Точение тонкое (ЛТ 8;Ra 2,5) ;

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6
2, 9, 10	П	8	2,5		Точение черновое (JT 12;Ra 6,3); Точение чистовое (JT 9;Ra 3,2 ); ТО (JT 10); Точение тонкое (JT 8;Ra 2,5);
3	Р	6	1		Точение черновое (JT 12;Ra 6,3); Точение чистовое (JT 9;Ra 3,2 ); ТО (JT 10) ; Точение тонкое (JT 6;Ra 1);
13,15	Ф	8	2,5	<u>//</u> <u>0,025Ж</u> <u>0,05Ж</u>	ТО (JT 14) Токарная (JT 8;Ra 2,5);
14	О		1,25	<u>//</u> <u>0,025Ж</u> <u>0,05Ж</u>	ТО (JT 14) Сверлильная(JT 8;Ra 2,5);
11	О	6	1		ТО(JT 14) Сверлильная (JT 6;Ra 1);

2.7. Разработка технологического маршрута обработки детали и выбор средств технологического оснащения

Технологический маршрут обработки вала заносим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Технологический маршрут изготовления детали

№ оп.	Наименование операции	JT	Ra	Наименование переходов	Технологическое оборудование
1	2	3	4	5	6
000	Заготовительная	14	12,5	Прокат	000
005	Токарная черновая	12	6,3	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Точить поверхности 4,10,5,19	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000
010	Токарная черновая	12	6,3	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Точить поверхности 9,3,2,1,20	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000
015	Токарная чистовая	9 8	3,2 2,5	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Точить поверхности 4,10,5	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000

Продолжение таблицы 2.3.

1	2	3	4	5	6
020	Токарная чистовая	9 8	3,2 2,5	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Точить поверхности 9,3,2,1	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000
025	Токарная резьбонарезальная	8	2,5	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Нарезать резьбу в два установка поверхности 3,19,20	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000
030	Термическая	10 9		Термосиловая обработка и обработка холодом	Установка для термосиловой обработки и обработки холодом (ТСО)
035	Тонкое точение	13 8 6	12,5 2,5 0,63	Установить заготовку в люнеты, выверить, закрепить. Точить поверхности 1,2,3,4,5,9,10 Точить канавки, фаски Отрезать лишний припуск, выдерживая длину детали по чертежу. Образование поверхностей 6,12	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000
040	Токарная	11 8 7 6	6,3 2,5 1,25 1	Фрезеровать пазы, поверхности, отверстия 7,8,11,14	Сверлильно-фрезерный станок Stalex ZX6350C 383004
045	Моечная				Моечная машина
050	Контрольная				Установка для контроля кривизны

## 2.8. Выбор оборудования

Так как производство мелкосерийное, то в качестве оборудования выбирают универсальное и специализированное станки с ЧПУ. Результаты выбора станков приведены в таблице 2.4.

Под технологической оснасткой понимают станочные приспособления (приспособления для установки, закрепления, а при необходимости и для

совершения в процессе обработки детали различных движений), режущий и мерительный инструмент.

Таблица 2.4 - Выбор оборудования, приспособления, инструмента

№ операции	Технологическое оборудование	Станочные приспособления	Режущий инструмент	Контрольно-измерительные средства
1	2	3	4	5
005 Токарная черновая	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Резец проходной прямой с углом в плане $\varphi=60^\circ$ . ГОСТ 18877-73. ТУ 5688-61. Форма пластины по ГОСТ 2209-69. Материал пластины ВК8	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм)
010 Токарная Черновая	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Резец проходной прямой с углом в плане $\varphi=60^\circ$ . ГОСТ 18877-73. ТУ 5688-61. Форма пластины по ГОСТ 2209-69. Материал пластины ВК8	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм)
015 Токарная чистовая	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Резец токарный проходной отогнутый с углом в плане $\varphi=45^\circ$ . ГОСТ 18877-73. ТУ 5688-61. Форма пластин по ГОСТ 2209-69. Материал пластины Т15К6.	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм) Микрометр гладкий МК 25 - 50 (ц.д. 0,01мм) ГОСТ 6507-90
020 Токарная чистовая	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Резец токарный проходной отогнутый с углом в плане $\varphi=45^\circ$ . ГОСТ 18877-73. ТУ 5688-61. Форма пластин по ГОСТ 2209-69. Материал пластины Т15К6.	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм) Микрометр гладкий МК 25 - 50 (ц.д. 0,01мм) ГОСТ 6507-90

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5
025 Токарная резьбонарезальная	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Плашка М80х4 ГОСТ 9740-71 Материал пластины 9ХС Резец токарный проходной отогнутый с углом в плане $\varphi=45^\circ$ .	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм) Микрометр гладкий МК 25 - 50 (ц.д. 0,01мм) ГОСТ 6507-90
030 Термическая	Установка для термосиловой обработки и обработки холодом (ТСО)	Стапель	-	-
035 Тонкое точение	Станок токарно-винторезный с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Резец токарный проходной с механическим креплением алмаза (0,6 карат) и углом $\varphi=45^\circ$ . ГОСТ 13289-76 (правый и левый) Отрезной резец, оснащенный пластинами из твердого сплава ГОСТ 18884-73 Материал пластины ВК8 Резец специальный для прорезания канавок Материал Т15К6 ГОСТ 18874-73	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм) Штангенциркуль ШЦ-III-4000 ГОСТ 166-89 Микрометр гладкий МК 25 - 50 (ц.д. 0,01мм) ГОСТ 6507-90
040 Токарная	Сверлильно-фрезерный станок Stalex ZX6350C 383004	Патрон поводковый с быстросменным поводком 7160-0002 МН4050-02 Люнет роликовый неподвижный самоцентрирующий специальный	Фреза шпоночная цельная твердосплавная $\varnothing 25$ ГОСТ 20538-75 Материал пластины ВК8 Метчики М30х3 м/р ГОСТ 3266-81 Материал пластины Р6М5 Сверло d24x100x235 ГОСТ 22736-77 Материал сверла ВК8	Штангенциркуль ШЦ-I-150 ГОСТ 166-89 (ц.д. 0,05мм) Штангенциркуль ШЦ-III-4000 ГОСТ 166-89 Микрометр гладкий МК 25 - 50 (ц.д. 0,01мм)

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5
045 Моечная	Моечная машина	-	-	-
050 Контрольная	Установка для контроля кривизны детали			

2.9. Расчет припусков на механическую обработку

Таблица 2.5 - Расчет припусков на механическую обработку

№	Переходы	Квалитет	Допуски	Составляющее припуска, мм			Предельные размеры, мм		Предельные припуски, мм	
				a	Δ	ε	D <sub>min</sub>	D <sub>max</sub>	Z <sub>min</sub>	Z <sub>max</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	Прокат	14	0,870	0,175	0,217	0	91,6915	92,5615	-	-
1	Точение черновое	11	0,350	0,180	0,875	0	90,9065	91,2565	0,785	0,1,305
2	Точение чистовое	8	0,054	0,045	0,013	0	90,3715	90,4585	0,502	0,0,798
-	ТО	9	0,087	0,175	0,0217	0	-	-	-	-
3	Тонкое точение	6	0,022	0,022	0,055	0	89,978	90	0,04265	0,4585

$$Z_{\min}^i = a^{i-1} + \sqrt{(\Delta^2)^{i-1} + (\varepsilon^2)^{i-1}} \quad (2.1)$$

$$Z_{\min}^1 = 0,175 + \sqrt{(0,2175)^2 + 0^2} = 0,3925$$

$$Z_{\min}^2 = 0,18 + \sqrt{(0,0875)^2 + 0} = 0,2675$$

$$Z_{\min}^3 = 0,175 + \sqrt{(0,02175)^2 + 0} = 0,19675$$

Определим расчетный диаметр для каждого перехода.

$$D_{\min p}^{i-1} = D_{\min p}^i + 2Z_{\min p}^i \quad (2.2)$$

$$D_{\min p}^2 = 89,978 + 2 \cdot 0,19675 = 90,3715$$

$$D_{\min p}^1 = 90,3715 + 2 \cdot 0,2675 = 90,9065$$

$$D_{\min p}^0 = 90,9065 + 2 \cdot 0,3925 = 91,6915$$

Определим максимальный размер для каждого перехода.

$$D_{\max}^i = D_{\min}^i + JT \quad (2.3)$$

$$D_{\max}^0 = 91,6915 + 0,870 = 92,5615$$

$$D_{\max}^1 = 90,9065 + 0,350 = 91,2565$$

$$D_{\max}^2 = 90,3715 + 0,087 = 90,4585$$

$$D_{\max}^3 = 89,978 + 0,022 = 90$$

Определяем, предельные значение припусков.

$$2Z_{\max}^i = D_{\max}^{i-1} - D_{\max}^i \quad (2.4)$$

$$2Z_{\max}^3 = 90,4585 - 90 = 0,4585$$

$$2Z_{\max}^2 = 91,2565 - 90,4585 = 0,798$$

$$2Z_{\max}^1 = 92,5615 - 91,2565 = 1,305$$

$$2Z_{\min}^i = D_{\min}^{i-1} - D_{\min}^i \quad (2.5)$$

$$2Z_{\min}^3 = 90,3715 - 89,978 = 0,4265$$

$$2Z_{\min}^2 = 90,9065 - 90,3715 = 0,502$$

$$2Z_{\min}^1 = 91,6915 - 90,9065 = 0,785$$

Проверка:

$$2Z_{\max}^i - 2Z_{\min}^i = 0,4585 - 0,4265 = 0,032$$

$$JT^{i-1} - JT^i = 0,054 - 0,022 = 0,032$$

## 2.10. Расчет режимов резания и норм штучного времени

Операция 15 Токарная с ЧПУ (чистовая)

Исходные данные:

Деталь – вал

Материал – сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 599-75

Точность обработки поверхностей – 9 квалитет

Шероховатость обработки поверхностей – Ra = 3,2 мкм

Заготовка – калиброванный пруток нормальной точности

Диаметр 91,108 мм; длина 3000 мм.

Применяемая технологическая оснастка:

Оборудование – токарный станок 1М63Н-3 РЦМ 5000 с модернизированной удлиненной станиной.

Режущий инструмент – резец токарный проходной для контурного точения.

ТУ 2-035-892-82, оснащенный режущей пластиной из твердого сплава Т15К6 ромбической формы имеющей следующие геометрические параметры:

$\varphi = 93^\circ$ , сечение державки 25×25.

Подробное содержание выполнения операции на установе А представим в виде таблицы 2.6 [ 21 ].

Таблица 2.6 – Выполнение операции на установе А

№	Содержание перехода	Длина обработки до торца, мм
1	Точить поверхность 4 Ø 91,108мм	2472,74
2	Точить поверхность 5 Ø 76,25мм	3000,74
3	Обтачивание фаски 10 1x45°	2

Выбираем по карте [21] табличные значения подачи для каждого технологического перехода и назначаем глубину резания.

Для поверхностей 4, 5, 10 при точении детали до 100 мм и глубиной резания  $t = 0,6$  мм, подача  $S_T = 0,14$  мм/об.

1) Определим подачу на чистовой обработке на каждом технологическом переходе с учетом поправочных коэффициентов по формуле:

$$S = S_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10} \cdot K_{11} \cdot K_{12}, \text{ мм/об}; \quad (2.6)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий подачу в зависимости от инструментального материала, для Т15К6 коэффициент  $K_1 = 1,00$ ;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий способ крепления пластины, при креплении пластины при помощи винтов коэффициент  $K_2 = 1,05$ ;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий сечение державки резца, для сечения державки резца 20×20 коэффициент  $K_3 = 0,9$ ;

$K_4$  – коэффициент учитывающий прочность режущей части, для сечения державки резца 20×20 и толщине пластины  $h = 5$  мм коэффициент  $K_4 = 1,0$ ;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала, для стали с твердостью  $HB \leq 179$ , коэффициент  $K_5 = 1,25$ ;

$K_6$  – коэффициент учитывающий схему установки заготовки составляет  $K_6 = 1,5$ ;

$K_7$  – коэффициент учитывающий состояние поверхности заготовки, для обработанной поверхности коэффициент  $K_7 = 1,00$ ;

$K_8$  – коэффициент учитывающий радиус при вершине резца, при вершине резца до  $r = 0,4$  мм коэффициент  $K_8 = 0,52$ ;

$K_9$  – коэффициент, учитывающий точность обрабатываемых поверхностей, для поверхностей получаемых по 9 качеству коэффициент  $K_{10} = 0,80$ ;

$K_{10}$  – коэффициент, учитывающий главный угол в плане, для угла  $\varphi = 93^\circ$   
коэффициент  $K_{10} = 0,75$ ;

$K_{11}$  – коэффициент, учитывающий диаметр обрабатываемой поверхности,  
для диаметра детали до 80 мм коэффициент  $K_{11} = 0,62$ ;

$K_{12}$  – коэффициент, учитывающий жесткость станка принимаем равным  
 $K_{12} = 1,00$ .

2) Определим подачу при прорезании канавок по формуле:

$$S = S_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{14} \cdot K_{15}, \text{ мм/об}, \quad (2.7)$$

где  $K_{13}$  – коэффициент, учитывающий чистоту обработки поверхности, для  
обрабатываемой поверхности с шероховатостью  $Ra = 3,2$  мкм коэффициент  
 $K_{13} = 0,4$ ;

$K_{14}$  – коэффициент, учитывающий отношение конечного и начального  
диаметра обработки  $D_{min}/D = 0,9$  коэффициент  $K_{14} = 1,10$ ;

$K_{15}$  – коэффициент, учитывающий вид обработки, при врезном точении  
коэффициент  $K_{15} = 1,0$ .

Подставим поправочные коэффициенты формулы (2.6) и (2.7) получим:

Для поверхностей 4, 5, 10:

$$S = 0,14 \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,90 \cdot 1,05 \cdot 1,25 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,52 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 0,62 \cdot 1,0 = 0,05, \text{ мм/об}$$

Выбираем по карте [ 21 ] табличные значения скорости резания для  
каждого технологического перехода с учетом принятой глубины резания и  
подачи.

Для поверхностей 4, 5, 10 с глубиной резания  $t = 0,6$  мм и подачей  
 $S = 0,05$  мм/об, скорость резания  $V_T = 430$  м/мин.

3) Окончательно скорость резания при чистовой обработке на каждом  
технологическом переходе с учетом поправочных коэффициентов определим  
по формуле:

$$V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \text{ м/мин}; \quad (2.8)$$

где  $K_1$  – коэффициент учитывающий скорость резания в зависимости от инструментального материала, для Т15К6 коэффициент  $K_1 = 0,55$ ;

$K_2$  – коэффициент учитывающий вид обработки для наружного точения  $K_2 = 1,0$ ;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий группу обрабатываемости, для конструкционных легированных сталей  $K_3 = 0,80$ ;

$K_4$  – коэффициент учитывающий жесткость станка, принимаем  $K_4 = 1,0$ ;

$K_5$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала, для стали с твердостью  $HB \leq 1300$ , коэффициент  $K_5 = 0,75$ ;

$K_6$  – коэффициент учитывающий геометрические параметры резца  $K_6 = 1,40$ ;

$K_7$  – коэффициент учитывающий период стойкости инструмента, для периода стойкости инструмента  $T = 60$  мин коэффициент  $K_7 = 0,8$ ;

$K_8$  – коэффициент, учитывающий обработку с охлаждением, без охлаждения коэффициент принимаем  $K_8 = 0,75$ .

Подставим поправочные коэффициенты в формулы (2.8) получим:

Для поверхностей 4, 5, 10:

$$V = 430 \cdot 0,55 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1,40 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 119,2 \text{ м/мин}$$

5) Рассчитанные подачи при продольном точении определяем при осевой и радиальной составляющей силы резания  $P_x$  и  $P_y$ . Рассчитанные подачи для поперечного точения торцов определяем по тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$ .

Для поверхностей 4, 5, 10 с глубиной резания до  $t = 2 \text{ мм}$  и подачей до  $S = 0,2 \text{ мм/об}$ , табличные значения силы резания при продольном точении составят  $P_x^T = 530 \text{ Н}$ ,  $P_y^T = 160 \text{ Н}$ .

Окончательно составляющие силы резания при продольном точении определим по формулам:

$$P_x = P_x^T \cdot K_{px}^M \cdot K_{px}^\varphi \cdot K_{px}^\gamma \cdot K_{px}^\lambda, H; \quad (2.9)$$

$$P_y = P_y^T \cdot K_{py}^M \cdot K_{py}^\varphi \cdot K_{py}^\gamma \cdot K_{py}^\lambda, H; \quad (2.10)$$

где  $K_{px}^M, K_{py}^M$  – коэффициент учитывающий механические свойства обрабатываемого материала, для стали с твердостью  $HV \leq 1300$ , коэффициент  $K_{px}^M, K_{py}^M = 0,75$ ;

$K_{px}^\varphi, K_{py}^\varphi$  – коэффициент учитывающий главный угол в плане, для угла  $\varphi = 45^\circ$ , коэффициент  $K_{px}^\varphi = 0,7$ ;  $K_{py}^\varphi = 2,0$ ;

$K_{px}^\gamma, K_{py}^\gamma$  – коэффициент учитывающий передний угол, для  $\gamma = 0$ , коэффициент  $K_{px}^\gamma = 1,20$ ;  $K_{py}^\gamma = 1,10$ ;

$K_{px}^\lambda, K_{py}^\lambda$  – коэффициент учитывающий угол наклона режущей кромки, коэффициент принимаем равным  $K_{px}^\lambda = 1,0$ .

Основную составляющую силы резания  $P_z$  действующая в поперечном направлении определим по формуле:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, H; \quad (2.11)$$

где  $C_p = 300$  – поправочный коэффициент учитывающий условия обработки;

$x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ; – показатели степени;

$K_p$  – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания определяемый по формуле:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\varphi}, \quad (2.12)$$

$K_{mp}=0,75$  – коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости;

$K_{\lambda p}$ ,  $K_{\phi p}$ ,  $K_{\gamma p}$ ,  $K_{\lambda p}$ ,  $K_{r p}$  - коэффициенты, учитывающие геометрические параметры режущей части инструмента, принимаем равными  $K_{\phi p}=1,0$ ;  $K_{\gamma p}=1,0$ ;  $K_{\lambda p}=1,0$ ;  $K_{r p}=1,0$ .

Определяем значение поправочного коэффициента учитывающего фактические условия резания:

$$K_p = 0,75 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,75.$$

Определим составляющие силы резания действующие в продольном и поперечном направлении:

$$P_x = 530 \cdot 0,75 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 334 \text{ Н};$$

$$P_y = 160 \cdot 0,75 \cdot 2,0 \cdot 1,10 \cdot 1,0 = 264 \text{ Н}.$$

Для поверхностей 4,5 составляющая силы резания:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,6 \cdot (0,5)^1 \cdot 0,05^{0,75} \text{ мм/об} \cdot 11961^{-0,15} \text{ м/мин} \cdot 0,75 = 70 \text{ Н}.$$

Полученные значения силы резания сравниваем с допускаемыми на данном оборудовании  $[P_x]_{\text{станка}} = 6000 \text{ Н}$ ;  $[P_y]_{\text{станка}} = 5000 \text{ Н}$ .

Следовательно, условие резания выполняется, так как  $P_x \leq [P_x]_{\text{станка}}$ ;  $P_y \leq [P_y]_{\text{станка}}$ .

б) Определим частоту вращения шпинделя на каждом технологическом переходе по формуле:

$$n = 1000 \cdot V / \pi \cdot d, \text{ об/мин}; \quad (2.13)$$

где  $d$  – диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

Для поверхности 4, 5:

$$n_1 = 1000 \cdot 119,2 / 3,14 \cdot 90 = 421 \text{ об/мин};$$

$$n_2 = 1000 \cdot 119,2 / 3,14 \cdot 75 = 506 \text{ об/мин}.$$

7) Определим фактическую скорость резания, согласно принятой частоты вращения шпинделя по формуле:

$$V_{\phi} = \pi \cdot d \cdot n / 1000, \text{ м/мин}; \quad (2.14)$$

Для поверхности 4, 5:

$$V_{\phi}^1 = 3,14 \cdot 90 \cdot 1000 / 1000 = 282 \text{ м / мин};$$

$$V_{\phi}^2 = 3,14 \cdot 75 \cdot 1000 / 1000 = 235 \text{ м / мин}.$$

8) Проверим правильность выбранных режимов резания по мощности привода главного движения станка по формуле:

$$N = N_T \cdot V_{\phi} / V \cdot K_N, \text{ кВт}, \quad (2.15)$$

где  $K_N$  – коэффициент учитывающий мощность резания, принимаем  $K_N = 0,60$ ;

$N_T$  – табличное значение мощности резания определяемое по карте [ 21 ], оно составляет  $N_T = 3,6$  кВт для всех обрабатываемых поверхностей

Определим мощность резания для всех обрабатываемых поверхностей:

$$N_1 = 3,6 \cdot 282 / 119,2 \cdot 0,6 = 1,4 \text{ кВт};$$

$$N_2 = 3,6 \cdot 235 / 119,2 \cdot 0,6 = 1,1 \text{ кВт}.$$

Полученные значения мощности резания не должны превышать значения мощности резания станка указанной в паспортных данных, умноженное на коэффициент полезного действия (КПД) оборудования, то есть  $N \leq N_{\text{паспорт}} \cdot \eta$ , где  $\eta = 0,8$ ;  $N_{\text{паспорт}} = 11 \text{ кВт}$ . Из полученных значений видно, что мощности резания не выходят из установленных пределов, поэтому условие резания выполняется.

9) Определяем основное время обработки на точение цилиндрических поверхностей по формуле:

$$t_0 = (l_0 + l_{\text{вр}} + l_n) \cdot i / S \cdot n + L_{\text{xx}} / S_{\text{xx}}, \text{ мин}; \quad (2.16)$$

где  $l_0$  – длина обтачиваемой цилиндрической поверхности;

$$l_{\text{вр}} – \text{длина врезания}; l_{\text{вр}} = t / \text{tg } \varphi + (0,5 \dots 2) = 0,5 / 1 + 0,5 = 1 \text{ мм};$$

$$l_n – \text{длина перебега, принимаем } l_n = (1 \dots 5) = 1 \text{ мм};$$

$S_{x.x}$  – подача холостых ходов, принимаем  $S_{x.x} = 3600$  мм/мин;

$L_{x.x}$  – длина холостых ходов, определяется возможностями станка.

Для поверхности 4:

$$t_{01} = (2472 + 1 + 1) \cdot 1 / 0,05 \cdot 1000 + 426,5 / 3600 = 49,48 \text{ мин.}$$

Для поверхности 5:

$$t_{02} = (3000 + 1 + 1) \cdot 1 / 0,05 \cdot 1000 + 2635 / 3600 = 60,07 \text{ мин.}$$

Определяем основное время обработки на проточку канавки на опере 15 по формуле:

$$t_0 = ((d_H - d_{BH}) / 2 + l_{ep} + l_n) \cdot i / S_{non} \cdot n + L_{xx} / S_{xx}, \text{ мин}; \quad (2.17)$$

где  $l_{non}$  – длина обтачиваемой торцовой поверхности;

$l_{ep}$  – длина врезания;  $l_{ep} = t / \text{tg } \varphi + (0,5 \dots 2) = 0,5 / 1 + 0,5 = 1$  мм;

$l_n$  – длина перебега;  $l_n = (1 \dots 5) = 1$  мм;

$S_{x.x}$  – подача холостых ходов, принимаем равной  $S_{x.x} = 3600$  мм/мин;

$L_{x.x}$  – длина холостых ходов, мм;

$$t_{06} = ((27,2 - 24) / 2 + 1 + 1) \cdot 1 / 0,06 \cdot 1000 + 179 / 3600 = 0,109 \text{ мин};$$

Определяем суммарное основное время обработки на операции 15:

$$t_0 = 49,48 + 60,07 + 0,109 = 109,65 \text{ мин.}$$

10) Определим вспомогательное время на операции 15 по формуле:

$$t_b = t_{yct} + t_{ynp} + t_{uзм}, \text{ мин}; \quad (2.18)$$

где  $t_{yct}$  – время затрачиваемое на установку, закрепление, переустановку, раскрепления, снятие детали;  $t_{yct} = 1$  мин;

$t_{ynp}$  – время затрачиваемое на включение, выключение вращения, подачи;

$$t_{ynp} = 0,05 \text{ мин};$$

$t_{uзм}$  – время затрачиваемое на измерение детали;  $t_{uзм} = 0,06 \cdot 6 = 0,36$  мин;

$$t_b = 1 + 0,05 + 0,36 = 1,41 \text{ мин};$$

11) Определение оперативного времени на токарной операции 15 вычислим по формуле:

$$t_{on} = t_0 + t_e, \text{ мин}; \quad (2.19)$$

Определим  $t_{on}$ :

$$t_{on} = 109,65 + 1,41 = 111,06 \text{ мин.}$$

12) Штучное время на операции 15 определим по формуле:

$$t_{шт} = t_{n-з} + t_{on} + t_{обс} + t_{оен}, \text{ мин}; \quad (2.20)$$

где  $t_{обс}$  – время затрачиваемое на обслуживание рабочего места, мин;

$t_{n-з}$  – подготовительно-заключительное время на наладку станка и установки резца на многорезцовой державке на нужный размер, принимаем  $t_{n-з} = 5 \text{ мин.}$

Время, затрачиваемое на обслуживание рабочего места определим по формуле:

$$t_{обс} = a_{обс} \cdot t_{on} / 100, \text{ мин}; \quad (2.21)$$

где  $a_{обс}$  – степенной показатель; принимаем  $a_{обс} = 4\%$ ;

Определим время на обслуживания рабочего места:

$$t_{обс} = 4 \cdot 20,94 / 100 = 0,84 \text{ мин};$$

$t_{оен}$  – время затрачиваемое на отдых и естественные надобности определим по формуле:

$$t_{оен} = a_{оен} \cdot t_{on} / 100, \text{ мин}; \quad (2.22)$$

где  $a_{oен}$  – степенной показатель;  $a_{oен} = 4\%$ ;

$$t_{oен} = 4 \cdot 20,94 / 100 = 0,84 \text{ мин};$$

Определим штучное время на токарной операции 15:

$$t_{шт}^A = 5 + 111,06 + 0,84 + 0,84 = 117,74 \text{ мин}.$$

Режимы резания и нормы штучного времени на остальные операции технологического процесса расчетно-аналитическим методом в рамках дипломного проекта рассматривать не будем, а назначим табличным методом по [21]. Полученные и выбранные значения сводим в таблицу 2.7

Таблица 2.7 – Нормы времени

Операция и вид обработки	Режимы резания				Нормы времени		
	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	n, об/мин	t <sub>о</sub> , мин	t <sub>в</sub> , мин	T <sub>шт</sub> , мин
1	2	3	4	5	6	7	8
05 Токарная (черновая) Установ А	2,3	0,2	596	450	11,57	2,82	26,9
10 Токарная (черновая) Установ Б	2,5	0,3	602	450	12,03	2,95	27,5
20 Токарная (чистовая) Установ Б	0,6	0,3	235	506	109,65	1,41	118,42
25 Резьбонарезальная	1,5	1,5	80,19	800	0,573	1,12	7,502
35 Тонкое точение	0,1	0,02	119,2	1000	98,08	2,82	110,9
40 Токарная	3,2	0,03	9,21	550	19,082	1,06	48,91

### 3. Проектирование приспособлений

3.1. Расчет и проектирование приспособления для термосиловой обработки

Задача данного раздела – спроектировать и произвести расчет приспособления (сборно-секционного стапеля) для термосиловой обработки необходимое для снижения внутри силовых факторов и равномерного распределения остаточных напряжений внутри материала детали, сохраняющихся как в процессе механической обработки, так и после нее и которое бы соответствовало современным стандартам предприятия.

#### 3.1.1 Исходные данные

Исходными данным для расчета и проектирования приспособления (сборно-секционного стапеля) для термосиловой обработки (ТСО) являются:

1. Вид и материал заготовки – прокат калиброванный нормальной точности с учетом правки, материал сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75.
2. Предел прочности материала заготовки  $\sigma_B = 180 \text{ МПа}$  при температуре  $T = 850 \text{ C}^0$
3. Предел прочности материала заготовки  $\sigma_B = 510 \text{ МПа}$  при комнатной температуре  $T = 20 \text{ C}^0$
4. Вид обработки – термическая обработка (закалка) отпуск
5. Режимы термической обработки температура  $T = 900 \text{ C}^0$ , твердость поверхностного слоя  $40 \pm 2 \text{ HRC}_3$ , после закалки, отпуск  $T = 540 \text{ C}^0$
6. Тип приспособления - специальное, сборно-разборное приспособление (СП)
7. Внутренний диаметр трубы стапеля – 120 мм
8. Внешний диаметр трубы стапеля – 180 мм
9. Материал трубы - нержавеющая сталь 10Х17Н13М2Т
10. Наполнитель в стапеле – речной песок с чугунной стружкой

11. Остывание стапеля с заготовкой производится в печи
12. Нагрев детали до заданной температуры производим при помощи нити накаливания
13. Длина заготовки –  $L = 3000 \text{ мм}$ .
14. Диаметр заготовки – 90 мм.
15. Условный предел текучести материала заготовки –  $\sigma_{0,2} = 100 \text{ МПа}$ . при температуре  $T = 850 \text{ C}^0$
16. Физический предел текучести материала заготовки  $\sigma_T = 280 \text{ МПа}$
17. Площадь поперечного сечения заготовки –  $F = 25434 \text{ мм}^2$
18. Коэффициент линейного расширения заготовки –  $\alpha_3 = 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{C}$
19. Модуль упругости материала заготовки –  $E = 198 \cdot 10^3 \text{ Н / мм}^2$
20. Площадь поперечного сечения стапеля –  $F_{CT} = 56520 \text{ мм}^2$

### 3.1.2 Определение допускаемых напряжений

Следует определить диапазон рабочих напряжений, то есть таких напряжений, которые находятся в области допускаемой пластической деформации, но не приводящие к разрушению заготовки.

Максимально допускаемое напряжение определим по формуле:

$$[\sigma]_{max} = 0,8 \cdot \sigma_B, \text{ МПа}; \quad (3.1)$$

где  $\sigma_B$  – предел прочности материала при заданном температурном режиме, принимаем  $\sigma_B = 180 \text{ МПа}$ .

Подставим полученные данные в формулу (3.1) получим:

$$[\sigma]_{max} = 0,8 \cdot 180 = 144 \text{ МПа};$$

Минимально допускаемое напряжение определим по формуле:

$$[\sigma]_{min} = 1,2 \cdot \sigma_{0,2}, \text{ МПа}; \quad (3.2)$$

где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести материала заготовки соответствующий 0,2% пластической деформации при заданном температурном режиме, принимаем  $\sigma_{0,2} = 100 \text{ МПа}$ .

Подставим полученные данные в формулу (3.2) получим:

$$[\sigma]_{\min} = 1,2 \cdot 100 = 120 \text{ МПа}$$

Таким образом, имеем диапазон рабочих напряжений из диапазона предельных максимальных и минимальных напряжений:

$$[\sigma]_{\min} \leq \sigma_p \leq [\sigma]_{\max} .$$

Из полученных значений видно, что область оптимальных рабочих напряжений лежит в пределах  $120 \leq \sigma_p \leq 144 \text{ МПа}$ .

### 3.1.3 Расчет допускаемых осевых усилий

Определим диапазон рабочих осевых усилий, то есть таких усилий, которые приводят к пластической деформации заготовки, но не приводят к ее разрушению. Области пластической деформации материала заготовки, являются такие участки, которые соответствуют слабо выраженной зависимости предела текучести или проходят через него.

Максимальное допустимое осевое усилие определим по формуле:

$$[P]_{\max} = [\sigma]_{\max} \cdot F, H; \quad (3.3)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения материала заготовки,  $\text{мм}^2$ ;

Подставим полученные данные в формулу (3.3) получим:

$$[P]_{\max} = 144 \cdot 25434 = 3662 = 3662 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Минимально допустимое осевое усилие определим по формуле:

$$[P]_{\min} = [\sigma]_{\min} \cdot F, H; \quad (3.4)$$

Подставим полученные данные в формулу (3.4) получим:

$$[P]_{\min} = 120 \cdot 25434 = 3052 = 3052 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Таким образом, имеем диапазон рабочих осевых усилий из диапазона предельных максимальных и минимальных осевых усилий:

$$[P]_{\min} \leq P_p \leq [P]_{\max}.$$

Из полученных значений видно, что область оптимальных рабочих осевых усилий лежит в пределах  $3052 \leq \sigma_p \leq 3662 \text{ кН}$ .

### 3.1.4 Выбор марки стапеля

Требуется подобрать такой материал для стапеля, который обеспечивал бы требуемые осевые рабочие усилия и не выходил за область оптимальных рабочих напряжений при выше описанных условиях появления пластической деформации.

Осевое усилие, создаваемое стапелем определим по формуле:

$$P_{cm} = (E_{cm} \cdot a_{cm})_{\text{искомое}} \cdot F_{cm} \cdot \Delta t, \text{ Н}; \quad (3.5)$$

где  $E_{cm}$  – модуль упругости материала стапеля, для материала стапеля сталь 10X17Н13М2Т модуль упругости составляет  $E_{cm} = 206 \cdot 10^3 \text{ н/мм}^2$ ;

$a_{cm}$  – коэффициент линейного расширения материала стапеля,  $18,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ;

$F_{cm}$  – площадь поперечного сечения трубы стапеля, принимаем  $F = 56520 \text{ мм}^2$ ;

$\Delta t$  – разность начальной и конечной температур при проведении ТСО определим по формуле:

$$\Delta t = (T_n - T_k), \text{ }^\circ\text{C}; \quad (3.6)$$

где  $T_n$  – начальная температуры при проведении ТСО, принимаем  $T_n = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$T_k$  – конечная температура при проведении ТСО, принимаем  $T_k = 20 \text{ C}^0$

Подставим полученные данные в формулу (3.6) получим:

$$\Delta t = 600 - 20 = 580 \text{C}^0;$$

Выразим из формулы (3.5) выражение  $E_{cm} * \alpha_{cm}$  получим:

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{искомое} = P_{cm} / F_{cm} \cdot \Delta t \quad (3.7)$$

Подставим в формулу (3.7) максимально и минимально возможные значения  $[P]_{min}$ ,  $[P]_{max}$  и определим минимально и максимально возможные значения произведения  $(E_{cm} * \alpha_{cm})_{max}$ ,  $(E_{cm} * \alpha_{cm})_{min}$ , получим следующие выражения:

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{max} = [P_{cm}]_{max} / F_{cm} \cdot \Delta t, \quad (3.8)$$

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{mlx} = [P_{cm}]_{mlx} / F_{cm} \cdot \Delta t,$$

где  $[P_{cm}]_{max}$ ,  $[P_{cm}]_{min}$  – максимальное и минимальное допускаемое усилие создаваемое стапелем, принимаем равными  $[P_{cm}]_{max} = 3662 \text{ кН}$ ;  $[P_{cm}]_{min} = 3052 \text{ кН}$

Подставим в формулу (3.8) максимально и минимально возможные значения  $[P]_{min}$ ,  $[P]_{max}$  получим:

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{max} = 3662 / 56520 \cdot 580 = 3,8;$$

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{mlx} = 3052 / 56520 \cdot 580 = 3,4.$$

По справочнику [25] подбираем марку стали стапеля, учитывая следующие условия:

1. Что искомое произведение  $(E_{cm} * \alpha_{cm})_{искомое}$ , должно быть больше минимально допустимого  $(E_{cm} * \alpha_{cm})_{min}$ , но меньше максимально допустимого  $(E_{cm} * \alpha_{cm})_{max}$ .

$$(E_{cm} * \alpha_{cm})_{min} \leq (E_{cm} * \alpha_{cm})_{искомое} \leq (E_{cm} * \alpha_{cm})_{max}, \text{ то есть } 3,4 \leq (E_{cm} * \alpha_{cm})_{искомое} \leq 3,8$$

2. Коэффициент линейного расширения материала стапеля больше коэффициента линейного расширения материала заготовки:  $\alpha_{CT} > \alpha_{заг}$ .

Учитывая приведенные выше условия выбираем марку материала труб стапеля 10X17H13M2T и принимаем коэффициент линейного расширения стапеля равным  $\alpha_{cm} = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}^0$ , а модуль упругости материала принимаем  $E_{cm} = 206 \cdot 10^3 \text{ н/мм}^2$ .

Проверим первое условие и убедимся в том, что выбранный нами материал труб стапеля подходит для проведения ТСО. Для этого подставим выбранные нами значения в первое условие:

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{искомое} = 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C} \cdot 206 \cdot 10^3 \text{ н/мм}^2 = 3,7$$

Из полученного выражения видно, что условие 1 и 2 выполняется, то есть

$$(E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{min} \leq (E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{искомое} \leq (E_{cm} \cdot \alpha_{cm})_{max}; \quad 3,4 \leq 3,7 \leq 3,6$$

$$\alpha_{cm} \geq \alpha_{з}, \quad 18,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}^0 \geq 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/C}^0$$

### 3.1.5 Расчет рабочего усилия создаваемого стапелем

Расчет рабочего усилия создаваемого стапелем определим по формуле (3.5), тогда получим:

$$P_{cm} = 206 \cdot 10^3 \cdot 18,2 \cdot 10^{-6} \cdot 56520 \cdot 580 = 3229 \text{ кН}.$$

Сравним полученные рабочие усилия создаваемое стапелем с максимальным и минимальным значением.

$$[P]_{min} = 3052 \text{ кН} \leq P_{cm} = 3229 \text{ кН} \leq [P]_{max} = 3662 \text{ кН}.$$

Определим значение критического усилия, то есть максимальное значение, при котором трубы не потеряют устойчивость по формуле:

$$P_{кр} = \pi^2 \cdot E \cdot (d_{max} - d_{min}) / 64L^2 \quad 52, \text{ н}; \quad (3.9)$$

где  $E$  – модуль упругости материала трубы стапеля, принимаем равным  $E = 130 \text{ ГПа}$ ;

$L$  – длина труб стапеля, принимаем равным  $L = 4000 \text{ мм}$ ;

52 - коэффициент показывающий, что в данном случае сжимающее усилие действует одновременно на две трубы;

$d_{max}$ ,  $d_{min}$  - максимальный и минимальный диаметр трубы соответственно, принимаем равными  $d_{max} = 180$  мм;  $d_{min} = 120$  мм

Определим значение критического усилия, и сравним рабочим усилием создаваемым стапелем:

$$P_{кр} = 3,14 \cdot 130 \cdot 10^9 \text{ Па} \cdot (0,180 - 0,120) / 52 \cdot 64 \cdot 4^2 = 4,6 \text{ МН}.$$

Так как полученное значение критического усилия стапеля больше рабочего усилия, то есть  $P_{кр} = 4,6$  МН и  $P_{см} = 3229$  кН, то трубы смогут выдержать сжимающую нагрузку и не потеряют устойчивость.

Так как, полученные осевые усилия находятся в рабочем диапазоне осевых усилий создаваемых стапелем, то в качестве материала стапеля окончательно принимаем сталь 10Х17Н13М2Т. В случае если бы полученное осевое усилие не находилось бы в диапазоне рабочих осевых усилий, создаваемых стапелем, то требовалось заново выбирать другую марку материала стапеля.

### 3.1.6 Расчет сдвигающего усилия и напряжений смятия среза

При термообработке на деталь, а именно на резьбу, нарезанную на крайних ступенях, действует сдвигающая сила, и как следствие появляется напряжение среза и смятия.

Напряжение смятия определяется по формуле:

$$\sigma_{см} = S/d \cdot h \cdot z \leq [\sigma_{см}], \text{ МПа}; \quad (3.10)$$

где  $d=60$  мм – диаметр крайней ступени детали;

$h=50$  мм – толщина соединения;

$z=2$  – число соединений;

$S$  – сдвигающая сила;

$[\sigma_{см}]$  – допускаемое напряжение на смятие

Сдвигающую силу определим по формуле:

$$S = \pi \cdot i \cdot z \cdot [\tau] \cdot d^2 / 4, \text{ Н}; \quad (3.11)$$

где  $i=2$  – число плоскостей среза;

$[\tau]$  – допустимое напряжение на срез резьбового стержня.

Допустимое напряжение на смятие определим  $[\tau] = \sigma_T$ , где  $\sigma_T$  – условный предел текучести материала детали, принимаем  $\sigma_T = 100 \text{ МПа}$ .

Допустимое напряжение на срез резьбового стержня определим как:

$$[\tau]_{срез} = 0,25 \cdot \sigma_T = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ МПа};$$

Подставим полученные данные в формулу (3.11) и определим сдвигающую силу:

$$S = 3,14 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 60^2 / 4 = 282,6 \text{ кН};$$

Подставим полученные данные в формулу (3.10) и определим напряжение смятия:

$$\sigma_{см} = 282,6 \cdot 10^3 / 60 \cdot 90 \cdot 2 = 26 \text{ Мпа};$$

Полученное значение напряжения смятия среза не превышает допустимого  $\sigma_{см} \leq [\sigma_{см}]$ , то есть  $26 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа}$

Определим напряжение на срез резьбового стержня по формуле:

$$\tau_{срез} = 4 \cdot S / \pi \cdot d \cdot i \cdot z, \text{ МПа}; \quad (3.12)$$

Определим напряжение на срез резьбового стержня

$$\tau_{срез} = 4 \cdot 282,6 \cdot 10^3 / 3,14 \cdot 60^2 \cdot 2 \cdot 2 = 24 \text{ МПа};$$

Полученное значение напряжения на срез резьбового стержня не превышает допустимого  $\tau_{срез} \leq [\tau]_{срез}$ , то есть  $24 \text{ МПа} \leq 25 \text{ МПа}$

### 3.1.7 Расчет относительной величины пластической деформации под действием растягивающей силы

Относительную пластическую деформацию от действия растягивающей силы (осевого усилия создаваемого стапелем) определим по формуле:

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 \cdot 100\% , \quad (3.13)$$

где  $\Delta L$  – удлинение детали при термообработке в стапеле;

$L_0$  – длина детали, принимаем равной  $L = 3000 \text{ мм}$

Удлинение детали при термообработке в стапеле определим по формуле:

$$\Delta L = P_{cm} \cdot L_0 / E_{заг} \cdot F_{заг}, \text{ мм}; \quad (3.14)$$

где  $P_{cm} = 3229 \text{ кН}$  – осевое рабочее усилие, создаваемое стапелем;

$L_0 = 3000 \text{ мм}$  – длина заготовки;

$E_{заг} = 198 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$  – модуль упругости материала заготовки;

$F_{заг} = 25434 \text{ мм}^2$  – площадь поперечного сечения заготовки.

Подставим полученные данные в формулу (3.14) и определим удлинение детали, при термообработке в стапеле:

$$\Delta L = 3229 \cdot 10^3 \cdot 3000 / 198 \cdot 10^3 \cdot 25434 = 1,92 \text{ мм}.$$

Подставим полученные данные в формулу (3.13) и определим относительную пластическую деформацию от действия растягивающей силы:

$$\varepsilon = 1,92/3000 \cdot 100\% = 0,064 \%$$

### 3.1.8 Расчет времени охлаждения детали

Для расчета времени охлаждения материала заготовки необходимо подробно рассмотреть влияние тепловых процессов происходящих при ТСО.

Тепловые процессы, происходящие при ТСО могут быть двух режимов: стационарный и нестационарный:

1. Стационарный режим ТСО происходят под воздействием определенной температуры без дальнейшего ее изменения;
2. Не стационарность тепловых процессов при ТСО обуславливается изменением энтальпии тела и всегда связано с явлением его прогрева или охлаждения. При нестационарном режиме интенсивность подвода тепла непостоянна во времени. Скорость изменения энтальпии тела пропорционально способности материала проводить тепло, и обратно пропорциональна его аккумулирующей способности. Учитывая эти два фактора можно определить скорость теплового процесса происходящего при ТСО в приближенной действительности по формуле:

$$a = \lambda/C_p, \quad (3.15)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

$C_p$  – коэффициент воздействия на проводимое тепло.

Решить задачу не стационарной теплопроводности, значит найти зависимости изменения температуры и количества переданного тепла во времени, для этого запишем дифференциальное уравнение теплопроводности для твердых тел:

$$\frac{\partial t}{\partial f} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (3.16)$$

Теперь представим, что вал длиной  $L = 3000$  мм , диаметром 90 есть не что иное как бесконечно длинный цилиндр с радиусом  $R$ , тогда уравнение теплопроводности перепишем в следующем виде:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r} \right), \quad (3.17)$$

Для возможности решения этого уравнения в аналитическом виде необходимо задать два краевых условия:

1. граничное условие при  $r=R$ ;
2. начальное условие: при  $\tau=0$ .

Тогда решением дифференциального уравнения (3.17) относительно двух краевых условий при  $r=R$  и при  $\tau=0$  является функция двух критериев:

1. Функция, описываемая по критерию Био –  $B_i$ ,
2. Функция, описываемая по критерию Фурье –  $F_0$

Функцию, описываемую по критерию Био определим по формуле:

$$B_i = \alpha \cdot R / \lambda_{cp}, \quad (3.18)$$

где  $\alpha$  – коэффициент отдачи от масла к поверхности принимаемый по [8] стр.;

коэффициент отдачи масла к поверхности равен  $\alpha = 581$

$R$  – радиус заготовки равный  $R = 45 \text{ мм} = 0,045 \text{ м}$ ;

$\lambda_{cp}$  – средний коэффициент теплопроводности материала заготовки определяемый по формуле:

$$\lambda_{cp} = \lambda_{20} + \lambda_{300} + \lambda_{600} / 3, \quad (3.19)$$

где  $\lambda_{20}$ ,  $\lambda_{300}$ ,  $\lambda_{600}$  – коэффициент теплопроводности материала заготовки при температурах равных  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ . При данных температурах значения коэффициентов следующие:  $\lambda_{20} = 15$ ,  $\lambda_{300} = 19$ ,  $\lambda_{600} = 25$ .

Подставим выбранные нами данные в формулу (6.13) и определим значение среднего коэффициента теплопроводности материала:

$$\lambda_{cp} = 15+19+25/3 = 20 \text{ кал/мм}\cdot\text{сек}\cdot\text{C}^0$$

Зная средний коэффициент теплопроводности определим значения критерия Био:

$$Bi = 581 \cdot 0,045 \text{ м} / 20 \text{ кал/мм}\cdot\text{сек}\cdot\text{C}^0 = 1,3$$

На основании второй теоремы подобия искомую функцию в виде без размерной температуры определим по формуле:

$$\theta_0/\theta = (T_k - T_m)/(T_n - T_m), \quad (3.20)$$

где  $T_k$  – конечная температура в центре вала, принимаем равной  $T_k = 150 \text{ C}^0$ ;

$T_m$  – температура масла, принимаем равной  $T_m = 20 \text{ C}^0$ ;

$T_n$  – начальная температура при ТСО, принимаем равной  $T_n = 600 \text{ C}^0$ .

Подставим полученные и выбранные значения в формулу (3.20) получим:

$$\theta_0/\theta = (150 \text{ C}^0 - 20 \text{ C}^0) / (600 \text{ C}^0 - 20 \text{ C}^0) = 0,22$$

Используя зависимости в виде графиков представленных на рис. 3.1 [24], по  $\theta_0/\theta$  определим и критерию Био определим значение критерия Фурье равного  $F_0 = 2,9$ .

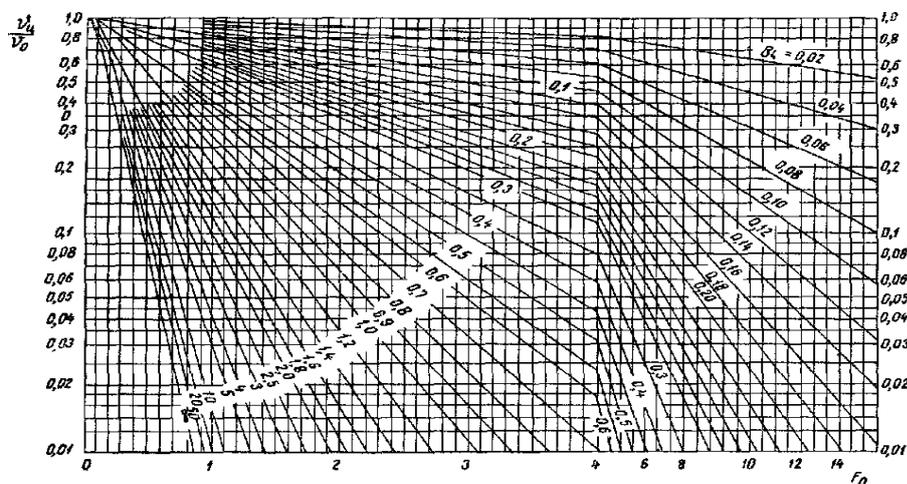


Рисунок 3.1 - Относительная температура поверхности бесконечно длинного цилиндра

Функцию, описываемую по критерию Фурье определим по формуле:

$$F_0 = a \cdot \tau / R^2, \quad (3.21)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности, принимаем равный  $a = 5 \cdot 10^{-6}$ ;

$\tau$  – время охлаждения изделия

Зная значение критерия Фурье выразим из формулы (3.15) время охлаждения изделия, тогда получим:

$$\tau = R^2 \cdot F_0 / a, \text{ мин}; \quad (3.22)$$

$$\tau = 0,045^2 \cdot 2,9 / 5 \cdot 10^{-6} = 3576 \text{ сек} = 59,6 \text{ мин} \approx 1 \text{ час}.$$

### 3.1.9 Расчет времени охлаждения стапеля

Расчет стапеля проведем по методике расчета неограниченно плоской стенки по формуле:

$$\delta_{ст} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3, \text{ мм}; \quad (3.23)$$

где  $\delta_1$  – толщина внешней трубы, принимаем равной  $\delta_1 = 15 \text{ мм}$ ;

$\delta_2$  – толщина слоя песка, принимаем равным  $\delta_2 = 20 \text{ мм}$ ;

$\delta_3$  – толщина внутренней трубы, принимаем равной  $\delta_3 = 15 \text{ мм}$

Подставим полученные значения в формулу (3.23) получим:

$$\delta_{ст} = 15 \text{ мм} + 20 \text{ мм} + 15 \text{ мм} = 50 \text{ мм}$$

Если за начало отсчета температуры принять температуру окружающей среды и избыточную температуру стенки стапеля обозначить  $\theta = (t - t_m)$ , то уравнение (3.17) примет вид:

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (3.24)$$

Граничные условия при  $x \pm \delta/2$ :

$$-\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\alpha \cdot \theta}{\lambda_{CT}} \quad (3.25)$$

где  $\lambda_{cm}$  – эквивалентная теплопроводность стенки.

Начальное условие при  $\tau=0$

$$\theta = \theta'$$

Перепишем функцию безразмерной температурной величины с учетом критерия Био и Фурье и граничными условиями в следующем виде:

$$\theta_0/\theta' = \Phi_0(Bi; F_0), \quad (3.26)$$

Решая уравнение (3.25) определим эквивалентный коэффициент теплопроводности стенки стапеля по формуле:

$$\lambda_{cm} = \delta_{cm}/(\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3), \quad (3.27)$$

где  $\lambda_1 = \lambda_3$  – коэффициент теплопроводности материала стапеля, принимаем равным  $\lambda_1 = \lambda_3 = 59 \text{ кал/мм}\cdot\text{сек}\cdot\text{C}^0$

$\lambda_2$ – коэффициент теплопроводности песка, принимаем равным  $\lambda_2 = 0,362 \text{ кал/мм}\cdot\text{сек}\cdot\text{C}^0$

Подставим полученные значения коэффициентов в формулу (3.27), получим:

$$\lambda_{ст} = 20 \text{ мм} / (0,015 \text{ м} / 59 \text{ кал} / \text{мм} \cdot \text{сек} \cdot \text{С}^0 + 0,020 \text{ м} / 0,362 \text{ кал} / \text{мм} \cdot \text{сек} \cdot \text{С}^0 + 0,015 \text{ м} / 59 \text{ кал} / \text{мм} \cdot \text{сек} \cdot \text{С}^0) = 0,813 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{С}^0$$

Определим критерий Био:

$$B_i = 581 \cdot 0,05 \text{ м} / 2 \cdot 0,813 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{С}^0 = 17,86$$

По значению критерия Био определим по графику значение критерия Фурье принимаем равным  $F_0 = 0,437$ .

Определим отношение критерия Фурье и времени:

$$F_0 = a \cdot \tau / \delta^2 = 0,437 \cdot 10^{-3} \cdot \tau$$

Максимальное время охлаждения стапеля принимаем равным  $\tau_{max} = 20$  часов.

Аналогичные расчеты проводим с учетом разного времени охлаждения стапеля, а полученные результаты сносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Расчеты времени охлаждения стапеля

Время $\tau$ Час/сек	$\frac{2}{7200}$	$\frac{5}{18000}$	$\frac{8}{28800}$	$\frac{10}{36000}$	$\frac{13}{46800}$	$\frac{16}{57800}$	$\frac{20}{72000}$
Критерий Фурье $F_0$	3.14	7.87	12.6	15.73	20.4	25.17	31.4
$\frac{\theta_0}{\theta'}$	1	0,90	0,66	0,52	0,45	0,34	0,22
$T_k$	600	540	400	320	280	220	150

3.2 Устройство и способ термосиловой обработки и обработки холодом мало жестких валов.

Изобретение относится к технологии машиностроения, а более конкретно к устройствам для механической обработки длинномерных деталей.

Устройство (рис. 3.2), содержит: приспособление 14, в котором закреплена заготовка 15, помещается в цилиндрическую камеру через специальное отверстие в верхней части печи, которое закрывается крышкой 20 с автоматическим механизмом подъема и поворота 21. Приспособление

фиксируется в строго вертикальном положении при помощи специального поворотного устройства 18, которое оснащено шестью цилиндрическими штифтами 1, входящими в цилиндрические отверстия, расположенные на нижнем круге приспособления 16. Крышка также оснащена опорно-поворотным механизмом 9, который расположен на её поверхности так, чтобы при закрытом положении крышки цилиндрические вставки входили в отверстия, расположенные на верхнем круге приспособления 13. Верхнее опорно-поворотное устройство 9 не обладает автоматическими механизмами и свободно вращается вместе с приспособлением. После закрытия крышки 20 камера готова к работе.

Устройство работает следующим образом: после закрытия крышки в работу включаются нагревательные спиралеобразные элементы 4, которые разогревают камеру до необходимой температуры (1050-1100°C). Заготовка выдерживается в камере с заданными параметрами в течение определенного периода времени. При работе камеры контролируют равномерное распределение температуры семь температурных датчиков 19— термопары ТХА.

После того, как заготовка прошла процесс закалки, её необходимо охладить.

Для этого включается поворотный механизм 22, расположенный с двух сторон камеры, имеющий автоматическое управление. Данный механизм поворачивает камеру на 90 градусов — в горизонтальное положение. Это необходимо для максимально равномерного охлаждения камеры.

После поворота камеры на 90° включаются сразу несколько механизмов. Первый — механизм поворота приспособления 17 внутри камеры, необходимый для равномерного распределения азота по поверхности детали. Второй — механизм включения криогенного криорефрижератора, который непосредственно отвечает за подачу азота в камеру.

После поворота камеры на 90° (в горизонтальное положение), проводится обработка холодом до температуры (-70°C).

Приспособление 14 с валом 15 начинает непрерывно вращаться с помощью поворотного механизма 18 и волнового редуктора 17.

Термопары 19 контролируют температуру в камере, жидкий азот попадает в рабочее пространство через форсунки 3 и распыляется. Из рабочего пространства камеры азот уходит через специальное отверстие 23 в рециркуляционную систему с постоянным потоком жидкого азота и воздуха.

Данный способ и устройство для ТСО обладает следующими преимуществами перед устройством применяемым ранее: вследствие применения обработки холодом маложестких деталей повышается твердость, прочность, ударная вязкость, долговечность работы данного вида деталей, вследствие применения системы автоматического управления всеми процессами, протекающими в камере, повышается качество изготавливаемых деталей, значительно сокращается брак на производстве.

1 – штифты	10 – изоляция
2 – гидроцилиндр поворота крышки 1	11 – внутренний каркас камеры
3 – форсунки для распыления жидкого азота	12 – опора приспособления
4 – нити накаливания	13 – верхний круг стапеля
5 – гидроцилиндр поворота крышки 2	14 – трубы
6 – гидроцилиндр подъема крышки	15 – заготовка типа вал
7 – электродвигатель	16 – нижний круг стапеля
8 – наружный каркас камеры	17 – волновой редуктор
9 – верхний опорно-поворотный механизм стапеля	18 - нижний опорно-поворотный механизм стапеля
19 – термопары	23 – отверстие для отсоса смеси жидкого азота с воздухом
20 – крышка	24 – болты
21 – механизм подъема и поворота крышки	25 – подшипники
22 – опорно-поворотный механизм камеры	26 – запорное кольцо

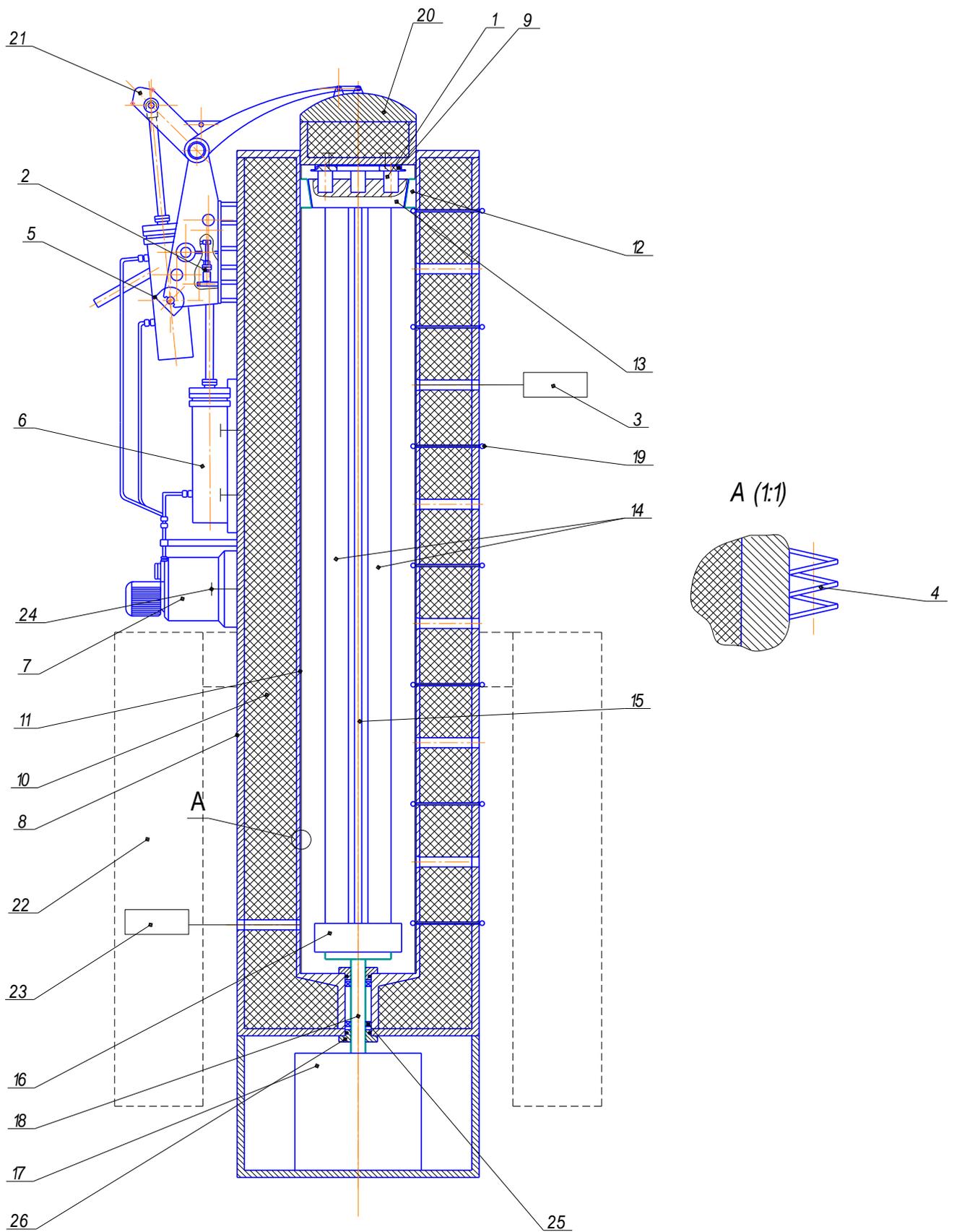


Рисунок 3.2 – Схема для установки ТСО

### 3.3 Расчет и проектирование приспособления для базирования и закрепления детали

Люнетами называются дополнительные устройства (опоры), необходимые для увеличения жесткости при обработке длинных заготовок. Их применяют при обработке в центрах заготовок деталей типа тел вращения, с отношением  $d/l = 1/(10...12)$  и более во избежание их прогиба под действием сил резания. Люнеты бывают неподвижными и подвижными.

Неподвижный люнет станка служит преимущественно для поддержки длинных заготовок и обеспечивает их надежную обработку без вибраций. Он крепится на станине станка с помощью специальной плиты с нижним зацеплением.

Подвижный люнет станка устанавливается на продольном суппорте и таким образом повторяет движение токарного резца. Он предотвращает упругий отжим длинных и тонких заготовок под давлением токарного резца.

Практика показывает, что если длина детали в 10—12 раз больше ее диаметра, то удовлетворительная обработка этой детали на токарном станке с применением обычных способов закрепления (в центрах или патроне с поддержкой задним центром) не удается и для выполнения ее необходимо добавочное закрепление детали. Такое закрепление осуществляется при помощи люнетов. Люнет (или стойка) бывает неподвижный и подвижный.

Неподвижные люнет и работа с ними. Неподвижный люнет устанавливается на станине 10 станка и закрепляется посредством болта 8 и планки 9 (т. е. так же, как задняя бабка станка старых моделей). Корпус люнета состоит из основания 7 и крышки), соединенных шарниром 3. Для закрепления крышки 1 в рабочем положении служит откидной болт 6 с фасонной головкой. У люнета имеются три кулачка (один из них обозначен цифрой 2), причем два кулачка расположены в основании люнета, а третий — в крышке. Эти кулачки при помощи регулировочных болтов 4 могут перемещаться в отверстиях, сделанных в корпусе люнета. Для закрепления кулачков в выбранном положении служат винты 5.

- 1 – крышка
- 2 – кулачки
- 3 – шарнир
- 4 – основание
- 5 – планка

- 6 – станина
- 7 – пружина
- 8 – откидной болт
- 9 – винты
- 10 – болт
- 11 – регулировочные болты

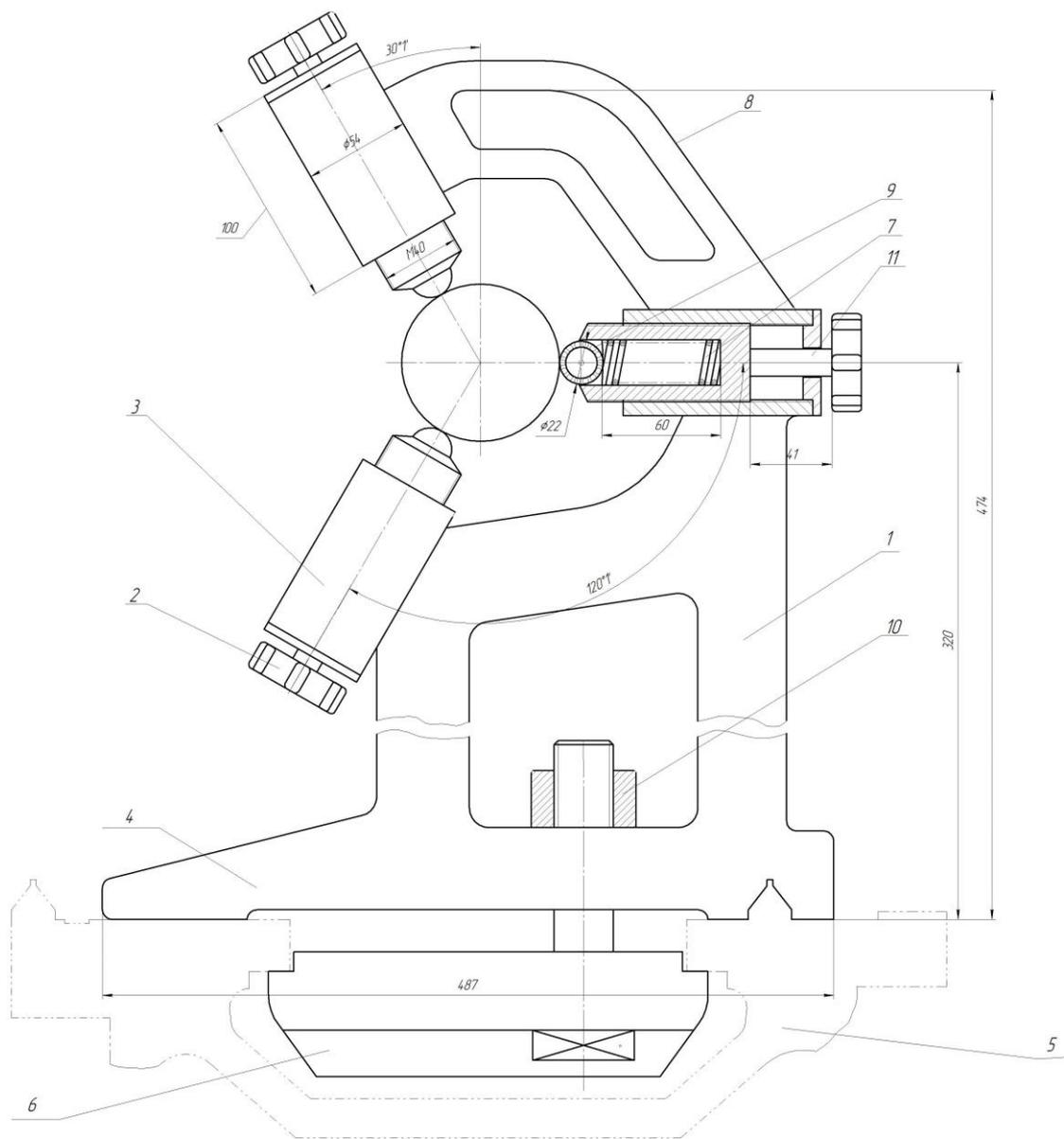


Рисунок 3.3 – Неподвижный люнет

## 4. Безопасность и экологичность технического объекта

### 4.14.1. Конструкционно-техническая характеристика объекта

В таблице 4.1 представлен технологический паспорт объекта.

Таблица 4.1 – Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	2	3	4	5
ТП изготовления маложесткого длинномерного вала	Заготовительная	Станочник широкого профиля	Ленточнопильный станок BSG 220	Металл, СОЖ
	Токарная черновая	Оператор станков с ЧПУ		
	Токарная чистовая	Оператор станков с ЧПУ		
	Резьбонарезальная	Станочник широкого профиля		
	Термосиловая обработка	Оператор станков с ЧПУ		
	Тонкое точение	Оператор станков с ЧПУ		
	Фрезеровальная, сверлильная	Станочник широкого профиля		
	Моечная	Оператор моечной установки	Моечная машина CL-T Nieros	
	Контрольная	Контролер станочных и слесарных работ	Система контроля	

### 4.2. Идентификация производственно – технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

В таблице 4.2 предоставлена идентификация производственно–технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.

Таблица 4.2 – Идентификация производственно–технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
1	2	3
Заготовительная	Физический: Движущиеся машины и механизмы	Ленточное полотно станка
	Повышенное напряжение в электрической цепи, которое может пройти через тело человека	Электродвигатель станка, работающий от напряжения в сети 380В
	Острые кромки заусенцев, шероховатость на заготовке, инструментов и оборудования	Острозаточенная поверхность режущего полотна
Токарная черновая, чистовая	Физический: Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны	Пары воды с абразивными веществами.
	Движущиеся машины и механизмы, их незащищенные подвижные части	Суппорт с закрепленным резцом
	Повышенная опасность взрыва.	Пары воды с абразивными веществами под давлением
Резьбонарезальная	Физический: Повышенный уровень вибрации	Оборудование с электроприводом
	Движущиеся машины и механизмы, их незащищенные подвижные части	Стол станка
	Острые кромки заусенцев, шероховатость на заготовке, инструментов и оборудования	Острозаточенная поверхность режущего полотна
Термосиловая обработка	Химический: Токсические	Жидкий Азот
	Физический: Повышенное напряжение электроцепи	Экраны стойки управления
	Повышенная запыленность, загазованность рабочей зоны	пары СОЖ
	Перенапряжение анализаторов	Экраны стойки управления

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3
Тонкое точение	Физический: Повышенный уровень шума на рабочем месте	Рабочие органы шлифовального станка
	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Значительный нагрев заготовки в зоне обработки
	Движущиеся машины и механизмы, их незащищенные подвижные части	Суппорт с закрепленным резцом
	Повышенная запыленность, загазованность рабочей зоны	Стружка заготовки
	Химический: Канцерогенные вещества	СОЖ
Фрезеровальная, сверлильная	Физический: Повышенный уровень шума на рабочем месте	Оборудование с электроприводом, фрезеровальный круг, сверла
	Повышенный уровень вибрации	Возникновение абразивной пыли
Моечная	Химический: Канцерогенные вещества	Жидкость для промывки

4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

В таблице 4.3 представлены методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 4.3 –Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3
Движущиеся машины и механизмы, их незащищенные подвижные части	Проведение инструктажа, применение специальных ограничений	Специальный костюм от производственных загрязнений и воздействий, фартук производственный, плотные кожаные ботинки с защитными подносками, каска

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3
Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Применение СОЖ	Рукавица, перчатки.
Повышенный уровень шума на рабочем месте	Использование звукоизоляции при производстве оборудования	Противошумные вкладыши или наушники
Повышенная запыленность, загазованность рабочей зоны	Введение средств вентиляции	Средство индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)
Канцерогенные вещества	Использование канцерогенных веществ в минимально возможном количестве	Средство индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)
Повышенное напряжение в электрической цепи, которое может пройти через тело человека	Надежная электропроводка, предохранители.	Рукавица, перчатки.
Повышенный уровень вибрации	Использование демпфирующих опор	Плотные кожаные ботинки с защитными подносками
Повышенное мерцание светового потока	Специальные курсы по обучению персонала для работы с установкой	Защитные очки
Острые кромки заусенцев, шероховатость на заготовке, инструментов и оборудования	Введение в техпроцесс слесарных переходов по округлению острых углов и удалению заусенцев	Рукавица, перчатки.
Повышенная опасность взрыва.	Надёжность емкости для сжатого газа и узлов станка	Специальный костюм от производственных загрязнений и воздействий, фартук производственный, плотные кожаные ботинки с защитными подносками, каска, Средство индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)
Перенапряжение анализаторов	Более продолжительные перерывы	-

4.4. Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

В таблице 4.4 представлена идентификация классов и опасных факторов пожара.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Клас с пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующ ие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5
Заготовительная	Ленточнопильный станок BSG 220	В	Пламя, искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения, низкое содержание кислорода, плохая видимость из-за дыма	Осколки во время пожара, части разрушившихся инженерных сооружений, агрегатов, оборудования и т.д.
Токарная черновая, чистовая	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000			
Резьбонарезальная	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000			
ТСО	Установка для термосиловой обработки и обработки холодом (ТСО)			
Тонкое точение	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1М63Н-3 РМЦ-5000			
Фрезеровальная, сверлильная	Сверлильно-фрезерный станок Stalex ZX6350C 383004			
Моечная	Моечная машина CL-T Nieros			
Контрольная	Система контроля iNexiv VMA-4540			
			Техногенные выбросы азота в атмосферный воздух	Токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий, опасные факторы взрыва по причине возникновения пожара, термохимические воздействия на людей

4.5. Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта (выпускной квалификационной работы), Таблица 4.5

В таблице 4.5 описаны технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Таблица 4.5 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование
1	2	3	4	5
Песок, пенный огнетушитель	Пожарная мотопомпа	Аэрозольная система пожаротушения	Прибор управления пожарной сигнализацией	Пожарный шкаф

В таблице 4.6 описаны технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Таблица 4.6 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
1	2	3
Респираторы, противогазы.	Совковая лопата, багор, ведро.	Пожарные извещатели.

4.6. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара

В таблице 4.7 описаны организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Таблица 4.7 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара

Наименование технологического объекта	Наименование видов реализуемых организационных мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
1	2	3
ТП изготовления маложесткого длинномерного вала	Оснащение гидрантов и порошковых огнетушителей и пожарные шкафы	При возгорании малого очага использовать ручной огнетушитель, при крупном возгорании использовать средства оповещения и применить гидрант на очаг возгорания. Также в шкафах можно воспользоваться средствами индивидуальной защиты

#### 4.7. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

В таблице 4.8 описано обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.

Таблица 4.8 – Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу	Воздействие технического объекта на гидросферу	Воздействие технического объекта на литосферу
1	2	3	4	5
ТП изготовления маложесткого длинномерного вала	Ленточнопильный станок BSG 220	-	Забор воды из источников водоснабжения	Выброс отходов
	Токарно-винторезный станок с ЧПУ 1M63H-3 РМЦ-5000	-		
	Сверлильно-фрезерный станок Stalex ZX6350C 383004	-		
	Моечная машина CL-T Nieros	-		
	Система контроля iNexiv VMA-4540	-		

4.8. Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

В таблице 4.9 описаны разработанные организационно-технические мероприятия

Таблица 4.9 –Разработанные организационно-технические мероприятия

Наименование технического объекта	ТП изготовления ножа шредера
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	-
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Переработка СОЖ
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Утилизация стружки

Выводы:

1. В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса точения, подрезания, сверления, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия.

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу точения, шлифования, подрезания, сверления, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов идентифицированы следующие: повышенная температура рабочей зоны, запыленность, не качественная поверхность вследствие механической обработки.

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а именно острые кромки, повышенный шум, высокая температура рабочей

зоны. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников.

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте.

5. Идентифицированы экологические факторы и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте.

## 5. Экономическая эффективность работы

### 5.1 Расчет экономической эффективности путем сравнения базового и проектного варианта

Цель раздела – рассчитать технико-экономические показатели проектируемого технологической работы, произвести сравнительный анализ с показателями базового варианта и определить экономический эффект от предложенных в работе технических решений.

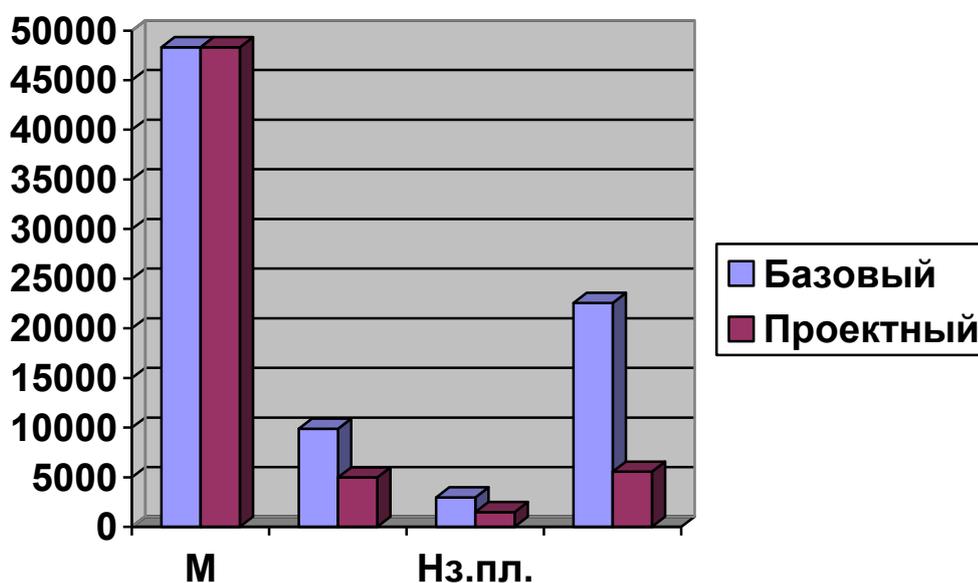
Таблица 5.1 – Краткая характеристика сравниваемых вариантов

Базовый вариант	Проектируемый вариант
Метод получения заготовки – калиброванный пруток Материал – Сталь 12Х18Н10Т	
В технологическом процессе изготовления маложесткого вала применяется 5 термических операций – отпуск, каждая по 12 часов. Оборудование – шахтенная печь. Оснастка – отсутствует.	В технологическом процессе изготовления маложесткого вала применяется 1 термосиловая операция с применением специального приспособления и САУ длительностью 12 часов. Оборудование – шахтенная печь. Оснастка – специальное приспособление стапель.
Тип производства – мелкосерийный. Условия труда – нормальные. Форма оплаты труда – повременно-премиальная.	

Согласно описанию предоставленном в краткой характеристике, определим капитальные вложения для внедрения изменений, которые учитывают затраты на проектирование приспособления, демонтаж высвобожденного оборудования и выручку от реализации и составляют  $K_{ВВ.ПР} = 1672838,6 \text{ руб.}$

Применяя методики расчета технологической себестоимости, определяем основные элементы влияющие на ее формирование. Значение этих величин представлены в диаграмме 5.1.

Диаграмма 5.1 – технологическая себестоимость выполнения термических операций



Учитывая представленные величины, получили технологическую себестоимость  $C_{тех.баз} = 83705,16 \text{ руб.}$ ,  $C_{тех.пр} = 60344,251 \text{ руб.}$

Применяя методику калькуляции себестоимости определим  $C_{пол}$  по базовому и проектному варианту.

Все выше перечисленные значения были рассчитаны для проведения экономического обоснования предлагаемых мероприятий.

Расчет показателей экономической эффективности выполняем по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned}
 PP_{ОЖ} &= \Delta_{У-Г} = (C_{пол(Баз)} - C_{пол(Пр)}) \times P_{Г} = \\
 &= (124078,22 - 80740,911) \times 100 = 4333730,9 \text{ руб} ;
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

$$H_{Пр} = PP_{ОЖ} \times K_{НАЛ} = 4333730,9 \times 0,2 = 866746,18 \text{ руб} ;
 \tag{5.2}$$

$$PP_{ЧИСТ} = PP_{ОЖ} - H_{Пр} = 4333730,9 - 866746,18 = 3466984,72 \text{ руб} ;
 \tag{5.3}$$

$$T_{\text{ОК.РАСЧ}} = \frac{K_{\text{ВВ.ПР}}}{\text{ПР}_{\text{ЧИСТ}}} + 1 = \frac{1672836,6}{3466984,72} + 1 = 1,48 = 2 \text{ года}; \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} D_{\text{ОБЩ.ДИСК}} &= \text{ПР}_{\text{ЧИСТ.ДИСК}(T)} = \sum_{t=1}^T \text{ПР}_{\text{ЧИСТ}t} \cdot \frac{1}{(1+E)^t} = \\ &= 3466984,72 \cdot (0,833 + 0,694) = 5294085,66 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{ИНТ}} = \text{ЧДД} &= D_{\text{ОБЩ.ДИСК}} - K_{\text{ВВ.ПР}} = \\ &= 5294085,66 - 1672836,6 = 3621249,06 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (5.6)$$

$$\text{ИД} = \frac{D_{\text{ОБЩ.ДИСК}}}{K_{\text{ВВ.ПР}}} = \frac{5294085,66}{1672836,6} = 3,16 \text{ руб} / \text{руб}. \quad (5.7)$$

Применение термосиловой обработки в технологическом процессе изготовления детали длинномерного маложесткого вала, позволяет уменьшить количество используемого оборудования и трудоемкость выполнения операций, это привело к снижению себестоимости. Предложенное совершенствование дает возможность предприятию получить дополнительную чистую прибыль в размере 3466984,72руб. Капитальные вложения окупятся в течение 2-х лет. Интегральный экономический эффект составил – 3621249,06 руб., поэтому работу можно считать эффективной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были решены следующие задачи:

1. Был определен тип производства и выбрана стратегия разработки технологического процесса;
2. Выбран оптимальный метод получения заготовки и маршрут обработки поверхностей;
3. Разработан технологический маршрут и схемы базирования заготовки;
4. Выбрано оборудование и приспособление для проведения ТСО.
5. Рассчитаны припуски на обработку на спроектированные технологические операции;
6. Рассчитано и спроектировано приспособление для ТСО;
7. Рассмотрены мероприятия по обеспечению безопасности и экологичности технологического объекта;
8. Определена экономическая эффективность для усовершенствованной операции технологического процесса.

В результате работы была получена технология изготовления маложесткого длинномерного вала водометного движителя, определены области и условия его применения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта: учебно-методическое пособие к дипломному проектированию / Л.Н. Горина, Н.Е. Данилина, Н.Н. Кувшинова, О.В. Шайкенова, И.Л. Шапорева – Тольятти: изд-во ТГУ, 2008. – 33с.
2. Вигли, Д. А. Механические свойства материалов при низких температурах / Д.А. Вигли. – М. : Мир, 1974. – 373 с.
3. Горбацевич, А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учеб. Пособие для машиностроит. спец. Вузов] – 4-е изд., перераб. и доп. – Мн. : Высш. школа, 1983 - 256с.
4. Воронов, Д. Ю. Влияние осевой пластической деформации на коробление готовой детали / Д.Ю. Воронов, О.И. Драчев, Д.А. Расторгуев // Проблемы современного машиностроения. Сборник к 40-летию Машиностроительного факультета. – Тольятти, 2001. – С. 43 – 48.
5. Воронов, Д. Ю. Пути снижения коробления мало жестких валов, путем применения термосиловой обработки / Д.Ю. Воронов, О.И. Драчев // Машиностроитель. – 2001. – №6. – С. 25 – 30.
6. Гудков, С. И. Механические свойства хромистых и хромоникелевых сталей при низких температурах / С. И. Гудков // Труды ВНИИКИМАШ. – 1965. – №9. – С. 186–191.
7. Гуляев, А. П. Стабилизация остаточного аустенита при обработке стали холодом / А. П. Гуляев, М. С. Чаадаева // Вестник машиностроения. – 1953. – № 1. – С. 37-42.
8. Гумеев, А.П. Термическая обработка стали / А.П. Гумеев – М. : МАШГИЗ, 1960. – 55 с.
9. Данилова, Г. Н. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова–Л. : Машиностроение, 1973. – 375 с.
10. Зубкова, Н.В. Расчет экономической эффективности: Методическое пособие / Н.В. Зубкова. – Тольятти: ТГУ, 2010. – 123 с.

11. Иворнин, А.М. Экономика и организация производства / А.М. Иворнин, А.А. Карасева–М. : Высш. шк., 1982. – 42 с.
12. Инженерные расчеты уровней опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах: учеб. пособие для вузов / Л.Н. Горина, В.Е. Ульянова, М.И Фесина. – Тольятти: ТГУ, 2007. – 136с.
13. Клименко, А.П. Холод в машиностроении / А.П. Клименко, Н.В. Новиков, Б.Л. Смоленский. – М. : Машиностроение, 1977. – 161–163с.
14. Крылов, Е.Г. Станочные САПР обработки металлов резанием / Е.Г. Крылов, Е. М. Фролов // Волжский технический вестник. – 2007. – №3. – С.32-34.
15. Металловедение и термическая обработка металлов: кн.2. Влияние химического состава и структуры на свойства некоторых титановых сплавов при низких температурах / Е. А. Борисова, С. Е. Беляев, Г. С. Климова, Л. В. Пескова. – М. : Машиностроение, 1967. – 11–14 с.
16. Справочник технолога – машиностроителя, в 2х томах. Под ред. Дальского А. М. М. : Машиностроение, 2003 г. т. 1 – 912 стр., т. 2 – 944 стр.
17. Технология машиностроения: учеб. пособие для вузов. В 2 кн. Кн.1. Основы технологии машиностроения / Э. Л. Жуков [и др.]; под ред. С. Л. Мурашкина. – Изд. 2-е, доп.; Гриф МО. - Москва: Высш. шк., 2005. – 278.
18. Станочные приспособления: справочник. В 2 т. Т. 2 / редсовет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.]; ред. тома Б. Н. Вардашкин [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1984. - 655 с.
19. Технологические наладки механической обработки и сборки в машиностроении: учеб. пособие / А. Г.Схиртладзе [и др.]. – Гриф УМО; ТГУ. – Тольятти: ТГУ, 2003. – 179 с.
20. Мягков, В.Д. Допуски и посадки / В.Д.Мягков [и д.р.] - Машиностроение: Ленингр. отд–ние", 1982. - 543 с.
21. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

22. Панов, А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
23. Ульянин, Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы / Е.А. Ульянин – М.: Металлургия, 1991. – 81 с.
24. Куликов, С.В., Храмкин М.Ф. Водометные движители : (Теория и расчет)/ Л. Судостроение, 1980, 311 с.
25. Michael, N. Kotzalas, Tribological advancements for reliable wind turbine performance/Gary L. Doll. - 2010.DOI: 10.1098/rsta.2010.0194
26. Ramdan, R. D., Nanotechnology Applications in Energy and Environment/ J. R. P. Djuansjah, R. Suratman, E. Hamzah, S. Izman// Edited by Mikrajuddin Abdullah, Kikuo Okuyama and Khairurrijal./ Materials Science Forum, Vol. 737, pp. 54-59, 2013.
27. Haibin, Ji. Microstructure, cold rolling, heat treatment, and mechanical properties of Mg-Li alloys/Guangchun Yao, Hongbin Li//School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China 2007.
28. Ya.A. Erisov, Investigation into the influence of cold rolling and thermal treatment modes on the mechanical properties and structure of sheets of BrKh1Tsr chromium-zirconium bronze/.V. Grechnikov, D.A. Pribytkov, // 2015, published in Izvestiya VUZ. Tsvetnaya Metallurgiya, 2015, No. 1, pp. 63–67.
29. Adeosun S. Oluropo, Combined Effect of Cold Rolling and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Al-Ti Alloy/ Sekunowo O. Israel, alabiS. Isaac// J. of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 26, 2008, pp. 183-186.

## ПРИЛОЖЕНИЯ











