

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Институт открытого и дистанционного образования  
Кафедра «Техника, технологии и строительство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ К.М. Виноградов  
\_\_\_\_\_ 02.07.2021г. \_\_\_\_\_

Проектирование участка механической обработки детали «Вал»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель работы,  
профессор  
\_\_\_\_\_ Б.А. Решетников  
\_\_\_\_\_ 25.06.2021г. \_\_\_\_\_

Автор работы  
студент группы ДО – 516  
\_\_\_\_\_ А.В. Малахова  
\_\_\_\_\_ 25.06.2021г. \_\_\_\_\_

Нормоконтролер,  
преподаватель  
\_\_\_\_\_ О.С. Микерина  
\_\_\_\_\_ 29.06.2021г. \_\_\_\_\_

Челябинск,  
2021

## Аннотация

Малахова, А.В. Проектирование участка механической обработки детали «Вал» – Челябинск: ФГАОУ ВО «ЮУрГУ(НИУ)», ИОДО; 2021, 103 с., 33 ил., библиографический список – 17 наименования, 9 листов чертежей ф.А1.

После анализа существующего технологического процесса, применяемого оборудования, технологической оснастки предложен новый вариант технологического процесса механической обработки детали «Вал». Изменен метод получения и производства заготовок, что позволило уменьшить припуски на механическую обработку и штучное время. Применены быстродействующие станочные приспособления, измерительный инструмент и современный режущий инструмент (станки с ЧПУ, инструмент с твердосплавными пластинами, зажимные приспособления с пневмоприводом), что позволяет существенно сократить количество операций и штучное время изготовления одной детали.

Произведен расчет площади производственного, вспомогательного участков, а также площадь склада заготовок. Спроектирован участок механической обработки детали «Вал». Планировка участка выполнена в масштабе 1:100.

Для оснащения технологического процесса спроектированы:

- приспособления для закрепления заготовок;
- приспособление для контроля радиального и торцевого биения;
- многошпиндельную сверлильную головку

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Малахова А.В.			Проектирование участка механической обработки детали «Вал»	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Решетников Б.А.					4	103
<i>Реценз.</i>						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» ИОДО		
<i>Н. Контр.</i>		Микерина О.С.				Кафедра «ТТС» гр.ДО-516		
<i>Утверд.</i>		Виноградов К.М.						

## Содержание

Введение .....	7
1 Общая часть .....	11
1.1 Назначение и описание работы узла, агрегата, машины .....	11
1.2 Служебное назначение детали и технические требования, предъявляемые к ней .....	12
2 Технологическая часть .....	14
2.1 Анализ технологичности детали .....	14
2.2 Анализ действующего технологического процесса .....	18
2.2.1 Анализ документации действующего технологического процесса .....	18
2.2.2 Анализ оборудования, режущего инструмента, оснастки .....	19
2.2.3 Выводы из анализа и предложения по разработке проектного техпроцесса .....	20
2.3 Разработка проектного технологического процесса .....	21
2.3.1 Выбор и обоснования метода получения исходной заготовки..	21
2.3.2 Разработка маршрута, плана операций и переходов проектного технологического процесса.....	23
2.3.3 Выбор оборудования для реализации технологического процесса .....	29
2.3.4 Размерный анализ проектного технологического процесса .....	39
2.3.5 Расчет режимов резания и норм времени .....	58
3 Конструкторская часть.....	65
3.1 Проектирование пневматического трехкулачкового патрона для закрепления заготовок .....	65
3.1.1 Разработка теоретической схемы базирования .....	65
3.1.2 Проектирование схемы приспособления.....	66
3.1.3 Силовой, кинематический, прочностной расчет основных элементов приспособления .....	67
3.1.4 Компоновка зажимного приспособления, описание устройства и принципа работы .....	68
3.1.5 Расчет приспособления на точность .....	71
3.2 Проектирование многошпиндельной головки для обработки шести глухих отверстий под резьбу М10×6-7Н .....	72
3.2.1 Разработка кинематической схемы многошпиндельной головки	73
3.2.2 Подбор подшипников головки .....	74
3.2.3 Компоновка многошпиндельной головки .....	75
3.3 Описание работы приспособления для контроля радиального и торцевого биения валов .....	77
3.3.1 Разработка схемы замера.....	77

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

3.3.2	Компоновка приспособления .....	77
3.3.3	Расчет приспособления на точность .....	79
4	Планировка участка .....	81
4.1	Разработка планировки и описание работы участка механической обработки .....	81
4.1.1	Определение количества оборудования .....	81
4.1.2	Определение состава и количества работающих .....	85
4.1.3	Выбор типов и определение количества транспортных средств .....	87
4.1.4	Определение потребного количества электротележек .....	87
4.1.5	Выбор и определение потребного количества мостовых кранов .....	88
4.1.6	Расчет площадей для складирования заготовок и деталей .....	89
4.1.7	Планировка оборудования и определение производственной площади .....	91
4.1.8	Выбор типов, формы и определение размеров здания .....	92
4.2	Описание мероприятий по охране труда .....	95
4.2.1	Идентификация опасных и вредных производственных факторов на проектируемом участке .....	95
4.2.2	Меры по снижению или устранению воздействия физических опасных и вредных производственных факторов .....	97
	Заключение .....	101
	Библиография .....	102

## Введение

Основными тенденциями в современном машиностроении являются увеличение рабочих параметров машин и конструкций, снижение их энергоемкости. При этом существенное значение имеют сроки разработок, их качество и стоимость. Чтобы соответствовать требованиям сегодняшнего дня, процесс автоматизации проектирования необходимо рассматривать в комплексе, как систему взаимосвязанных конструкторских, расчетных и технологических программных инструментов на всех стадиях проекта. Все современные CAD/CAM/CAE системы в зависимости от решаемых ими задач можно разделить на две группы:

- 1) специализированные;
- 2) универсальные.

Специализированные программные комплексы могут использоваться как автономно, так и включаться в состав универсальных систем.

По функциональному признаку они классифицируются на [14]:

– программы для графического (CAD) ядра системы (DesignBase, положенной в основу функционирования универсальной системы Helix и ряда специализированных систем, производимых и используемых в Японии, Parasolid, Unigraphics, SolidWorks, ACIS-ADEM, AutoCAD, SolidEdge);

– системы для функционального моделирования (CAEO, реализующие метод конечных элементов, которые, в свою очередь, также делятся на системы общего применения (NASTRAN, ANSYS, COSMOS/M и др.) и проблемно-ориентированные системы (ADAMS, MARS и др.);

– системы для подготовки управляющих программ для технологического оборудования (CAM) (SmarrCAM, Euclid, и др.).

Универсальные системы предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, анализа и производства продукции машиностроения. В зависимости от функциональных возможностей различают системы низкого уровня (AutoCAD, TopCAD, Caddy), среднего уровня (Cimatron, Pro/JUNIOR) и полномасштабные (CATIA, UNIGRAPHICS, Pro/ENGINEER).

Структура и возможности некоторых современных зарубежных и отечественных интегрированных CAD/CAM систем.

AutodeskMechanicalDesktop (AMD) продукт американской компании Autodesk – объединяет новые версии нескольких программных продуктов:

AutoCAD R13 – базовый графический пакет, включающий твердотельное моделирование;

AutoCADDesigner 2.0 – параметрическое моделирование трехмерных твердотельных объектов;

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

AutoSurf 3.0 – моделирование однородных и неоднородных трехмерных поверхностей;

Assembler – средство создания сборочных единиц;

AutoCAD IGES – транслятор обмена файлами графических данных с другими системами САПР.

Идеология работы в AMD базируется на использовании параметрических объектов. Основу такого объекта составляет набросок, выполненный средствами AutoCAD, – вид изделия, наиболее полно отражающий будущую конструкцию. В дальнейшем AMD откорректирует этот набросок – эскиз: линии почти вертикальные или почти горизонтальные станут таковыми, почти соосные окружности станут соосными и т.д. Конструктору остается лишь внести дополнительные логические связи между отдельными элементами эскиза или изменить те, которые система внесла сама, а также проставить необходимые размеры или зависимости. Они могут быть заданы в виде конкретных значений, формул; значения одних параметров могут быть выражены через другие; параметры могут быть глобальными – в этом случае они доступны для всех разрабатываемых деталей. Изменение любого размера приводит к модификации всей конструкции, а не только отдельного элемента, как было в AutoCAD более ранних версий [14].

Отечественными представителями простых универсальных систем типа AutoCAD являются параметрическая система автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD фирмы «Топ Системы» и ADEM – продукт создаваемый и распространяемый фирмой «OmegaTechnologiesLtd» [14].

Ключевое достоинство T-FLEX CAD – параметризация. Чертеж с момента его создания становится параметрическим.

Далее можно легко изменять его параметры. При этом сохраняются все отношения, которые были заданы между элементами чертежа, и вся конструкция останется целостной. Параметрами чертежа могут назначаться переменные. С помощью математических формул переменные можно связывать между собой. Все это делает возможности по модификации чертежа безграничными. Прежде чем нарисовать реальные окончательные линии, необходимо создать геометрическую основу чертежа в тонких линиях. Окончательное изображение потом обводится по этим линиям. Все элементы оформления полученного технического чертежа также могут быть связаны с его параметрами, что приводит к их автоматическому изменению при необходимости модификации чертежа. В среде системы можно получать сложные сборочные параметрические чертежи, в которых его отдельные части взаимосвязаны. При этом обеспечивается удаление невидимых линий в случае, если отдельные части чертежа перекрывают друг друга. Меняя параметры сборочного чертежа можно за короткое время получить готовые чертежи нового проектируемого изделия. Одновременно с измененным сборочным чертежом пользователь получает измененную спецификацию и чертежи его составных частей (деталей), а также

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

другие сопутствующие документы. Созданные в системе на основе двумерных чертежей трехмерные поверхностные и твердотельные модели можно легко модифицировать. Система позволяет передавать данные о геометрии в последующую обработку. Для систем подготовки данных для станков с ЧПУ программа может выдавать информацию в специализированных форматах.

В комплект системы включены параметрические библиотеки стандартных элементов чертежей – болты, гайки, подшипники, элементы электрических схем и т.д. Пользователю предоставлена возможность самостоятельного создания своих библиотек.

CAD/CAM ADEM – полностью интегрированная, универсальная система, предназначенная для организации и поддержки сквозного проектирования. Система обеспечивает подготовку конструкторской документации, создание твердотельных геометрических (объемных) моделей изделия и формирование управляющих программ на станки с ЧПУ. В системе ADEM возможны две стратегии проектирования: от двумерного (плоского) эскиза и от трехмерной твердотельной модели.

Многофункциональность системы совместно с интуитивно понятным интерфейсом делают возможным применение ADEM как в отделах САПР, так и непосредственно на производстве. Наличие учебной версии системы ADEM forEducation, практически почти не отличающейся от самой последней модели для профессионалов, и простого ее описания на русском языке позволяет ее использование в учебном процессе различных учебных заведений.

В редакторе также есть возможность изменять точку зрения на модель, использовать различные цвета и методы закраски, в частности нанесение на поверхность модели текстуры, и многое другое. Ассоциативность контуров, объемно-графических объектов и наличие булевых операций дает пользователю возможность изменять объекты, входящие в объемно-графическую модель, что делает процесс внесения серьезных изменений простым и эффективным.

ADEM NC (CAM часть системы) готовит управляющие программы для 2-х, 2,5-х, 3-х координатной обработки на фрезерных, сверлильно-расточных, токарных, электроэрозионных станков, листопробивных прессов с ЧПУ.

Внутреннее строение ADEM NC обеспечивает создание оптимальной управляющей программы без необходимости программирования под каждую конкретную стойку станков с ЧПУ. Система автоматически выполняет подбор в необработанных зонах после замены инструмента. Ассоциативность геометрии модели и технологии ее обработки позволяет автоматически получить новую управляющую программу после внесения любых изменений в геометрию модели [2].

Одним из главных игроков на мировом рынке является NX от компании SIEMENS.

NX – это лидирующая CAD/CAM/CAE/CSE система, построенная на лучших технологиях, предназначенных для создания изделий любой сложности.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

В NX CAM реализованы преимущества каждой ключевой функции программного пакета, включая дополнительные возможности программирования, постобработки и имитационного моделирования. В каждом модуле NX предусмотрен расширенный, по сравнению с типовыми пакетами программ для подготовки УП, набор функций. Таким образом, NX обеспечивает более высокий уровень проверки программы непосредственно внутри САМ-системы.

NX предоставляет полный набор средств для программирования станков с ЧПУ в единой САМ-системе, а также интегрированный пакет программных приложений для производства деталей. Данные приложения позволяют моделировать детали, проектировать оснастку и создавать программы контроля для КИМ на основе признанных технологий NX.

Эффективное программное обеспечение для проектирования и изготовления деталей в сочетании с новейшими контроллерами, станками и другим оборудованием позволяет обеспечить максимальную производительность предприятия. Компания Siemens является признанным лидером в области разработки передовых технологий систем управления станками и приводного оборудования. Профессиональный опыт в областях разработки программного обеспечения и производственного оборудования позволяет создавать эффективные решения для изготовления деталей, которые предоставляют пользователям уникальные значительные преимущества [14].

Цель: сокращение времени на обработку, улучшения качества продукции, применения современных технологий.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- произвести анализ действующего технологического процесса, применяемого оборудования, технологической оснастки;
- разработать технологический процесс механической обработки;
- выполнить размерный анализ детали;
- рассчитать режимы резания для изготовления детали;
- произвести нормирование технологических операций;
- спроектировать зажимное приспособление для закрепления заготовки;
- спроектировать режущий инструмент;
- разработать приспособление для контроля радиального и торцевого биения вала;
- спроектировать участок механической обработки;
- идентифицировать физические опасные и вредные производственные факторы на проектируемом участке;
- определить меры по снижению или устранению воздействия физических опасных и вредных производственных факторов.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



# 1 Общая часть

## 1.1 Назначение и описание работы узла, агрегата, машины

Данная деталь входит в конусно-инерционную дробилку (КИД – 900).

Дробилка предназначена для первичного измельчения горных пород любой твердости.

«Вал» осуществляет передачу вращения через шариковую муфту. Шариковая муфта дает возможность передачи вращения при смещении оси в любых направлениях.

Дробилка содержит цилиндрическую чашу 1 и внутренний 2 дробящий конус, защищенные бронями, которые образуют камеру дробления. На валу 3 дробящего конуса с помощью подшипника смонтирован дебалансный вибратор 5, приводимый во вращение через гибкую трансмиссию 4. При вращении дебалансного вибратора создается центробежная сила, заставляющая дробящий конус обкатываться по цилиндрической чаше без зазора, если в камере дробления нет перерабатываемого материала или через слой этого материала.

Принципиальная схема и общий вид промышленной дробилки КИД – 900 представлена в соответствии с рисунком 1.1.

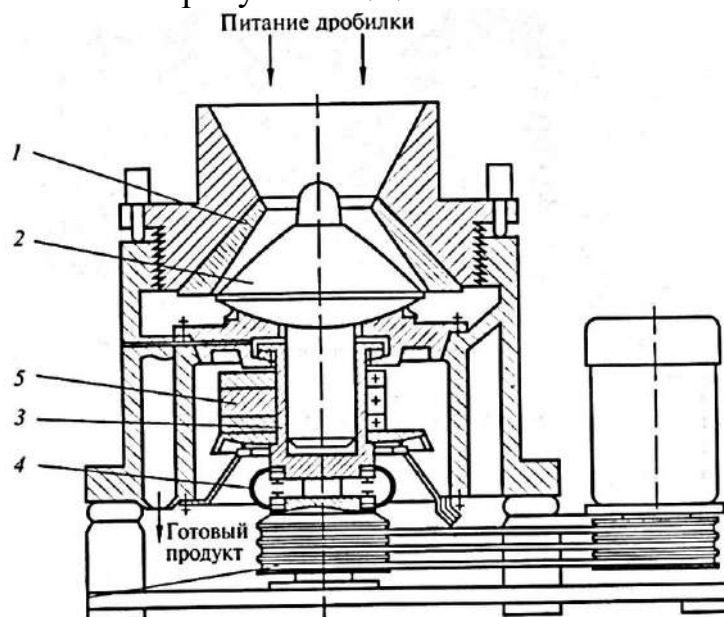


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема и общий вид промышленной дробилки КИД: 1 – цилиндрическая чаша; 2 – дробящий конус; 3 – вал; 4 – гибкая трансмиссия; 5 – дебалансный вибратор



Чертеж детали представлен в соответствии с рисунком 1.3.

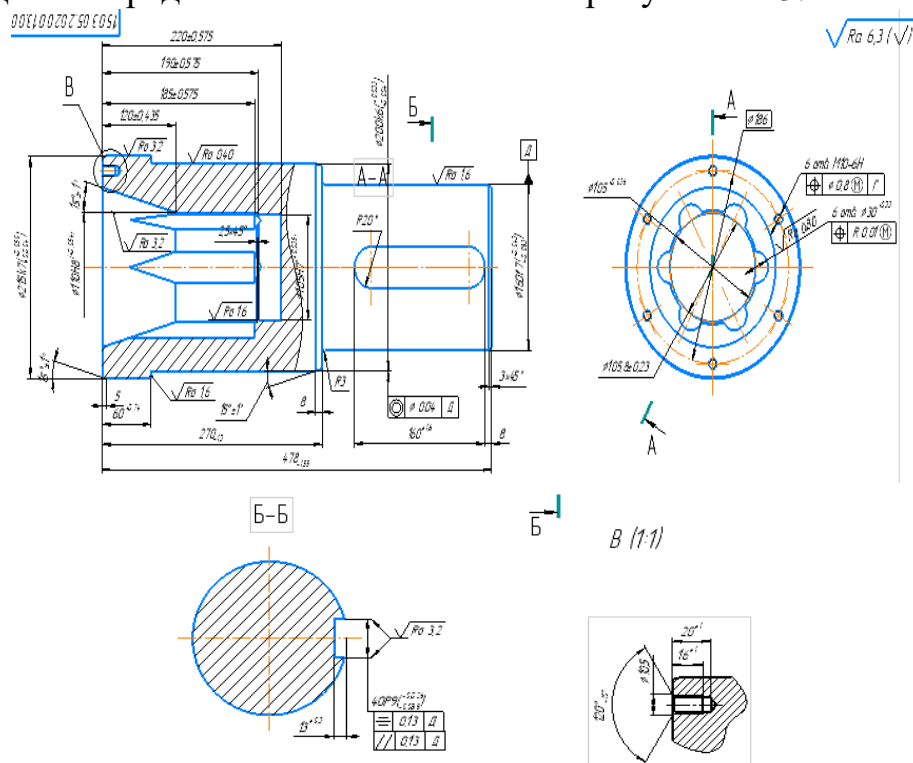


Рисунок 1.3 – Чертеж детали «Вал»

Данная деталь испытывает нагрузки на кручение и изгиб через шарики, которые входят в радиусные полусферы.

Исходя из условий работы детали в узле, наиболее выгодно в качестве материала детали применять сталь 40Х.

При изготовлении детали предъявляются следующие технические требования:

- 1) конструкция детали состоит из стандартных и унифицированных конструктивных элементов;
- 2) деталь изготавливаться из стандартных и унифицированных заготовок;
- 3) физико-химические и механические свойства материала соответствуют требованиям технологии изготовления, хранения и транспортировки. Деталь маложёсткая т.к. имеет большой диаметр и малую толщину;
- 4) показатели базовой поверхности детали обеспечивают точность установки, обработки и контроля;
- 5) конструкция детали обеспечивает возможность применения типовых и стандартных технологических процессов для ее изготовления.

Для обеспечения надежности и точности работы изделия и длительной работоспособности детали «Вал» заданы допусковые отклонения формы и расположения поверхностей. Заданные величины соответствуют ГОСТ 24643-81.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

## 2 Технологическая часть

### 2.1 Анализ технологичности детали

Цель обеспечения технологичности конструкции детали – повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

При отработке на технологичность конструкции изделия необходимо анализировать общие требования к технологичности конструкции [1]:

1) конструкция детали состоит из стандартных и унифицированных конструктивных элементов;

2) деталь изготавливаться из стандартных и унифицированных заготовок – отливка;

3) размеры детали имеют оптимальны параметры, но деталь не оптимальна по точности поверхности (деталь не технологична по шероховатости);

4) физико-химические и механические свойства материала соответствуют требованиям технологии изготовления, хранения и транспортировки. Деталь маложёсткая т.к. имеет большой диаметр и малую толщину;

5) показатели базовой поверхности детали обеспечивают точность установки, обработки и контроля;

б) конструкция детали обеспечивает возможность применения типовых и стандартных технологических процессов для ее изготовления.

Деталь «Вал» относится к классу «деталь – тело вращения» и группе ступенчатых валов.

Данная деталь испытывает нагрузки на кручение и изгиб через шарики, которые входят в радиусные полусферы.

Исходя из условий работы детали в узле, наиболее выгодно в качестве материала детали применять сталь 40Х.

Химический состав материала детали представлен в таблице 2.1. Механические свойства материала детали представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Химический состав стали 40Х ГОСТ 4543-81, %

С	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				не более %			
0,36 – 0,44	0,17 – 0,37	0,50 – 0,80	0,80 – 1,10	0,30	0,30	0,035	0,035

Таблица 2.2 – Механические свойства стали 40Х

$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_s$ , %	$\Psi$ , %	КСО, Дж/см <sup>2</sup>	НВ, МПа
440	635	14	40	54	197 – 235

Деталь представляет собой вал, у которого диаметры увеличиваются от одного торца к другому. Обработка вала ведется проходными резцами с одной стороны сторон.

Вал имеет центровые отверстия, позволяющие устанавливать его в центрах на большинстве операций, кроме сверлильной и фрезерной операций, что обеспечивает необходимую точность размеров обрабатываемых поверхностей и их взаимное расположение. Это обеспечивает принцип постоянства баз в технологическом процессе.

Деталь имеет удобные базовые поверхности, что позволяет на всех операциях использовать стандартные приспособления.

Конструктивно деталь считаем технологичной.

Эскиз детали «Вал» представлен в соответствии с рисунком 2.1.

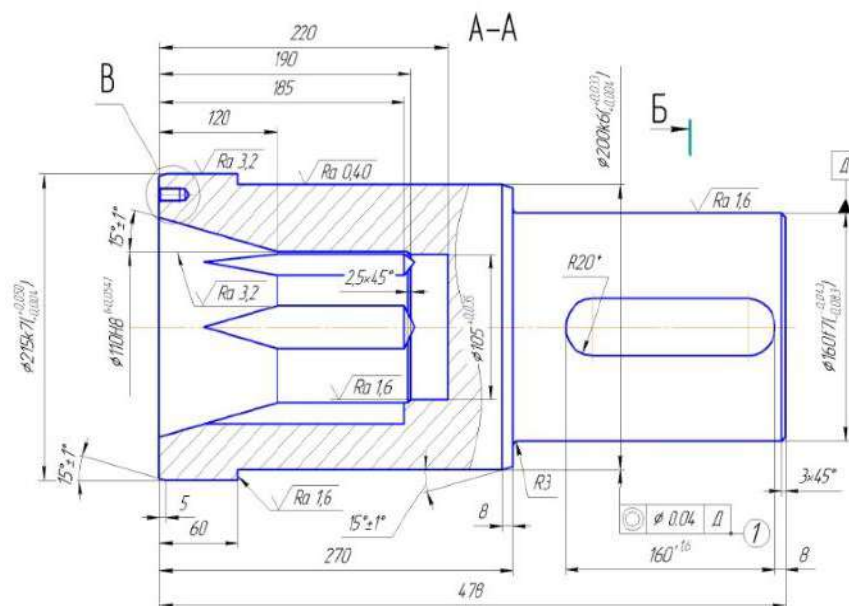


Рисунок 2.1 – Эскиз детали «Вал»

Технологический анализ конструкции детали сводится к проведению качественной и количественной оценке технологичности.

Качественная оценка технологичности конструкции детали заключается в кратком описании класса детали, определении сложности формы, степени жесткости и прочности детали, простоты ее изготовления «Вал» относится к классу «деталь – тело вращения», подклассу «вал» и группе ступенчатых валов.

Деталь простой формы, достаточно прочная и жесткая. Состоит из наружных, внутренних цилиндрических поверхностей, также плоских торцевых поверхностей. В основном все поверхности невысокой степени точности и шероховатости. Это позволяет спроектировать заготовку несложной формы, с небольшими припусками на механическую обработку.

Все поверхности доступны для обработки.

Для детали не требуется специального режущего и измерительного инструмента, высокоточного технологического оборудования.

По качественной оценке «Вал» может считаться технологичным.

Количественная оценка технологичности конструкции детали сводится к определению трех коэффициентов. Для этого выполняется эскиз детали с нумерацией конструктивных элементов, полученных механической обработкой.

Результаты анализа детали по механически обрабатываемым поверхностям приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Анализ детали по механически обрабатываемым поверхностям

Номера конструктивных элементов	Число типоразмеров конструктивных элементов	Сумма конструктивных идентичных элементов	Квалитет точности	Параметр шероховатости, мкм
1	1	–	14	6,3
2	1	–	14	6,3
3	1	–	14	6,3
4	1	–	8	3,2
5	1	–	7	1,6
6	1	–	14	6,3
7 – 12	1	6	14	6,3
13	1	–	7	3,2
14	1	–	14	6,3
15	1	–	6	0,4
16	1	–	14	6,3
17	1	–	14	6,3
18	1	–	7	1,6
19	1	–	14	6,3
20	1	–	14	6,3
21	1	–	9	3,2
22 – 27	1	6	6	6,3
28 – 33	1	6	8	0,8
Итого:	18	18	–	–

Коэффициент унификации конструктивных элементов  $K_{у.э.}$ , вычисляется по формуле

$$K_{у.э.} = \frac{Q_{и.э.}}{Q_э}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{и.э.}$  – сумма конструктивных идентичных элементов детали,  $Q_{и.э.} = 18$ ;  
 $Q_э$  – число типоразрядов конструктивных элементов детали,  $Q_э = 18$ .

Следовательно,  $K_{у.э.} = \frac{18}{18} = 1$ .

По этому показателю деталь технологична, так как  $K_{у.э.} > 0,6$ .

Коэффициент точности обработки  $K_{т.о.}$  вычисляют по формуле

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i} = 1 - \frac{n_1 + n_2 + \dots + n_n}{T n_1 + T n_2 + \dots + T n_n}, \quad (2.2)$$

где  $T$  – квалитет точности обработки;

$n_i$  – число конструктивных элементов детали одинакового квалитета.

Следовательно,  $K_{т.о.} = 1 - \frac{15+1+7+3+7}{15 \cdot 14 + 1 \cdot 9 + 7 \cdot 7 + 3 \cdot 7 + 7 \cdot 9} = 0,9$ .

По этому показателю деталь технологична, так как  $K_{т.о.} > 0,9$ .

Коэффициент шероховатости конструктивных элементов  $K_{ш}$ , вычисляют по формуле

$$K_{ш} = \frac{\sum m_i}{\sum R_a \times m_i}, \quad (2.3)$$

где  $R_a$  – параметр шероховатости конструктивного элемента, мкм;

$m_i$  – число конструктивных элементов детали с одинаковым параметром шероховатости.

Следовательно,  $K_{ш} = \frac{21+3+2+6+1}{21 \cdot 6,3 + 3 \cdot 3,2 + 2 \cdot 1,6 + 6 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,4} = 0,22$ .

По этому показателю деталь средней технологичности, так как значение  $K_{ш}$  находится в пределах от 0,16 до 0,3.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что по количественной оценке конструкция детали «Вал» – технологична.

На основании проведенного анализа, можно сделать общий вывод, что конструкция детали «Вал» технологична.

## 2.2 Анализ действующего технологического процесса

Анализ существующего технологического процесса должен быть проведён с точки зрения обеспечения качества продукции. При этом следует выяснить, правильно ли он составлен для выполнения требований чертежа и соблюдаются ли все требования технологического процесса.

### 2.2.1 Анализ документации действующего технологического процесса

В базовом технологическом процессе чертеж детали представлен в масштабе 1:1 и выполнен на листе формата А1. Содержит не все необходимые размеры, технические требования, допуски формы, расположение поверхностей, выносные элементы и местные разрезы, которые дают полное представление о форме детали. Выполнен в соответствии ЕСКД. Чертеж заготовки представлен в масштабе 1:1 и выполнен на листе формата А1. Выполнен в соответствии ЕСКД.

Маршрутная карта (МК) технологического процесса МК оформлена в соответствии с ГОСТ 3.1105-74, с несущественными недостатками, так как не содержит информацию о трудозатратах ( $T_{п.з}$ ;  $T_{шт}$ ) на все входящие операции механической обработки детали «Вал».

Операционные карты технологического процесса «Вал» заполнены в соответствии с ГОСТ 3.1404-74. Операционная карта содержит информацию индивидуально для каждой механической обработки. В нее входит применяемый инструмент (вспомогательный, режущий, мерительный), приспособление, содержание перехода (установить, закрепить, снять деталь), инструкция по технике безопасности. Операционные карты существующего технологического процесса выполнены в соответствии с [2]. На операционных эскизах обрабатываемые поверхности выделены утолщённой линией, проставлены размеры с допусками и технологические базы. Она выполнена в соответствии с [3] и включает в себя эскиз, в которой представлен чертёж детали со всеми размерами и техническими требованиями к ней и операционная карта, в которой представлен размер и мерительный инструмент для данного размера.

На картах эскиза и операционных картах содержатся сведения о номере детали и операции. После выполнения обработки всех поверхностей представлена контрольная операция.

В карте эскиза изображены все проекции, сечения, разрезы которые дают полную информацию обо всех обрабатываемых поверхностях и их размерах которые должны быть обработаны на данной операции. Обозначение

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18



шероховатости поверхности размещено на карте в правом верхнем углу по ГОСТ 2.309-73. На эскизах обозначение опор, зажимов и установочных устройств имеют условное изображение в соответствии с ГОСТ 3.1107-81.

Форма и правила оформления маршрутных карт ГОСТ 3.1105-84 ЕСТД. Формы и правила оформления документов общего назначения ГОСТ 3.1404-86 ЕСТД. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием и ГОСТ 3.1502-85 ЕСТД. Единая система технологической документации. На данном предприятии имеются только маршрутно-операционные и контрольные карты, но без назначенных режимов резания. На предприятии разработан личный стандарт технологической документации.

В заводском варианте применяется литьё в песчано-глинистых формах с машинной формовкой по металлическим моделям. Этот способ достаточно механизирован, широко распространён и способствует производственным возможностям литейных цехов, современных машиностроительных предприятий.

## 2.2.2 Анализ оборудования, режущего инструмента, оснастки

Рассмотрим используемое оборудование в действующем технологическом процессе изготовления детали «Вал».

000 Заготовительная

05 Токарно-винторезная (4110)

Оборудование – Станок токарный мод. 16К20

Приспособление – патрон пневматический трехлапчатый.

Режущий – резец Т15К6.

010 Токарно-винторезная (4110)

Оборудование – Станок токарный мод. 16К20

Приспособление – патрон пневматический трехлапчатый.

Режущий – резец Т15К6; сверло Р6 М5.

015 Токарная (4110)

Оборудование – Станок токарный мод. 16К20

Приспособление – патрон пневматический трехлапчатый.

Режущий – резец Т15К6; сверло Р6 М5.

020 Сверлильная (4214)

Оборудование – Сверлильный станок модели 2А55

Приспособление – кондуктор с подставкой.

Режущий – сверло Р6М5; зенковка; развертка; метчик М10.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

025 Токарная (4110)

Оборудование – Станок токарный мод. 16К20

Приспособление – патрон пневматический трехкулачковый.

Режущий – сверло Р6К5; резец расточной Т15К6.

030 Вертикально-фрезерный (4214)

Оборудование – Вертикально-фрезерный станок модели 6Р13Ф3.

Режущий – сверло Р6К5; фреза концевая Р9.

035 Слесарная (0190)

Приспособление – гидравлические тиски.

040 Термическая обработка (5000)

045 Шлифовальная (4130)

Оборудование – Круглошлифовальный полуавтомат модели 3М161Е

Приспособление – поводковый патрон.

Режущий – абразивный инструмент.

050 Контрольная (0200)

Оборудование – проверочная плита.

В действующем варианте технологического процесса на токарных операциях применяются универсальные токарные станки, приспособления с механическим креплением, в основном универсальный инструмент.

### **2.2.3 Выводы из анализа и предложения по разработке проектного техпроцесса**

Технологию действующего технологического процесса изготовления детали «Вал» можно считать не совершенной по следующим причинам:

- применение механических зажимных приспособлений;
- применение универсальных станков для механической обработки;
- в ходе обработки детали не учитывается принцип постоянства баз.

На основании проведенного анализа действующего технологического процесса внесены следующие изменения:

1) устаревшее технологическое оборудование заменено на более современное.

2) изменен метод получения и производства заготовок, что позволило уменьшить припуски на механическую обработку и штучное время. За оптимальный способ получения заготовки взять метод горячей штамповки, так как форма и размеры будут близки к формам и размерам детали, что существенно снизит припуски и обеспечит высокий коэффициент использования материала.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

3) применены быстродействующие станочные приспособления, измерительный инструмент и современный режущий инструмент (станки с ЧПУ, инструмент с твердосплавными пластинами, зажимные приспособления с пневмоприводом).

4) в ходе определения маршрута изготовления детали и проектирования принципиально схемы выполнения технологических операций необходимо соблюдать принцип единства баз. В качестве базовых поверхностей детали «Вал» используем наружные цилиндрические поверхности.

5) в базовом техпроцессе сверление 6 отверстий диаметром 9 мм выполняется последовательно. Предлагаю разработать многошпиндельную головку для одновременного сверления 6-ти отверстий, что позволит сократить штучное время на обработку.

## 2.3 Разработка проектного технологического процесса

### 2.3.1 Выбор и обоснования метода получения исходной заготовки

Исходя из условий работы детали в узле, учитывая свойство материала, массу, форму, размеры и тип производства в качестве заготовки принимается поковка, выполняемая на ГКМ (горизонтально-ковочной машине) с наметкой для центрального отверстия диаметром 110 мм.

Припуски, допуски и напуски на стальные поковки назначают по ГОСТ 7505-89 в зависимости от массы и размеров поковки, применяемого оборудования, требуемой точности детали и серийности ее изготовления.

По ГОСТ 7505-89 принимаем поковку I класса точности, группа стали М2, степень сложности С1.

Определяем массу поковки  $M_{п.р}$ , кг, по формуле

$$M_{п.р} = M_d \cdot K_p, \quad (2.4)$$

где  $M_d$  – масса детали,  $M_d = 74$  кг;

$K_p$  – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с приложением 3 [9, табл.20],  $K_p = 1,3$ .

$$M_{п.р} = 74 \cdot 1,3 = 96,2 \text{ кг.}$$

Найдем коэффициент использования материала по формуле

$$K_{и.м.} = \frac{M_d}{M_{п.р}}, \quad (2.5)$$

где  $M_d$  – масса детали, кг.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Следовательно,  $K_{и.м.} = \frac{74}{96,2} = 0,769 \approx 77\%$ .

Коэффициент использованного материала оказывается в пределах нормы. Это свидетельствует о правильном подходе к проектированию заготовки. В качестве заготовки принимается поковка, выполняемая в закрытом штампе на молоте, которая обеспечивает  $IT14, Rz200$ , величину дефектного слоя 120 мкм [2, с. 8].

Форма заготовки представлена в соответствии с рисунком 2.2.

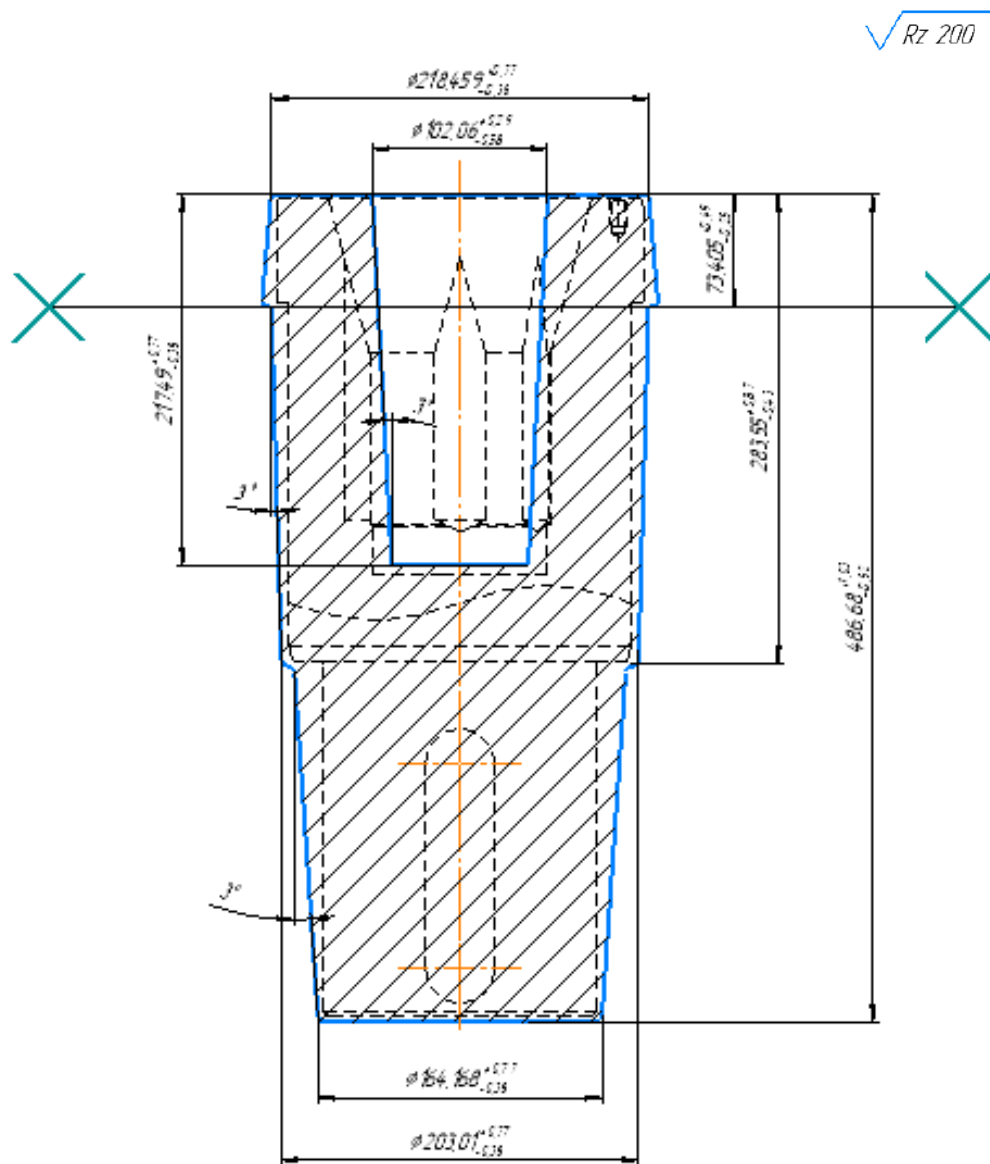


Рисунок 2.2 – Форма заготовки

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

### 2.3.2 Разработка маршрута, плана операций и переходов проектного технологического процесса

Основными базовыми поверхностями детали [3] являются: диаметр 200k6, правый торец размера 478; функциональные поверхности – отверстия диаметром 9Н6 под резьбу М10х6 – 7Н, остальные поверхности вспомогательные.

Рекомендуется следующая последовательность обработки поверхностей.

Первоначально базирuemся за диаметр 215k7:

- обработка торца левого размера 478 (предварительная);
- обработка торца правого размера 478 (предварительная);
- обработка торца левого правого размера 478 (чистовая);
- обработка торца правого размера 478 (чистовая);
- обработка диаметра 200k6 (предварительная);
- обработка диаметра 160f7 (предварительная);
- обработка фаски 3 × 45° (предварительная);
- обработка фаски 3 × 45° (чистовая).

Базирuemся за диаметр 160 f7:

- обработка фаски 1 × 15° (предварительная);
- обработка фаски 1 × 15° (чистовая);
- обработка диаметра 215k7 (предварительная);
- обработка фаски 1 × 15° (предварительная);
- обработка фаски 1 × 15° (чистовая).

Базирuemся за диаметр 160 f7:

- обработка 6 отверстий диаметром 30 (предварительная);
- обработка 6 отверстий диаметром 30 (чистовая);
- обработка 6 отверстий диаметром 9Н6 под резьбу М10 × 6 – 7Н (предварительная);
- обработка 6 отверстий диаметром 9Н6 под резьбу М10 × 6 – 7Н (чистовая).

Базирuemся за диаметр 160 f7, диаметр 200k6:

- обработка отверстия диаметром 105Н8 (предварительная);
- обработка отверстия диаметром 105Н8 (чистовая);
- обработка отверстия диаметром 110Н8 (предварительная);
- обработка отверстия диаметром 110Н8 (чистовая).

Базирuemся за диаметр 200k6 и правый торец размера 478:

- обработка отверстия диаметром 40 Р9 (предварительная);
- обработка шпоночного паза 160 × 13 × 20 (предварительная);
- обработка шпоночного паза 160 × 13 × 20 (чистовая).

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Базируемся за диаметр 215k7 и левый торец размера 478:

- обработка диаметра 160f7 (чистовая);
- обработка диаметра 200k6 (чистовая).

Выбор способов обработки и количества переходов:

Расчетный метод.

Расчётный метод используется для определения количества переходов при обработке диаметра 200k6, Ra 0,4.

Определяем величину уточнения по диаметральной точности и шероховатости поверхности [4]:

$$E_d^{\varnothing} = \frac{T_3}{T_d}; \quad E_d^{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d}; \quad (2.6)$$

где  $T_3$  – допуск заготовки для данной поверхности,  $T_3 = 1,15$ ;

$T_d$  – допуск детали,  $T_d = 0,046$ ;

$Ra_3$  – шероховатость заготовки,  $Ra_3 = 50$ ;

$Ra_d$  – шероховатость детали,  $Ra_d = 0,4$ .

$$E_d^{\varnothing} = \frac{1,15}{0,046} = 25;$$
$$E_d^{Ra} = \frac{50}{0,4} = 125;$$

Принимаем в качестве способа окончательной обработки шлифование чистовое, которое позволяет обеспечить IT6, Ra0,4.

Определяем допуск предшествующего перехода

$$T_{i-1} = \frac{z_n}{2 \dots 4}, \quad (2.7)$$

где  $z_n = 0,9$  – номинальный припуск для шлифования чистового [5].

$$T_{i-1} = \frac{0,9}{2 \dots 4} = 0,45 \dots 0,23.$$

Принимаем  $T_{i-1} = 0,4$ .

Определяем величину уточнения, которую обеспечивает шлифование чистовое

$$E_i = \frac{T_{i-1}}{T_d}; \quad (2.8)$$
$$E_i = \frac{0,4}{0,046} = 8,7.$$

В качестве первого метода обработки принимаем обтачивание черновое, которое обеспечивает IT12 Ra 6,3.

Допуск обтачивания чернового  $T_1 = 0,46$ .

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Определяем величину уточнения

$$E_1 = \frac{T_3}{T_1},$$

где  $T_3$  – допуск заготовки для данной поверхности;

$T_1$  – допуск, обеспечиваемый способом обработки на первом переходе (операции).

$$E_1 = \frac{1,15}{0,46} = 2,5.$$

Проверка:

$$(E_i \cdot E_1) \geq E_d^{\circ};$$

$$8,7 \cdot 2,5 = 21,8 < 25.$$

Условие не выполняется. Определим величину уточнения, которую должны обеспечить промежуточные методы обработки

$$E_{\text{пр}} = \frac{E_d^{\circ}}{(E_i \cdot E_1)}; \quad (2.8)$$

$$E_{\text{пр}} = \frac{25}{21,82} = 1,15.$$

По принятому значению  $T_{i-1} = 0,4$  назначаем обтачивание чистовое и определяем величину уточнения, которую обеспечит данный метод

$$E_2 = \frac{0,46}{0,4} = 1,15.$$

Проверка:

$$(E_i \cdot E_1 \cdot E_2) \geq E_d^{\circ};$$

$$8,7 \cdot 2,5 \cdot 1,15 = 25,07 \approx 25.$$

Условие выполняется.

Проверка на шероховатость:

$$E_{\text{шлиф}}^{Ra} = \frac{Ra^{\text{Pчист}}}{Ra^{\text{Pшлиф}}} - \text{шлифование};$$

$$E_{\text{шлиф}}^{Ra} = \frac{1,6}{0,4} = 4;$$

$$E_{\text{чист}}^{Ra} = \frac{Ra^{\text{черн}}}{Ra^{\text{чист}}} - \text{обтачивание чистовое};$$

$$E_{\text{чист}}^{Ra} = \frac{6,3}{1,6} = 3,94;$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

$$E_{\text{чер}}^{Ra} = \frac{Ra^{\text{заг}}}{Ra^{\text{чер}}} - \text{обтачивание черновое};$$

$$E_{\text{чер}}^{Ra} = \frac{50}{6,3} = 7,93;$$

Проверка:

$$(E_{\text{шлиф}}^{Ra} \cdot E_{\text{чист}}^{Ra} \cdot E_{\text{чер}}^{Ra}) \geq E_{\text{д}}^{Ra};$$

$$4 \cdot 3,94 \cdot 7,93 = 124,98 \approx 125.$$

Условие выполняется.

Квалитет поверхности заготовки 14, а квалитет поверхности детали 6, такой перепад точности достигается за три этапа обработки.

Принятая последовательность обработки приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Последовательность обработки

№ перехода	Последовательность обработки	Квалитет точности	Параметры шероховатости $R_a$ , мкм
0	Установить заготовку	14	50
1	Обтачивание черновое	12	6,3
2	Обтачивание чистовое	9 – 10	1,6
3	Шлифование чистовое	6	0,4

Табличный метод.

Для всех остальных поверхностей детали способы обработки и количество переходов выбираем по рекомендации [2].

1) обеспечение линейного размера  $478h10$ , левый торец, правый торец  $R_a 3,2$ :

Обработка левого торца:

- черновое обтачивание IT12,  $R_a 12,5$  (10 операция);
- получистовое обтачивание IT10,  $R_a 6,3$  (20 операция);
- чистовое обтачивание IT10,  $R_a 3,2$  (20 операция).

Обработка правого торца:

- черновое обтачивание IT12,  $R_a 12,5$  (05 операция);
- получистовое обтачивание IT10,  $R_a 6,3$  (15 операция);
- чистовое обтачивание IT10,  $R_a 3,2$  (15 операция).



- 2) обработка наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 160f7 R_a 3,2$ :  
 – черновое обтачивание IT12,  $R_a 12,5$  (05 операция);  
 – получистовое обтачивание IT11,  $R_a 6,3$  (15 операция);  
 – чистовое обтачивание IT8,  $R_a 3,2$  (15 операция);  
 – чистовое шлифование IT7,  $R_a 1,6$  (50 операция).
- 3) обработка фаски  $3 \times 45^\circ R_a 3,2$ :  
 – чистовое обтачивание IT8,  $R_a 3,2$  (15 операция).
- 4) обработка наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 215k7 R_a 3,2$ :  
 – черновое обтачивание IT12,  $R_a 12,5$  (10 операция);  
 – получистовое обтачивание IT11,  $R_a 6,3$  (20 операция);  
 – чистовое обтачивание IT7,  $R_a 3,2$  (20 операция).
- 5) обработка фаски  $5 \times 15^\circ R_a 3,2$ :  
 – чистовое обтачивание IT8,  $R_a 3,2$  (15 операция).
- 6) обработка 6 отверстий  $\varnothing 30 R_a 0,8$ :  
 – фрезерование IT13,  $R_a 25$  (30 операция);  
 – черновое зенкерование IT12,  $R_a 6,3$  (30 операция);  
 – развертывание IT10,  $R_a 0,8$  (30 операция).
- 7) обработка 6 отверстий  $\varnothing 9 H6$  под резьбу  $M10 \times 6 - 7H R_a 1,6$ :  
 – сверление IT13,  $R_a 6,3$  (25 операция);  
 – нарезать резьбу  $M10 \times 6 - 7H$ , метчик M10 (25 операция).
- 8) обработка отверстия  $\varnothing 105 H8 R_a 1,6$ :  
 – черновое растачивание IT11,  $R_a 3,2$  (10 операция);  
 – чистовое растачивание IT8,  $R_a 1,6$  (20 операция).
- 9) обработка отверстия  $\varnothing 110 H7 R_a 1,6$ :  
 – черновое растачивание IT12,  $R_a 6,3$  (10 операция);  
 – чистовое растачивание IT8,  $R_a 3,2$  (20 операция).
- 10) обработка шпоночного паза  $160 \times 13 \times 20 R_a 6,3$ :  
 – сверление IT9,  $R_a 6,3$  (35 операция);  
 – черновое фрезерование IT14,  $R_a 12,5$  (35 операция);  
 – получистовое фрезерование IT12,  $R_a 6,3$  (35 операция).

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Формирование операций и технологического маршрута обработки детали:  
Наметив последовательность обработки поверхностей, количество переходов, способы их выполнения, приступаем к формированию операций и технологического маршрута изготовления детали [1,2,4,6].

000 Заготовительная ГКМ

005 Токарно-винторезная (4114)

Станок токарно – винторезный модели 16Б20ВФ1

- черновое обтачивание правый торец размера  $478h12$ , IT12,  $R_a$  12,5;
- черновое обтачивание диаметра  $160f7$ , IT12,  $R_a$  12,5;
- черновое обтачивание диаметра  $200k6$ , IT12,  $R_a$  6,3.

010 Токарно-винторезная (4114)

Станок токарно – винторезный модели 16Б20ВФ1

- черновое обтачивание левый торец размера  $478h12$ , IT12,  $R_a$  12,5;
- черновое обтачивание диаметра  $215k7$ , IT12,  $R_a$  12,5;
- черновое растачивание диаметра 105, IT11,  $R_a$  3,2;
- черновое растачивание диаметра  $110 \times 15^\circ$ , IT11,  $R_a$  3,2.

015 Токарно-винторезная (4114)

Станок токарно – винторезный модели 16Б20ВФ1

- получистовое обтачивание диаметра  $160f7$ , IT11,  $R_a$  6,3;
- чистовое обтачивание диаметра  $160f7$ , IT8,  $R_a$  3,2;
- чистовое обтачивание фаски  $3 \times 45^\circ$ , IT8,  $R_a$  3,2;
- чистовое обтачивание диаметра  $200k6$ , IT6,  $R_a$  1,6;
- получистовое обтачивание правый торец размера  $478h10$ , IT10,  $R_a$  6,3;
- чистовое обтачивание правый торец размера  $478h10$ , IT10,  $R_a$  3,2;
- чистовое обтачивание фаски  $5 \times 15^\circ$ , IT8,  $R_a$  3,2.

020 Токарно-винторезная (4114)

Станок токарно – винторезный модели 16Б20ВФ1

- чистовое растачивание диаметра 105 Н8, IT8,  $R_a$  1,6;
- чистовое растачивание диаметра  $110 \times 15^\circ$  Н8, IT8,  $R_a$  3,2;
- получистовое обтачивание диаметра  $215k7$ , IT11,  $R_a$  6,3;
- чистовое обтачивание диаметра  $215k7$ , IT8,  $R_a$  3,2;
- получистовое обтачивание левый торец размера  $478h10$ , IT10,  $R_a$  6,3;
- чистовое обтачивание левый торец размера  $478h10$ , IT10,  $R_a$  3,2.

025 Сверлильная (4210)

Станок агрегатно-сверлильный модели АГС-1

- сверление 6 отверстий диаметром 9 Н6 под резьбу IT13,  $R_a$  6,3;
- нарезать резьбу 6 отверстий  $M10 \times 6 - 7H$ , метчик М10.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

#### 030 Фрезерная (4260)

Станок многоцелевой фрезерно-расточный с ЧПУ модели S500

- фрезерование 6 отверстий диаметром 30, IT13,  $R_a$  25;
- черновое зенкерование 6 отверстий диаметром 30, IT12,  $R_a$  6,3;
- развертывание 6 отверстий диаметром 30, IT10,  $R_a$  0,8.

#### 035 Вертикально-фрезерная (4261)

Станок вертикально – фрезерный с ЧПУ модели 6P13Ф3

- сверление диаметра 40 P9, IT9,  $R_a$  6,3;
- черновое фрезерование шпоночного паза  $160 \times 13 \times 20$ , IT14,  $R_a$  12,5;
- чистовое фрезерование шпоночного паза  $160 \times 13 \times 20$ , IT12,  $R_a$  6,3.

#### 040 Электрохимическая (7500)

Станок специализированный электрохимический с ЧПУ модели 4412Ф11

#### 045 Термическая обработка (5000)

#### 050 Шлифовальная (4130)

Полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3

- чистовое шлифование диаметра 200k6, IT6,  $R_a$  1,6;
- чистовое шлифование диаметра 160f7, IT7,  $R_a$  1,6.

### 2.3.3 Выбор оборудования для реализации технологического процесса

Выбор оборудования производим на основе таких данных, как метод обработки, точность и класс частоты, расположение и габаритные размеры детали, эффективность использования станка по мощности, его стоимость.

Для операций 005 Токарно-винторезная, 010 Токарно-винторезная, 015 Токарно-винторезная, 020 Токарно-винторезная выбрано оборудование – Токарно-винторезный станок модели 16Б20ВФ1 [12].

Токарно-винторезный станок 16Б20ВФ1 предназначен для токарной обработки в автоматическом режиме наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности по заранее составленной управляющей программе и нарезания метрической, модульной, дюймовой резьбы. Обработка происходит в один или несколько проходов в замкнутом автоматическом цикле. Установка

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

заготовок осуществляется в патроне, а длинных – в центрах. Область применения станка: серийное и крупносерийное производство.

Токарно–винторезный станок модели 16Б20ВФ1 представлен в соответствии с рисунком 2.3.



Рисунок 2.3 – Токарно–винторезный станок модели 16Б20ВФ1

Станок 16Б20ВФ1 разработан на базе универсального станка и имеет традиционную компоновку. Основание представляет собою монолитную отливку. Станина – коробчатой формы с поперечными ребрами. Направляющие станины термообработанные, шлифованные. Каретка суппорта с поворотным резцедержателем перемещается по передней призматической и плоской задней направляющим. Задняя бабка так же перемещается по передней плоской и задней призматической направляющим. Автоматическая коробка скоростей сообщает шпиндельной бабке девять скоростей, которые переключаются в цикле обработки за счет включения электромагнитных муфт. Инструмент получает движение подачи от приводов продольных и поперечных подач.

Для расширения возможностей токарного станка 16Б20ВФ1 комплектуется различными комплексами с ЧПУ. В соответствии с установленным оборудованием присваивается соответствующий индекс. Комплексы с ЧПУ обеспечивают универсальные операции с заготовками и работают в различных режимах. Станки с ЧПУ обладают двоичной системой координат – при поперечных перемещениях – 0,005 мм, продольных – 0,01 мм.

Токарный станок 16Б20ВФ1 оснащается различными системами ЧПУ. Модификации станка в зависимости от комплектации устройством ЧПУ имеют разные индексы. Контурная система ЧПУ обеспечивает движение формообразования, изменение в цикле обработки значений подач и частот вращения шпинделя, индексацию поворотного резцедержателя, нарезание резьбы по программе. Число одновременно управляемых координат – 2, всего

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

управляемых координат – 2. Дискретность задания поперечных перемещений подачи (по оси X) – 0,005 мм, продольных перемещений (по оси Z) – 0,01 мм.

Станок 16Б20ВФ1 с устройством ЧПУ 2P22 оснащен главным приводом КЕМРОН и приводом подач КЕМТОК по оси Z и X. Технические характеристики станка модели 16Б20ВФ1 представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики станка модели 16Б20ВФ1

Наименование параметра	Значение
Обозначение системы ЧПУ	2P22
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, мм	400
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	220
Диаметр отверстия в шпинделе, мм	53
Наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм	1000
Предельный диаметр сверления в стали, мм	25
Предельный диаметр сверления в чугуне, мм	28
Мощность двигателя главного движения, кВт	11
Количество рабочих скоростей шпинделя	22
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин	12,5...2000
Количество автоматически переключаемых скоростей	9
Диапазон автоматического переключения	16
Диапазон скоростей шпинделя, устанавливаемый вручную, об/мин	Ряд I – 12.5..200 Ряд II – 50..800
Центр шпинделя передней бабки по ГОСТ 13214-67	7032 – 0043 Морзе №6
Центр пиноли задней бабки по ГОСТ 13214-67	7032 – 0045 Морзе №5
Наибольшее перемещение суппорта: продольное/поперечное, мм	900/250
Максимальная скорость продольной подачи при нарезании резьбы, мм/мин	2000
Пределы шагов нарезаемых резьб, мм	0,1..39,999
Диапазон скоростей продольных подач, мм/мин	3..2000
Диапазон скоростей поперечных подач, мм/мин	3..2000
Скорость быстрых продольных ходов, мм/мин	7000
Скорость быстрых поперечных ходов, мм/мин	4000

Продолжение таблицы 2.5

Наименование параметра	Значение
Дискретность продольного перемещения	0,002
Дискретность поперечного перемещения	0,002
Высота резца, мм	25
Количество позиций на поворотной резцедержке (число инструментов в револьверной головке)	6
<b>Параметры системы ЧПУ</b>	
Обозначение системы ЧПУ	2P22
Число координат	2
Количество одновременно управляемых координат	2
Разрешающая способность в продольном направлении (дискретность задания по оси Z), мм	0,001
Разрешающая способность в поперечном направлении (дискретность задания по оси X), мм	0,001
Тип датчика обратной связи	РОД-620
Тип резьбонарезного датчика	РОД-620
Электродвигатель главного привода	A02-52-4СП43, 4A132M44 3, M301
Мощность двигателя главного привода, кВт	11
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	20
Суммарная мощность станка, кВт	22
Габаритные размеры станка (Д x Ш x В), мм	3700× 2260 × 1650

Для операции 030 Фрезерная выбрано оборудование – Фрезерно-расточной станок S500 с ЧПУ.

Фрезерно-расточной станок S500 с ЧПУ SIEMENS предназначен для комплексной обработки деталей из различных конструкционных материалов.

Станок имеет 2-х осевой поворотный стол с диаметром планшайбы 500 мм. Выполняет операции фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, получистового и чистового растачивания отверстий, нарезания резьбы метчиками и фрезами.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Фрезерно-расточной станок S500 с ЧПУ представлен в соответствии с рисунком 2.4.



Рисунок 2.4 – Фрезерно-расточной станок S500 с ЧПУ

Технические характеристики фрезерно-расточного обрабатывающего центра с ЧПУ S500 представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики фрезерно-расточного обрабатывающего центра с ЧПУ S500

Наименование параметра	Значение
Диаметр планшайбы, мм	500
Количество Т-образных пазов стола	8
Размеры Т-образных пазов, мм	14Н11 (14Н7)
Диаметр центрального отверстия, мм	О60Н7
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до плоскости планшайбы, мм	465(440)
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	500
Наибольшая частота вращения стола, (ось А и С) мин <sup>-1</sup>	28
Наибольший крутящий момент, Н×м	1020
Наибольший угол поворота (ось С), градусов	±90
Конус шпинделя (DIN 69871)	SK 40
Число ступеней частот вращения шпинделя	Регул. бесступ.
Пределы частот вращения шпинделя, оборотов/минуту	0-8000

Продолжение таблицы 2.6

Наименование параметра	Значение
Номинальный крутящий момент на шпинделе, Нм	44,6
Мощность главного привода, кВт	7,5
Наибольшее программируемое перемещение по координатам	
продольное перемещение X-салазок (X), мм	900
поперечное перемещение Y-салазок (Y), мм	500
вертикальное перемещение шпиндельной бабки (Z), мм	450
Поворот стола, градусов	
поворот стола (A)	130
вращение стола (C)	360
Диапазон рабочих подач по координатам, мм/минуту	1...15 000
Дискретность задания перемещения, мм	0,001
Точность позиционирования по осям X, Y, Z, мм	$\pm 0,005$
Число управляемых осей координат	5
Число одновременно управляемых осей координат	5
Наибольшее усилие подачи по координатам X, Y, Z	1...15 000
Скорость быстрого перемещения по осям X, Y, Z, метров/минуту	15...30
Емкость инструментального магазина, штук	20
Время смены инструмента, секунд	2,5
Наибольший диаметр инструмента, устанавливаемого в магазине (без пропуска гнезд), мм	110[100]
Наибольшая длина инструмента, устанавливаемого в шпинделе станка, мм	250
Наибольшая масса инструмента, устанавливаемой в магазине, кг	6,5
Номинальная мощность главного привода, кВт	7
Номинальная частота вращения, оборотов/минуту	1500
Максимальная частота вращения, оборотов/минуту	8000
Система ЧПУ	SIEMENS SINUMERIK 840D
Масса, кг	7 400
Габаритные размеры, мм	2905 × 3165 × 3000
Общая площадь станка в плане, метров кв., не более (с учетом открытых дверей шкафа)	18,12



Для операции 035 Вертикально-фрезерная выбрано оборудование – Станок вертикально – фрезерный с ЧПУ модели 6P13Ф3.

Вертикальный фрезерный станок 6P13Ф3 с ЧПУ предназначается для обработки разнообразных деталей сложного профиля из стали, чугуна, труднообрабатываемых цветных металлов, главным образом торцовыми и концевыми фрезами, сверлами в среднесерийном и мелкосерийном производстве.

Программируемое вертикальное перемещение (координата Z) осуществляется движением ползуна. Консоль фрезерного станка с ЧПУ 6P13Ф3 имеет только установочное перемещение, исключая позиционирование и работу в следящем режиме консоли, имеющей значительную массу. Повышается точность обработки, так как в процессе резания консоль всегда зажата.

Станок 6P13Ф3 оснащен следящими регулируемым приводами подач с высокомоментными электродвигателями постоянного тока.

Применение следящих регулируемых приводов с двигателями постоянного тока обеспечивает скорость быстрого перемещения стола до 4,8 м/мин и исключает брак детали при контурной обработке в случае отказа привода подач по одной из координат.

Введена централизованная смазка направляющих.

В станке применяется электромеханическое устройство зажима инструмента, обеспечивающее стабильное усилие зажима 2000 кг.

Для выносного оборудования имеется готовая электропроводка со штепсельными разъемами.

Шероховатость обработанной поверхности  $Rz = 20$  мкм.

Класс точности станка – Н по ГОСТ 8–82. Категория качества – высшая.

Вертикальный фрезерный станок 6P13Ф3 с ЧПУ представлен в соответствии с рисунком 2.5.



Рисунок 2.5 – Вертикально – фрезерный с ЧПУ модели 6P13Ф3

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Технические характеристики фрезерного станка с ЧПУ 6P13Ф3 представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики фрезерного станка с ЧПУ 6P13Ф3

Наименование параметра	Значение
Размеры рабочей поверхности стола (длина × ширина), мм	400 × 1600
Максимальная нагрузка на стол (по центру), кг	300
Число Т-образных пазов Размеры Т-образных пазов	3
Наибольшее продольное перемещение стола (X), мм	1000
Наибольшее поперечное перемещение стола (Y), мм	400
Наибольшее вертикальное установочное перемещение стола, мм	380
Расстояние от оси шпинделя до вертикальных направляющих станины (вылет), мм	500
Наименьшее расстояние от задней кромки стола до направляющих станины, мм	100
Расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола, мм	70..450
Пределы рабочих подач. Продольных, поперечных, вертикальных, мм/мин	20..1200
Скорость быстрого перемещения стола и ползуна, мм/мин	2400
Наименьшее и наибольшее расстояние от торца шпинделя до стола, мм	70...450
Подача за один импульс, мм	0,01
Точность позиционирования по оси X, мм	0,065
Точность позиционирования по оси Y, Z, мм	0,040
Наибольший диаметр сверления, мм	30
Наибольший диаметр концевой фрезы, мм	40
Наибольший диаметр торцевой фрезы, мм	125
Количество шпинделей	6
Частота вращения шпинделя, об/мин	40...2000
Количество скоростей шпинделя	18
Тип ЧПУ	Н33-1М
Способ задания размеров	В приращениях

Продолжение таблицы 2.7

Наименование параметра	Значение
Число одновременно управляемых координат при линейной/ при круговой интерполяции	3/2
Электродвигатель привода главного движения, кВт (об/мин)	7,5
Габариты станка, мм	3200 × 2500 × 2450
Масса станка, кг	6900

Для операции 050 Шлифовальная выбрано оборудование – Полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3

Полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3 предназначен для наружного и внутреннего шлифования гладких и прерывистых цилиндрических и конических поверхностей в телах вращения (детали типа валы, оси, штоки, оправки, фланцы и др.), закреплённых в центрах или патроне. Область применения станка – предприятия серийного и крупносерийного производства. Станок может оснащаться системой ЧПУ фирмы «Siemens» или «Mitsubishi» и инкрементальными датчиками (преобразователями линейного перемещения) по двум программируемым координатам (поперечное перемещение шлифовальной бабки – координата X, продольное перемещение стола – координата Z).

Полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3 представлен в соответствии с рисунком 2.6.



Рисунок 2.6 – Полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Технические характеристики полуавтомат круглошлифовальный универсальный с ЧПУ модели ОШ-525Ф3 представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики ОШ-525Ф3

Наименование параметра	Значение
Мощность главного привода, кВт	5,5
Частота вращения шлифовального шпинделя, об/мин	60000
Диаметр шлифования в центрах, мм	250
Длина шлифования в центрах, мм	500
Диаметр шлифования в патроне при наружной шлифовке, мм	250
Длина шлифования в патроне при наружной шлифовке, мм	500
Диаметр шлифования в патроне при внутренней шлифовке, мм	250
Длина шлифования в патроне при внутренней шлифовке, мм	500
Высота центров, мм	140
Наружный диаметр шлифовального круга для наружного шлифования, мм	500
Внутренний диаметр шлифовального круга для наружного шлифования, мм	203
Высота шлифовального круга для наружного шлифования, мм	50
Дискретность перемещения по всем координатам, мкм	1
Размеры шлифовального круга для внутреннего шлифования, мм	32 × 20
Максимальный угол поворота стола верхнего по часовой/против часовой стрелки, град	6/6
Максимальный угол поворота бабки изделия при обработке в патроне по часовой/против часовой стрелки, град	30/90
Максимальный угол поворота шлифовальной бабки по часовой стрелке, град	180
Мощность электрошпинделя для внутренней обработки, кВт	3,2
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	3800 × 3850 × 1900
Масса, кг	4820

### 2.3.4 Размерный анализ проектного технологического процесса

Размерный анализ проводится по методике профессора Матвеева В.В. [7]

Размерный анализ выполняют в следующей последовательности:

- 1) преобразуем чертеж детали в двух проекциях, на ось  $OX$  и ось  $OZ$  в системе координат  $XOZ$ ;
- 2) намечаем маршрут обработки детали по операциям;
- 3) вычерчиваем схемы размеров по осям  $OX$  и  $OZ$ ;
- 4) записываем уравнения размерных цепей и производим их расчет.

Преобразованный чертеж детали показан в двух проекциях: на ось  $OX$  – в соответствии с рисунком 2.7 и на ось  $OZ$  – в соответствии с рисунком 2.8, в системе координат  $XOZ$ .

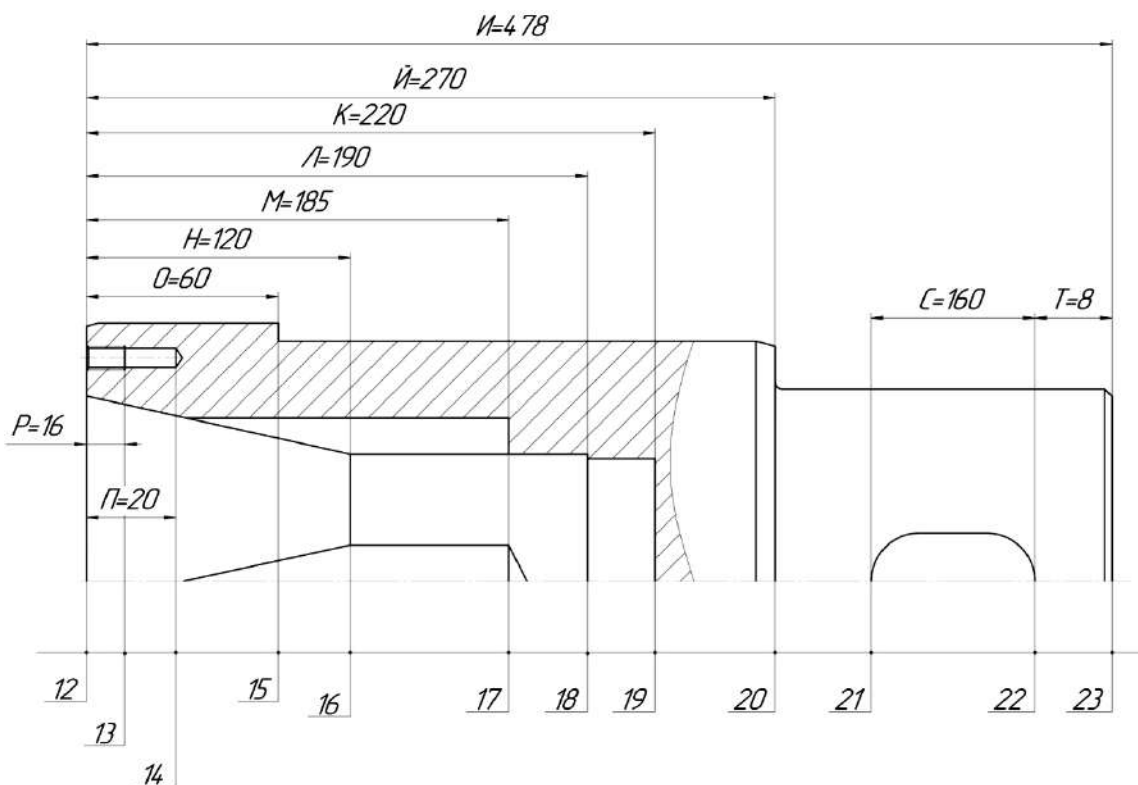


Рисунок 2.7 – Преобразованный чертёж на ось  $OX$

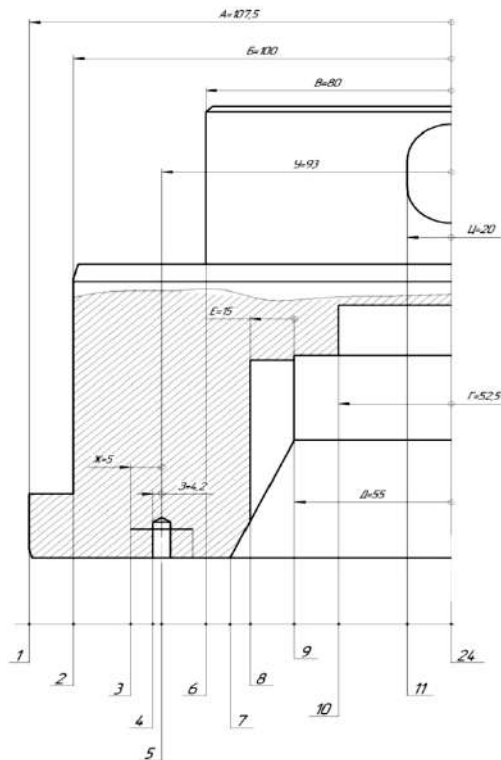


Рисунок 2.8 – Преобразованный чертёж на ось OZ

Технологический маршрут изготовления детали «Вал» представлен в таблице 2.9

Таблица 2.9 – Маршрут обработки детали

	Эскиз	Допуски и ТТ
000 Заготовительная		$Т0^0 = 0,74; ТК^0 = 1,15;$ $ТЙ^0 = 1,3; ТИ^0 = 1,55;$ $Т2А^0 = 1,15; Т2В^0 = 1,15;$ $Т2Б^0 = 1,15;$ $Т2Г^0 = 0,87;$ $◎1^0 2^0 = 0,8$ $◎1^0 6^0 = 0,8$ $◎1^0 10^0 = 0,6$ $⊥ 1^0 12^0 = 0,5$



Продолжение таблицы 2.9

	Эскиз	Допуски и ТТ
015(2) Токарно-винторезная		$TИ^{15(2)} =$ $TИ^{15(2)}_{табл} + \Delta_{12^{10}}^{10} =$ $0,5 + 0,155 = 0,655;$ $TО^{15(2)} = TО^{15(2)}_{табл} +$ $\Delta_{12^{10}}^{10} = 0,074 + 0,5 =$ $0,575;$ $TЙ^{15(2)} = TЙ^{15(2)}_{табл} +$ $\Delta_{12^{10}}^{10} = 0,13 + 0,5 =$ $0,63;$ $T2Б^{15(2)} = 0,072;$ $T2В^{15(2)} = 0,063;$ $\odot 2^{15(2)} 1^{10} = 0,05$ $\odot 6^{15(2)} 1^{10} = 0,04$ $\perp 2^{15(2)} 23^{15(2)} = 0,025$ $\perp 2^{15(2)} 15^{15(2)} = 0,03$
020(1) Токарно-винторезная		$TИ^{20(1)} = TИ^{20(1)}_{табл} +$ $\Delta_{23^{15(2)}}^{2^{15(2)}} = 0,025 +$ $0,63 = 0,655;$ $TИ^{20(1)} = 0,14;$ $TЛ^{20(1)} = 0,185;$ $TК^{20(1)} = 0,185;$ $T2А^{20(1)} = 0,29;$ $T2Д^{20(1)} = 0,14;$ $T2Г^{20(1)} = 0,14;$ $\odot 1^{20(1)} 2^{15(2)} = 0,2$ $\odot 9^{20(1)} 2^{15(2)} = 0,1$ $\odot 10^{0(1)} 22^{15(2)} = 0,1$
020(2) Токарно-винторезная		$TИ^{20(2)} = TИ^{20(2)}_{табл} +$ $\Delta_{23^{15(2)}}^{2^{15(2)}} = 0,025 +$ $0,155 = 0,18;$ $TИ^{20(2)} = 0,087;$ $TЛ^{20(2)} = 0,115;$ $TК^{20(2)} = 0,115;$ $T2А^{20(2)} = 0,054;$ $T2Д^{20(2)} = 0,085;$ $T2Г^{20(2)} = 0,085;$ $\odot 1^{20(2)} 2^{15(2)} = 0,05$ $\odot 9^{20(2)} 2^{15(2)} = 0,06$ $\odot 10^{20(2)} 2^{15(2)} = 0,06$



Продолжение таблицы 2.9

	Эскиз	Допуски и ТТ
020(3) Токарно-винторезная		$TI^{20(3)} = TI^{20(3)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{23^{15(2)}}^{2^{15(2)}} = 0,025 +$ $0,063 = 0,088;$ $TH^{20(3)} = 0,035;$ $TL^{20(3)} = 0,046;$ $TK^{20(3)} = 0,046;$ $T2A^{20(3)} = 0,029;$ $T2Д^{20(3)} = 0,035;$ $T2Г^{20(3)} = 0,035;$ $\odot 1^{20(3)} 2^{15(2)} = 0,02$ $\odot 9^{20(3)} 2^{15(2)} = 0,025$ $\odot 10^{20(3)} 2^{15(2)} = 0,025$ $\perp 1^{20(3)} 12^{20(3)} = 0,012$ $\perp 2^{15(2)} 12^{20(3)} = 0,012$
025(1) Сверлильная		$TP^{25(1)} = TP^{25(1)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12^{15(2)}}^{2^{15(2)}} = 0,03 +$ $0,025 = 0,055$ $T3^{25(1)} = 0,22;$
025(2) Сверлильная		$TP^{25(2)} = TP^{25(2)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12^{15(2)}}^{2^{15(2)}} = 0,03 +$ $0,025 = 0,055$

Продолжение таблицы 2.9

	Эскиз	Допуски и ТТ
030(1) Фрезерная		$TM^{30(1)} = TM^{30(1)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12^{20(3)}}^{2^{15(2)}} = 1,15 + 0,012 =$ $1,172;$ $T2E^{30(1)} = 0,33$
030(2) Фрезерная		$TM^{30(2)} = TM^{30(2)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12^{20(3)}}^{2^{15(2)}} = 0,46 +$ $0,012 = 0,472;$ $T2E^{30(2)} = 0,21$
030(3) Фрезерная		$TM^{30(3)} = TM^{30(3)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12^{20(3)}}^{2^{15(2)}} = 0,012 +$ $0,115 = 0,127;$ $T2E^{30(3)} = 0,084$

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

15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ

Лист

44

Продолжение таблицы 2.9

	Эскиз	Допуски и ТТ
035(1) Вертикально-фрезерная		$TT^{35(1)} = TT^{35(1)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{23}^{2^{15(2)}} = 0,03 + 0,22 = 0,25;$ $TC^{35(1)} = 0,4;$ $TЧ^{35(1)} = 0,18$ $T2Ц^{35(1)} = 0,25$
035(2) Вертикально-фрезерная		$TT^{35(2)} = TT^{35(2)}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{23}^{2^{15(2)}} = 0,03 + 0,15 = 0,18;$ $TC^{35(2)} = 0,1;$ $TЧ^{35(2)} = 0,043$ $T2Ц^{35(2)} = 0,062$
050 Шлифовальная		$TO^{50} = TO^{50}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12}^{1^{20(3)}} = 0,012 + 0,03 = 0,042;$ $TЙ^{50} = TЙ^{50}_{\text{табл}} +$ $\Delta_{12}^{1^{20(3)}} = 0,052 + 0,012 = 0,064;$ $T2Б^{50} = 0,029;$ $T2В^{50} = 0,025$ $\odot 2^{50} 1^{15(2)} = 0,02$ $\odot 6^{50} 1^{15(2)} = 0,02$

В соответствии с рисунками 2.9 представлена размерная схема линейных размеров.

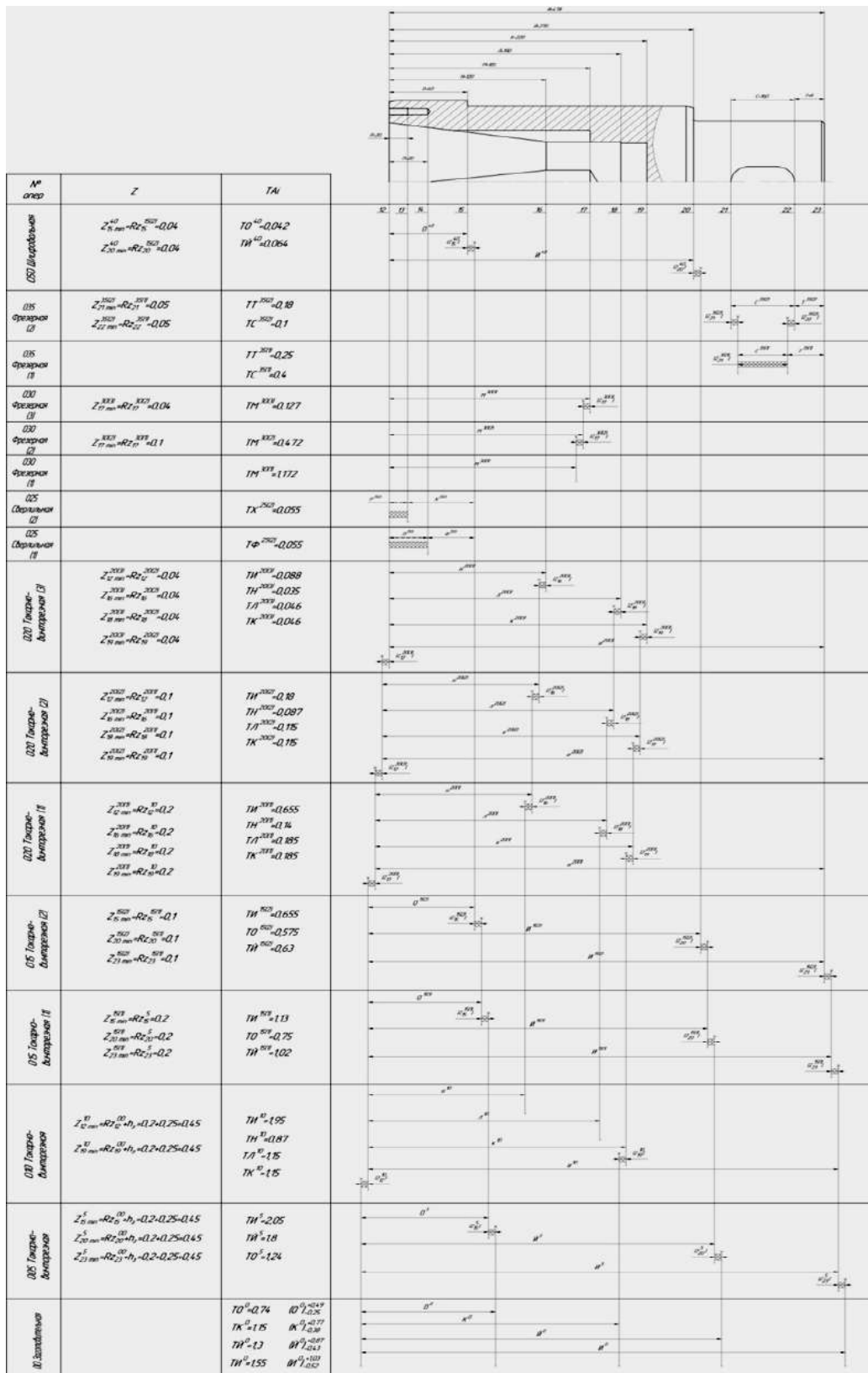


Рисунок 2.9 – Схема линейных размеров

Уравнения размерных цепей по схеме линейных размеров:

$$\begin{aligned}
 [Z_{12}^{20(2)}] &= И^{20(1)} - И^{20(2)} \\
 [Z_{12}^{20(1)}] &= И^{15(2)} - И^{20(1)} \\
 [Z_{23}^{15(2)}] &= И^{15(1)} - И^{15(2)} \\
 [Z_{23}^{15(1)}] &= И^{10} - И^{15(1)} \\
 [Z_{12}^{10}] &= И^5 - И^{10} \\
 [Z_{23}^5] &= И^0 - И^5 \\
 [Z_{15}^{50}] &= О^{15(2)} - О^{40} - И^{15(2)} + И^{20(3)} \\
 [Z_{15}^{15(2)}] &= О^{15(1)} - О^{15(2)} \\
 [Z_{15}^{15(1)}] &= О^5 - О^{15(1)} - И^5 + И^{10} \\
 [Z_{15}^5] &= О^0 - О^5 \\
 [Z_{20}^{50}] &= Й^{15(2)} - Й^{50} - И^{15(2)} + И^{20(3)} \\
 [Z_{20}^{15(2)}] &= Й^{15(1)} - Й^{15(2)} \\
 [Z_{20}^{15(1)}] &= Й^5 - Й^{15(1)} - И^5 + И^{10} \\
 [Z_{20}^5] &= Й^0 - Й^5 \\
 [Z_{22}^{35(2)}] &= Т^{35(1)} - Т^{35(2)} \\
 [Z_{22}^{35(1)}] &= -Т^{35(1)} + Т^{35(2)} - С^{35(1)} + С^{35(2)} \\
 [Z_{20}^{15(2)}] &= Й^{15(1)} - Й^{15(2)} \\
 [Z_{20}^{15(1)}] &= Й^5 - Й^{15(1)} - И^5 + И^{10} \\
 [Z_{20}^5] &= Й^0 - Й^5 \\
 [Z_{22}^{35(2)}] &= Т^{35(1)} - Т^{35(2)} \\
 [Z_{22}^{35(1)}] &= -Т^{35(1)} + Т^{35(2)} - С^{35(1)} + С^{35(2)} \\
 [Z_{17}^{30(3)}] &= М^{30(3)} - М^{30(2)} \\
 [Z_{17}^{30(2)}] &= М^{30(2)} - М^{30(1)} \\
 [Z_{19}^{20(3)}] &= -К^{20(2)} - И^{20(2)} - И^{20(3)} + К^{20(1)} \\
 [Z_{19}^{20(2)}] &= -К^{20(1)} - И^{20(1)} - И^{20(2)} + К^{20(2)} \\
 [Z_{19}^{20(1)}] &= -К^{10} + И^{15(2)} - И^{20(1)} + К^{20(1)} \\
 [Z_{19}^{10}] &= -К^0 + И^5 - И^{10} + К^{10} \\
 [Z_{16}^{20(3)}] &= -Н^{20(2)} + И^{20(2)} - И^{20(3)} + Н^{20(1)} \\
 [Z_{16}^{20(2)}] &= -Н^{20(1)} + И^{20(1)} - И^{20(2)} + Н^{20(2)} \\
 [Z_{16}^{20(1)}] &= -Н^{10} + И^{15(2)} - И^{20(1)} + Н^{20(1)} \\
 [Z_{18}^{20(3)}] &= -Л^{20(2)} + И^{20(2)} - И^{20(3)} + Л^{20(1)} \\
 [Z_{18}^{20(2)}] &= -Л^{20(1)} + И^{20(1)} - И^{20(2)} + Л^{20(2)} \\
 [Z_{18}^{20(1)}] &= -Л^{10} + И^{15(2)} - И^{20(1)} + Л^{20(1)}
 \end{aligned}$$

В соответствии с рисунком 2.10 представлена размерная схема диаметральных размеров.

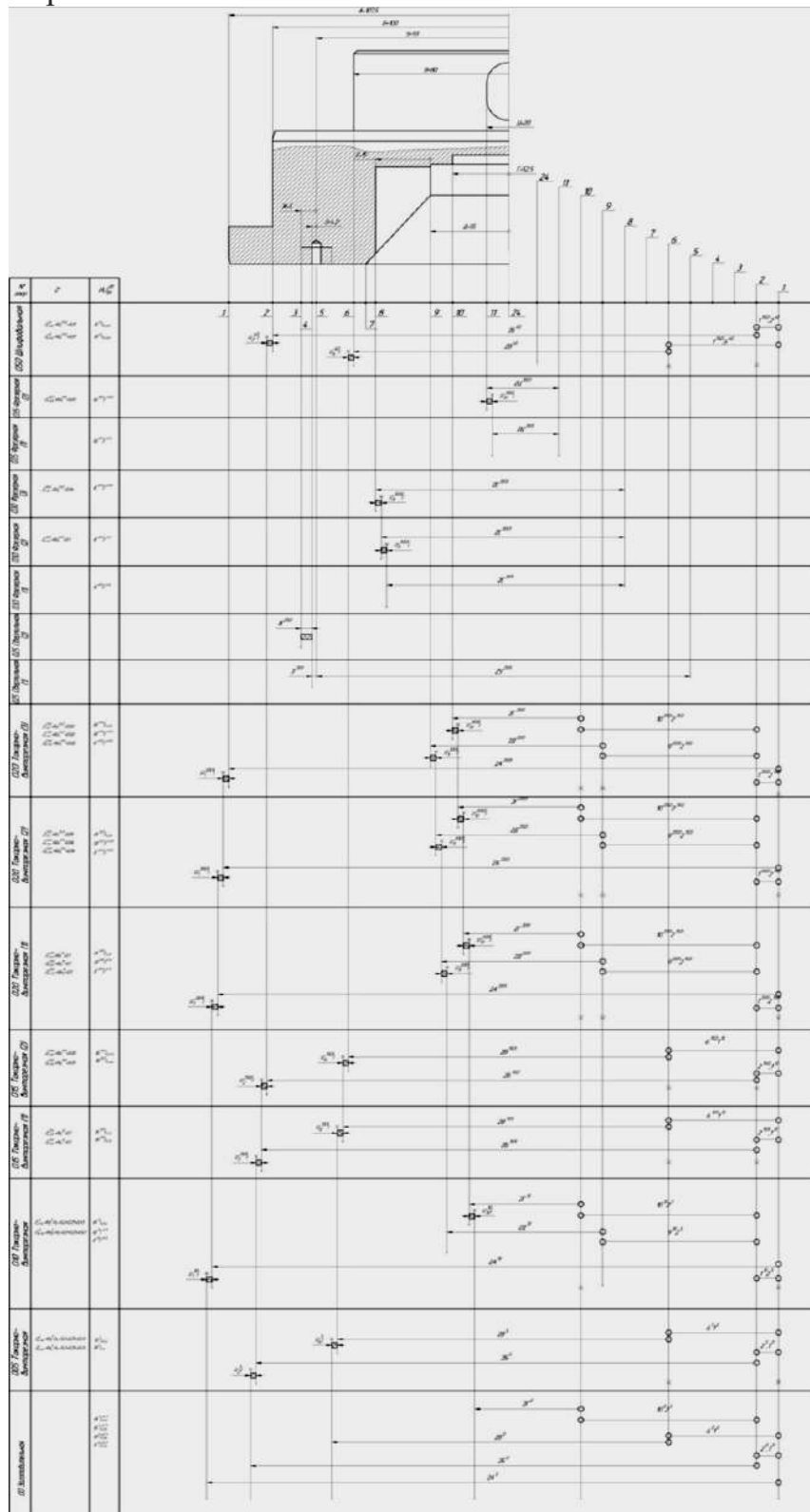


Рисунок 2.10 – Схема диаметральных размеров

Уравнения размерных цепей по схеме диаметральных размеров:

$$\begin{aligned}
 [Z_2^{50}] &= B^{15(2)} - B^{50} - 1^{20(3)}2^{15(2)} - 1^{15(2)}2^{50} \\
 [Z_6^{50}] &= B^{15(2)} - B^{50} - 1^{20(3)}2^{15(2)} - 6^{50}2^{15(2)} - 6^{15(2)}1^{10} - 2^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_6^{15(2)}] &= B^{15(1)} - B^{15(2)} - 6^{15(2)}1^{10} - 6^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_6^{15(1)}] &= B^5 - B^{15(1)} - 6^51^0 - 2^51^0 - 6^{15(2)}1^{10} - 1^{10}2^5 \\
 [Z_6^5] &= B^0 - B^5 - 6^51^0 - 2^51^0 - 6^01^0 - 2^01^0 \\
 [Z_2^{15(2)}] &= B^{15(1)} - B^{15(2)} - 2^{15(2)}1^{10} - 2^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_2^{15(1)}] &= B^5 - B^{15(1)} - 2^{15(1)}1^{10} - 1^{10}2^5 \\
 [Z_2^5] &= B^0 - B^5 \\
 [Z_{11}^{35(2)}] &= Ц^{35(2)} - Ц^{35(1)} \\
 [Z_8^{30(3)}] &= E^{30(3)} - E^{30(2)} \\
 [Z_8^{30(2)}] &= E^{30(2)} - E^{30(1)} \\
 [Z_1^{20(3)}] &= A^{20(2)} - A^{20(3)} - 1^{20(3)}2^{15(2)} - 1^{20(2)}2^{15(2)} \\
 [Z_1^{20(2)}] &= A^{20(1)} - A^{20(2)} - 1^{20(1)}2^{15(2)} - 1^{20(2)}2^{15(2)} \\
 [Z_1^{20(1)}] &= A^{10} - A^{20(1)} - 1^{20(1)}2^{15(2)} - 2^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_1^{20(1)}] &= A^0 - A^{10} - 1^02^0 - 1^{10}2^5 \\
 [Z_9^{20(3)}] &= D^{20(3)} - D^{20(2)} - 9^{20(3)}2^{15(2)} - 9^{20(2)}2^{15(2)} \\
 [Z_9^{20(2)}] &= D^{20(2)} - D^{20(1)} - 9^{20(2)}2^{15(2)} - 9^{20(1)}2^{15(2)} \\
 [Z_9^{20(1)}] &= D^{20(1)} - D^{10} - 9^{10}2^5 - 9^{20(1)}2^{15(2)} - 1^{10}2^5 - 2^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_{10}^{20(3)}] &= \Gamma^{20(3)} - \Gamma^{20(2)} - 10^{20(3)}2^{15(2)} - 10^{20(2)}2^{15(2)} \\
 [Z_{10}^{20(2)}] &= \Gamma^{20(2)} - \Gamma^{20(1)} - 10^{20(2)}2^{15(2)} - 10^{20(1)}2^{15(2)} \\
 [Z_{10}^{20(1)}] &= \Gamma^{20(1)} - \Gamma^{10} - 10^{10}2^5 - 10^{20(1)}2^{15(2)} - 1^{10}2^5 - 2^{15(2)}1^{10} \\
 [Z_{10}^{10}] &= \Gamma^{10} - \Gamma^0 - 10^02^0 - 10^{10}2^5
 \end{aligned}$$

В соответствии с рисунком 2.11 представлена схема пространственных отклонений.

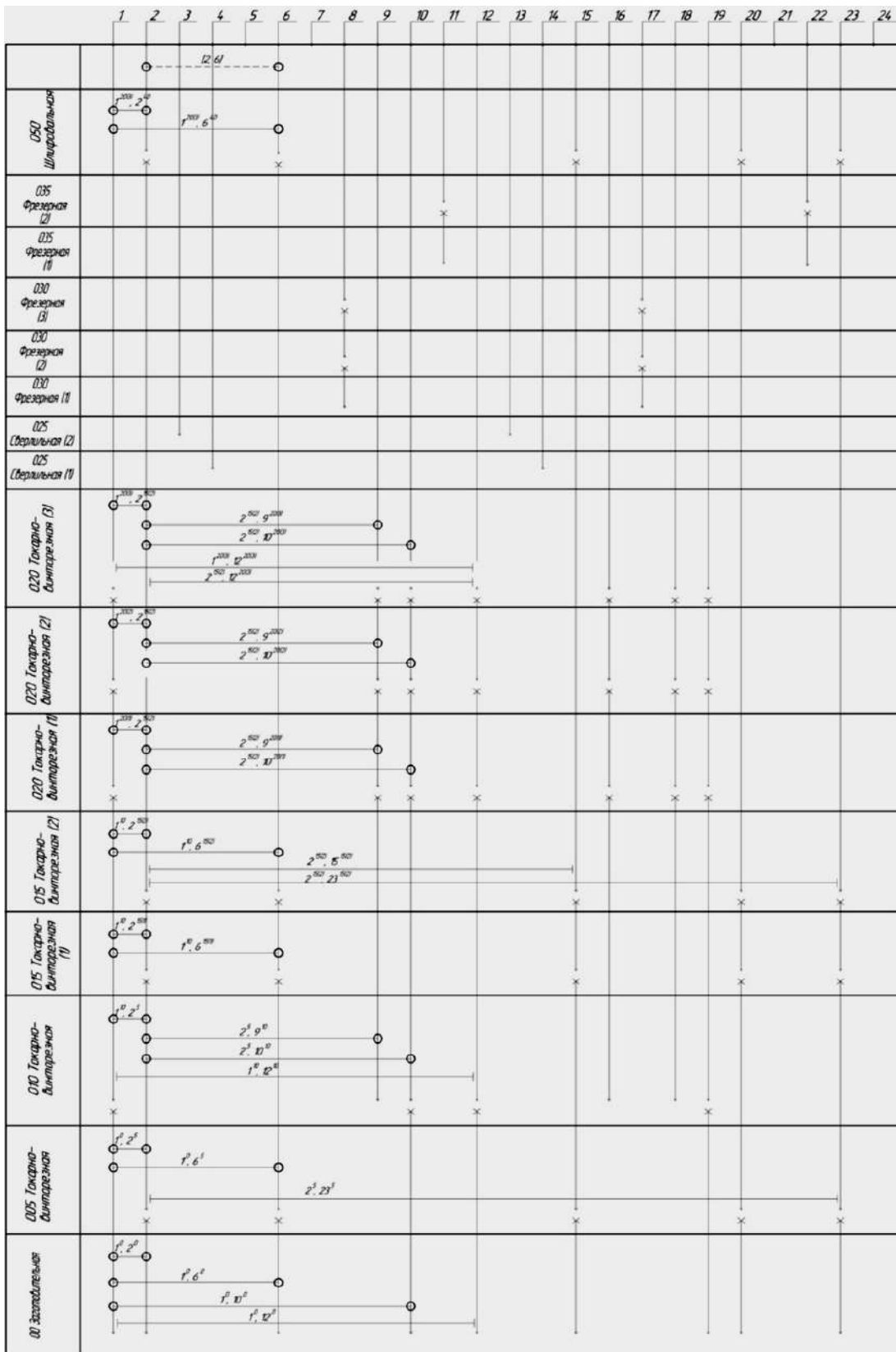


Рисунок 2.11 – Схема пространственных отклонений



Уравнения размерных цепей по схеме пространственных отклонений:

$$[2,6] = 1^{20(3)}, 2^{50+1^{20(3)}}, 6^{50}$$

Проверка точности разработанного техпроцесса

$$1. [2,6] = 1^{20(3)}, 2^{50+1^{20(3)}}, 6^{50}$$

0,04 ≥ 0,02 + 0,02 = 0,4 обеспечивается.

Расчет межоперационных размеров по схеме линейных размеров.

$$[Z_{12}^{20(3)}] = I^{20(2)} - I^{20(3)}$$

$$\text{Дано: } I^{20(3)}_{min} = 476,45; I^{20(3)}_{max} = 478; TI^{20(2)} = 0,18$$

$$Z_{12}^{20(3)}_{min} = 0,04 \text{ мм}$$

$$Z_{12}^{20(3)}_{min} = I^{20(2)}_{min} - I^{20(3)}_{max}$$

$$I^{20(2)}_{min} = I^{20(3)}_{max} + Z_{12}^{20(3)}_{min}$$

$$I^{20(2)}_{min} = 478 + 0,04 = 478,04 \text{ мм}$$

$$I^{20(2)}_{max} = I^{20(2)}_{min} + TI^{20(2)} = 478,04 + 0,18 = 478,22 \text{ мм}$$

$$Z_{12}^{20(3)}_{max} = I^{20(2)}_{max} - I^{20(3)}_{min}$$

$$Z_{12}^{20(3)}_{max} = 478,22 - 476,45 = 1,77 \text{ мм}$$

Номинальный размер  $I^{20(2)} = I^{20(2)}_{max} - ES = 478,22 - 0 = 478,22 \text{ мм}$ .

Ответ:  $I^{20(2)} = 478,22_{-0,18}$   $Z_{12}^{20(3)}_{max} = 1,77 \text{ мм}$ .

Остальные уравнения, составленные по схеме линейных размеров, рассчитываются аналогично. Результаты расчёта сводим в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Результаты расчёта размерных цепей по схеме линейных размеров

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_{12}^{20(2)}] = I^{20(1)} - I^{20(2)}$	$I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22$ $TI^{20(1)} = 0,655; Z_{12}^{20(2)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$I^{20(1)} = 478,975_{-0,655};$ $Z_{15}^{20(2)}_{max} = 0,935 \text{ мм}$
$[Z_{12}^{20(1)}] = I^{15(2)} - I^{20(1)}$	$I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,97$ $TI^{15(2)} = 0,655; Z_{12}^{20(1)}_{min} = 0,2 \text{ мм}$	$I^{15(2)} = 479,83_{-0,655};$ $Z_{12}^{20(1)}_{max} = 1,51 \text{ мм}$
$[Z_{23}^{15(2)}] = I^{15(1)} - I^{15(2)}$	$I^{15(2)}_{min} = 479,17; I^{15(2)}_{max} = 479,83$ $TI^{15(1)} = 1,13; Z_{23}^{15(2)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$I^{15(1)} = 481,06_{-1,13};$ $Z_{23}^{15(3)}_{max} = 1,885 \text{ мм}$
$[Z_{23}^{15(1)}] = I^{10} - I^{15(1)}$	$I^{15(1)}_{min} = 479,93; I^{15(1)}_{max} = 481,06$ $TI^5 = 1,95; Z_{23}^{15(1)}_{min} = 0,2 \text{ мм}$	$I^{10} = 483,21_{-1,95};$ $Z_{23}^{15(2)}_{max} = 3,28 \text{ мм}$
$[Z_{12}^{10}] = I^5 - I^{10}$	$I^{10}_{min} = 481,26; I^{10}_{max} = 483,21;$ $TI^5 = 2,05; Z_{12}^{10}_{min} = 0,45 \text{ мм}$	$I^5 = 485,71_{-2,05};$ $Z_{12}^{10}_{max} = 4,45 \text{ мм}$
$[Z_{23}^5] = I^0 - I^5$	$I^5_{min} = 483,66; I^5_{max} = 485,71;$ $TI^0 = 1,3; Z_{23}^5_{min} = 0,45 \text{ мм}$	$I^0 = 486,68_{-0,52};$ $Z_{24}^5_{max} = 4,05 \text{ мм}$

Продолжение таблицы 2.10

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_{15}^{50}] = O^{15(2)} - O^{50} - И^{15(2)} + И^{20(3)}$	$И^{20(3)}_{min} = 476,45; И^{20(3)}_{max} = 478$ $И^{15(2)}_{min} = 479,17; И^{15(2)}_{max} = 479,83$ $O^{50}_{min} = 60; O^{50}_{max} = 60,74$ $TO^{15(2)} = 0,575; Z_{15}^{50}_{min} = 0,01\text{мм}$	$O^{15(2)} = 65,960_{-0,575};$ $Z_{15}^{50}_{max} = 4,015\text{мм}$
$[Z_{15}^{15(2)}] = O^{15(1)} - O^{15(2)}$	$O^{15(2)}_{min} = 65,390; O^{15(2)}_{max} = 65,96$ $TO^{15(1)} = 0,75; Z_{15}^{15(2)}_{min} = 0,1\text{мм}$	$O^{15(1)} = 66,815_{-0,75};$ $Z_{15}^{15(2)}_{max} = 1,42\text{мм}$
$[Z_{15}^{15(1)}] = O^5 - O^{15(1)} - И^5 + И^{10}$	$И^{10}_{min} = 481,26; O^{10}_{max} = 483,21;$ $И^5_{min} = 483,66; И^5_{max} = 485,71;$ $O^{15(1)}_{min} = 66,065; O^{15(1)}_{max} = 66,815$ $TO^5 = 1,24; Z_{15}^{15(2)}_{min} = 0,2\text{ мм}$	$O^5 = 72,705_{-1,24};$ $Z_{15}^{15(1)}_{max} = 6,19\text{ мм}$
$[Z_{15}^5] = O^0 - O^5$	$O^5_{min} = 71,465; O^{15(1)}_{max} = 72,705$ $TO^0 = 0,74; Z_{15}^{15(2)}_{min} = 0,45\text{ мм}$	$O^0 = 73,405^{+0,49}_{-0,25};$ $Z_{15}^5_{max} = 2,43\text{ мм}$
$[Z_{20}^{50}] = Й^{15(2)} - Й^{40} - И^{15(2)} + И^{20(3)}$	$И^{20(3)}_{min} = 476,45; И^{20(3)}_{max} = 478$ $И^{15(2)}_{min} = 479,175; И^{15(2)}_{max} = 479,83$ $Й^{50}_{min} = 268,7; O^{50}_{max} = 270$ $ТЙ^{15(2)} = 0,63; Z_{20}^{50}_{min} = 0,04\text{ мм}$	$Й^{15(2)} = 275,28_{-0,63};$ $Z_{20}^{50}_{max} = 4,64\text{ мм}$
$[Z_{20}^{15(2)}] = Й^{15(1)} - Й^{15(2)}$	$Й^{15(2)}_{min} = 274,65; Й^{15(2)}_{max} = 275,28$ $ТЙ^{15(1)} = 1,02; Z_{20}^{15(2)}_{min} = 0,1\text{ мм}$	$Й^{15(1)} = 276,13_{-1,02};$ $Z_{20}^{15(2)}_{max} = 1,48\text{мм}$
$[Z_{20}^{15(1)}] = Й^5 - Й^{15(1)} - И^5 + И^{10}$	$И^{10}_{min} = 481,26; O^{10}_{max} = 483,21;$ $И^5_{min} = 483,66; И^5_{max} = 485,71;$ $Й^{15(1)}_{min} = 275,38; O^{15(1)}_{max} = 276,13$ $TO^5 = 1,8; Z_{15}^{15(2)}_{min} = 0,2\text{ мм}$	$Й^5 = 282,58_{-1,8};$ $Z_{15}^{15(1)}_{max} = 6,75\text{ мм}$
$[Z_{20}^5] = Й^0 - Й^5$	$Й^5_{min} = 280,78; Й^{15(1)}_{max} = 282,58$ $ТЙ^0 = 1,3; Z_{20}^5_{min} = 0,45\text{ мм}$	$Й^0 = 283,55^{+0,87}_{-0,43};$ $Z_{20}^5_{max} = 3,55\text{ мм}$
$[Z_{22}^{35(2)}] = T^{35(1)} - T^{35(2)}$	$T^{35(2)}_{min} = 7,64; T^{35(2)}_{max} = 8$ $ТТ^{35(1)} = 0,25; Z_{22}^{35(2)}_{min} = 0,05\text{ мм}$	$T^{35(1)} = 8,3_{-0,25};$ $Z_{22}^{35(2)}_{max} = 0,66\text{ мм}$
$[Z_{22}^{35(2)}] = -T^{35(1)} + T^{35(2)} - C^{35(1)} + C^{35(2)}$	$T^{35(2)}_{min} = 7,64; T^{35(2)}_{max} = 8$ $T^{35(1)}_{min} = 8,05; T^{35(1)}_{max} = 8,3$ $C^{35(2)}_{min} = 160; C^{35(2)}_{max} = 161,6$ $TC^{35(1)} = 0,4; Z_{21}^{35(2)}_{min} = 0,05\text{ мм}$	$C^{35(1)} = 158,89_{+0,4};$ $Z_{21}^{35(2)}_{max} = 2,66\text{ мм}$
$[Z_{17}^{30(3)}] = M^{30(3)} - M^{30(2)}$	$M^{30(3)}_{min} = 185,43; M^{30(3)}_{max} = 185,57$ $ТМ^{30(2)} = 0,472; Z_{17}^{30(3)}_{min} = 0,04\text{ мм}$	$M^{30(2)} = 185,39 \pm 0,23;$ $Z_{17}^{30(3)}_{max} = 0,652\text{мм}$
$[Z_{17}^{30(2)}] = M^{30(2)} - M^{30(1)}$	$M^{30(2)}_{min} = 184,92; M^{30(2)}_{max} = 185,39$ $ТМ^{30(1)} = 1,172; Z_{17}^{30(3)}_{min} = 0,1\text{мм}$	$M^{30(1)} = 184,7 \pm 0,586;$ $Z_{17}^{30(3)}_{max} = 1,27\text{мм}$
$[Z_{19}^{20(3)}] = -K^{20(2)} - И^{20(2)} - И^{20(1)} + K^{20(1)}$	$И^{20(3)}_{min} = 476,45; И^{20(3)}_{max} = 478;$ $И^{20(2)}_{min} = 478,04; И^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $K^{20(3)}_{min} = 219,43; K^{20(3)}_{max} = 220,58$ $TK^{20(2)} = 0,115; Z_{19}^{20(3)}_{min} = 0,04\text{ мм}$	$K^{20(2)} = 219,372$ $\pm 0,057;$ $Z_{19}^{20(3)}_{max} = 3,035\text{ мм}$

Продолжение таблицы 2.10

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_{19}^{20(2)}]$ = $-K^{20(1)} -$ $I^{20(1)} - I^{20(2)}$ $+ K^{20(2)}$	$I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,975$ $K^{20(2)}_{min} = 219,315; K^{20(2)}_{max} = 219,43$ $TK^{20(1)} = 0,185; Z_{19}^{20(2)}_{min} = 0,1$ мм	$K^{20(1)} = 219,2225 \pm$ $0,0925;$ $Z_{19}^{20(2)}_{max} = 2,825$ мм
$[Z_{19}^{20(1)}] =$ $-K^{10} +$ $I^{15(2)} - I^{20(1)} +$ $K^{20(1)}$	$I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,97$ $I^{15(2)}_{min} = 479,175; I^{15(2)}_{max} = 479,83$ $K^{20(1)}_{min} = 219,13; K^{20(2)}_{max} = 219,315$ $TK^{10} = 0,87; Z_{19}^{20(1)}_{min} = 0,2$ мм	$K^{10} = 218,415 \pm$ $0,435;$ $Z_{19}^{20(1)}_{max} = 2,19$ мм
$[Z_{19}^{10}] =$ $-K^0 +$ $I^5 - I^{10} + K^{10}$	$I^{10}_{min} = 481,26; I^{10}_{max} = 483,21;$ $I^5_{min} = 483,66; I^5_{max} = 485,71;$ $K^{10}_{min} = 218,26; K^{10}_{max} = 219,13$ $TK^0 = 1,15; Z_{19}^{10}_{min} = 0,45$ мм	$K^0 = 217,49^{+0,77}_{-0,38};$ $Z_{19}^{10}_{max} = 6,47$ мм
$[Z_{16}^{20(3)}]$ = $-H^{20(2)}$ $+ I^{20(2)} - I^{20(3)}$ $+ H^{20(1)}$	$I^{20(3)}_{min} = 476,45; I^{20(3)}_{max} = 478$ $I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $H^{20(3)}_{min} = 119,57; H^{20(3)}_{max} = 120,44$ $TH^{20(2)} = 0,087; Z_{16}^{20(3)}_{min} = 0,04$ мм	$H^{20(2)} = 119,5265$ $\pm 0,0435$ $Z_{16}^{20(3)}_{max} = 0,857$ мм
$[Z_{16}^{20(2)}]$ = $-H^{20(1)}$ $+ I^{20(1)} - I^{20(2)}$ $+ H^{20(2)}$	$I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,975$ $H^{20(2)}_{min} = 119,483; H^{20(2)}_{max} = 119,57$ $TH^{20(1)} = 0,14; Z_{19}^{20(2)}_{min} = 0,1$ мм	$H^{20(1)} = 119,693 \pm 0,07;$ $Z_{16}^{20(2)}_{max} = 0,882$ мм
$[Z_{16}^{20(1)}]$ = $-H^{10}$ $+ I^{15(2)} - I^{20(1)}$ $+ H^{20(1)}$	$I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,975$ $I^{15(2)}_{min} = 479,175; I^{15(2)}_{max} = 479,83$ $H^{20(1)}_{min} = 119,623; H^{20(2)}_{max} = 119,483$ $TH^{10} = 0,87; Z_{16}^{20(1)}_{min} = 0,2$ мм	$H^{10} = 119,188 \pm$ $0,435;$ $Z_{16}^{20(1)}_{max} = 2,24$ мм
$[Z_{18}^{20(3)}]$ = $-L^{20(2)}$ $+ I^{20(2)} - I^{20(3)}$ $+ L^{20(1)}$	$I^{20(3)}_{min} = 476,45; I^{20(3)}_{max} = 478$ $I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $L^{20(3)}_{min} = 189,43; L^{20(3)}_{max} = 190,57$ $TL^{20(2)} = 0,115; Z_{18}^{20(3)}_{min} = 0,04$ мм	$L^{20(2)} = 189,3725 \pm$ $0,0575;$ $Z_{18}^{20(3)}_{max} = 3,035$ мм
$[Z_{18}^{20(2)}]$ = $-L^{20(1)}$ $+ I^{20(1)} - I^{20(2)}$ $+ L^{20(2)}$	$I^{20(2)}_{min} = 478,04; I^{20(2)}_{max} = 478,22;$ $I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,975$ $L^{20(2)}_{min} = 189,315; L^{20(2)}_{max} = 189,43$ $TL^{20(1)} = 0,185; Z_{18}^{20(2)}_{min} = 0,1$ мм	$L^{20(1)} = 189,2225 \pm$ $0,0925;$ $Z_{19}^{20(2)}_{max} = 2,825$ мм
$[Z_{18}^{20(1)}]$ = $-L^{10}$ $+ I^{15(2)} - I^{20(1)}$ $+ L^{20(1)}$	$I^{20(1)}_{min} = 478,32; I^{20(1)}_{max} = 478,975$ $I^{15(2)}_{min} = 479,175; I^{15(2)}_{max} = 479,83$ $L^{20(1)}_{min} = 189,13; L^{20(2)}_{max} = 189,315$ $TL^{10} = 1,15; Z_{18}^{20(1)}_{min} = 0,2$ мм	$L^{10} = 188,555$ $\pm 0,575;$ $Z_{17}^{20(1)}_{max} = 2,19$ мм

Расчет межоперационных размеров по схеме диаметральных размеров

$$[Z_2^{50}] = B^{15(2)} - B^{50} - 1^{20(3)}2^{15(2)} - 1^{15(2)}2^{50}$$

Дано:  $B^{50}_{min} = 200,004$ ;  $B^{50}_{max} = 200,033$ ;  $TB^{15(2)} = 0,072$ ;

$1^{20(3)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,04$ ;  $1^{15(2)}2^{50} = 0 \pm 0,04$ ;  $Z_2^{50}_{min} = 0,01$  мм

$$Z_2^{50}_{min} = B^{15(2)}_{max} - B^{50}_{min} - 1^{20(3)}2^{15(2)}_{max} - 1^{15(2)}2^{50}_{max}$$

$$B^{50}_{min} = B^{15(2)}_{max} - 1^{20(3)}2^{15(2)}_{max} - 1^{15(2)}2^{50}_{max} + Z_2^{50}_{min}$$

$$B^{50}_{min} = 200,033 - 0,01 - 0,001 + 0,01 = 200,135$$
 мм

$$B^{50}_{max} = B^{15(2)}_{min} + TB^{15(2)} = 200,065 - 0,072 = 8,1875$$
 мм

$$Z_2^{50}_{max} = B^{15(2)}_{min} - B^{50}_{max} - 1^{20(3)}2^{15(2)}_{min} - 1^{15(2)}2^{50}_{min}$$

$$Z_2^{50}_{max} = 200,135 - 200,004 + 0,01 + 0,01 = 0,151$$
 мм

Номинальный размер

$$B^{15(2)} = B^{15(2)}_{max} - \Delta_H O^{20(1)} = 200,135 - 0 = 200,135$$

Ответ:  $B^{15(2)}_{min} = 200,135 - 0,072$ ;  $Z_2^{50}_{max} = 0,151$

Остальные уравнения, составленные по схеме диаметральных размеров, рассчитываются аналогично. Результаты расчёта сводим в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Результаты расчёта размерных цепей по схеме диаметральных размеров

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_6^{50}] = B^{15(2)} - B^{50}$ $- 1^{20(3)}2^{15(2)} - 6^{50}2^{15(2)}$ $- 6^{15(2)}1^{10} - 2^{15(2)}1^{10}$	$2B^{50}_{min} = 159,92$ ; $2B^{50}_{max} = 159,96$ ; $6^{50}2^{15(2)} = 0 \pm 0,01$ ; $1^{20(3)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,01$ $6^{15(2)}1^{10} = 0 \pm 0,02$ $2^{15(2)}1^{10} = 0 \pm 0,025$ $T2B^{15(2)} = 0,063$ ; $Z_6^{50}_{min} = 0,01$ мм	$2B^{15(2)} = 160,098_{-0,063}$ $Z_6^{50}_{max} = 0,246$ мм.
$[Z_6^{15(2)}] = B^{15(1)} - B^{15(2)}$ $- 6^{15(2)}1^{10} - 6^{15(2)}1^{10}$	$2B^{15(2)}_{min} = 160,035$ ; $2B^{15(2)}_{max} = 160,098$ ; $6^{15(2)}1^{10} = 0 \pm 0,02$ $6^{15(1)}1^{10} = 0 \pm 0,1$ $T2B^{15(1)} = 0,25$ ; $Z_6^{15(2)}_{min} = 0,05$ мм	$2B^{15(1)} = 160,518_{-0,25}$ $Z_6^{15(2)}_{max} = 0,603$ мм.
$[Z_6^{15(1)}] = B^5 - B^{15(1)} - 6^5 1^0$ $- 2^5 1^0 - 6^{15(2)} 1^{10} - 1^{10} 2^5$	$2B^{15(1)}_{min} = 160,035$ ; $2B^{15(1)}_{max} = 160,098$ ; $6^{15(1)} 1^{10} = 0 \pm 0,1$ $6^5 1^0 = 0 \pm 0,1$ $2^5 1^0 = 0 \pm 0,15$ $1^{10} 2^5 = 0 \pm 0,15$ $T2B^5 = 0,46$ ; $Z_6^{15(1)}_{min} = 0,1$ мм	$2B^5 = 161,518_{-0,46}$ $Z_6^{15(1)}_{max} = 1,75$ мм.

Продолжение таблицы 2.11

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_6^5] = B^0 - B^5 - 6^5 1^0 - 2^5 1^0 - 6^0 1^0 - 2^0 1^0$	$2B^5_{min} = 160,035;$ $2B^5_{max} = 160,098;$ $6^5 1^0 = 0 \pm 0,1$ $2^5 1^0 = 0 \pm 0,15$ $6^0 1^0 = 0 \pm 0,4$ $2^0 1^0 = 0 \pm 0,4$ $T2B^0 = 1,15;$ $Z_6^5_{min} = 0,45 \text{ мм}$	$2B^0 = 164,168^{+0,77}_{-0,38}$ $Z_6^5_{max} = 4,1 \text{ мм.}$
$[Z_2^{15(2)}] = B^{15(1)} - B^{15(2)} - 2^{15(2)} 1^{10} - 2^{15(2)} 1^{10}$	$2B^{15(2)}_{min} = 200,063;$ $2B^{15(2)}_{max} = 200,135;$ $2^{15(2)} 1^{10} = 0 \pm 0,025$ $2^{15(1)} 1^{10} = 0 \pm 0,1$ $T2B^{15(1)} = 0,29;$ $Z_2^{15(2)}_{min} = 0,05 \text{ мм}$	$2B^{15(1)} = 200,6_{-0,29}$ $Z_2^{15(2)}_{max} = 0,662 \text{ мм.}$
$[Z_2^{15(1)}] = B^5 - B^{15(1)} - 2^{15(1)} 1^{10} - 1^{10} 2^5$	$2B^{15(1)}_{min} = 160,035;$ $2B^{15(1)}_{max} = 160,098;$ $2^{15(1)} 1^{10} = 0 \pm 0,1$ $1^{10} 2^5 = 0 \pm 0,15$ $T2B^5 = 0,46;$ $Z_2^{15(1)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$2B^5 = 201,41_{-0,46}$ $Z_2^{15(1)}_{max} = 1,35 \text{ мм.}$
$[Z_2^5] = B^0 - B^5$	$2B^5_{min} = 160,035;$ $2B^5_{max} = 160,098;$ $T2B^0 = 1,15;$ $Z_2^5_{min} = 0,45 \text{ мм}$	$2B^0 = 203,01^{+0,77}_{-0,38}$ $Z_2^5_{max} = 4,1 \text{ мм.}$
$[Z_{11}^{35(2)}] = Ц^{35(2)} - Ц^{35(1)}$	$2Ц^{35(2)}_{min} = 39,91;$ $2Ц^{35(2)}_{max} = 39,97;$ $T2Ц^{35(1)} = 0,25;$ $Z_{11}^{35(2)}_{min} = 0,05 \text{ мм}$	$2Ц^{35(2)} = 39,612^{+0,25}$ $Z_{11}^{15(2)}_{max} = 0,362 \text{ мм.}$
$[Z_8^{30(3)}] = E^{30(3)} - E^{30(2)}$	$2E^{30(3)}_{min} = 30;$ $2E^{30(3)}_{max} = 30,33;$ $T2E^{30(2)} = 0,21;$ $Z_8^{30(3)}_{min} = 0,04 \text{ мм}$	$2E^{30(2)} = 29,75^{+0,21}$ $Z_8^{35(3)}_{max} = 0,58 \text{ мм.}$
$[Z_8^{30(2)}] = E^{30(2)} - E^{30(1)}$	$2E^{30(2)}_{min} = 29,75;$ $2E^{30(2)}_{max} = 29,96;$ $T2E^{30(2)} = 0,33;$ $Z_8^{30(3)}_{min} = 0,05 \text{ мм}$	$2E^{30(1)} = 29,37^{+0,33}$ $Z_8^{35(2)}_{max} = 0,589 \text{ мм.}$
$[Z_1^{20(3)}] = A^{20(2)} - A^{20(3)} - 1^{20(3)} 2^{15(2)} - 1^{20(2)} 2^{15(2)}$	$2A^{20(3)}_{min} = 215;$ $2A^{20(3)}_{max} = 215,05;$ $1^{20(3)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,01$ $1^{20(2)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,025$ $T2A^{20(2)} = 0,054;$ $Z_1^{20(3)}_{min} = 0,02 \text{ мм}$	$2A^{20(2)} = 215,159_{-0,054}$ $Z_1^{20(3)}_{max} = 0,19 \text{ мм.}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ

Лист

55

Продолжение таблицы 2.11

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_1^{20(2)}] = A^{20(1)} - A^{20(2)} - 1^{20(1)}2^{15(2)} - 1^{20(2)}2^{15(2)}$	$2A^{20(2)}_{min} = 215,105;$ $2A^{20(2)}_{max} = 215,159;$ $1^{20(2)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,025$ $1^{20(1)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,1$ $T2A^{20(1)} = 0,29;$ $Z_1^{20(2)}_{min} = 0,05 \text{ мм}$	$2A^{20(1)} = 215,624_{-0,29}$ $Z_1^{20(2)}_{max} = 0,644 \text{ мм.}$
$[Z_1^{20(1)}] = A^{10} - A^{20(1)} - 1^{20(1)}2^{15(2)} - 2^{15(2)}1^{10}$	$2A^{20(1)}_{min} = 215,334;$ $2A^{20(1)}_{max} = 215,624;$ $1^{20(1)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,1$ $2^{15(2)}1^{10} = 0 \pm 0,025$ $T2A^{10} = 0,46;$ $Z_1^{20(1)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$2A^{10} = 216,309_{-0,46}$ $Z_1^{20(1)}_{max} = 1,1 \text{ мм.}$
$[Z_1^{20(1)}] = A^0 - A^{10} - 1^02^0 - 1^{10}2^5$	$2A^{10}_{min} = 215,849;$ $2A^{10}_{max} = 216,309;$ $1^02^0 = 0 \pm 0,4$ $1^{10}2^5 = 0 \pm 0,15$ $T2A^{10} = 1,15;$ $Z_1^{20(1)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$2A^0 = 218,459^{+0,77}_{-0,38}$ $Z_2^5_{max} = 3,16 \text{ мм.}$
$[Z_9^{20(3)}] = D^{20(3)} - D^{20(2)} - 9^{20(3)}2^{15(2)} - 9^{20(2)}2^{15(2)}$	$2D^{20(3)}_{min} = 110;$ $2D^{20(3)}_{max} = 110,054;$ $9^{20(3)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,0125$ $9^{20(2)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,03$ $T2D^{20(2)} = 0,085;$ $Z_9^{20(3)}_{min} = 0,02 \text{ мм}$	$2D^{20(2)} = 109,8525^{+0,085};$ $Z_9^{20(3)}_{max} = 0,225 \text{ мм.}$
$[Z_9^{20(2)}] = D^{20(2)} - D^{20(1)} - 9^{20(2)}2^{15(2)} - 9^{20(1)}2^{15(2)}$	$2D^{20(2)}_{min} = 109,8525;$ $2D^{20(2)}_{max} = 109,9375;$ $9^{20(1)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,05$ $9^{20(2)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,03$ $T2D^{20(1)} = 0,14;$ $Z_9^{20(2)}_{min} = 0,04 \text{ мм}$	$2D^{20(1)} = 109,2325^{+0,14}$ $Z_9^{20(2)}_{max} = 0,425 \text{ мм.}$
$[Z_9^{20(1)}] = D^{20(1)} - D^{10} - 9^{10}2^5 - 9^{20(1)}2^{15(2)} - 1^{10}2^5 - 2^{15(2)}1^{10}$	$2D^{20(1)}_{min} = 109,2325;$ $2D^{20(1)}_{max} = 109,3725;$ $9^{20(1)}2^{15(2)} = 0 \pm 0,05$ $9^{10}2^5 = 0 \pm 0,05$ $1^{10}2^5 = 0 \pm 0,15$ $2^{15(2)}1^{10} = 0 \pm 0,025$ $T2D^{10} = 0,35;$ $Z_9^{20(1)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$2D^{10} = 108,3575^{+0,35}$ $Z_9^{20(1)}_{max} = 1,44 \text{ мм.}$

Продолжение таблицы 2.11

Исходное уравнение	Известные величины	Рассчитанные размеры
$[Z_{10}^{20(3)}] = \Gamma^{20(3)} - \Gamma^{20(2)}$ $- 10^{20(3)} 2^{15(2)} - 10^{20(2)} 2^{15(2)}$	$2\Gamma^{20(3)}_{min} = 105;$ $2\Gamma^{20(3)}_{max} = 105,035;$ $10^{20(3)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,0125$ $10^{20(2)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,03$ $T2\Gamma^{20(2)} = 0,085;$ $Z_{10}^{20(3)}_{min} = 0,02 \text{ мм}$	$2\Gamma^{20(2)} = 104,8525^{+0,085}$ $Z_{10}^{20(3)}_{max} = 0,244 \text{ мм.}$
$[Z_{10}^{20(2)}] = \Gamma^{20(2)} - \Gamma^{20(1)}$ $- 10^{20(2)} 2^{15(2)} - 10^{20(1)} 2^{15(2)}$	$2\Gamma^{20(2)}_{min} = 104,8525;$ $2\Gamma^{20(2)}_{max} = 104,9375;$ $10^{20(1)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,05$ $10^{20(2)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,03$ $T2\Gamma^{20(1)} = 0,14;$ $Z_{10}^{20(2)}_{min} = 0,04 \text{ мм}$	$2\Gamma^{20(1)} = 104,5925^{+0,14}$ $Z_{10}^{20(2)}_{max} = 0,425 \text{ мм.}$
$[Z_{10}^{20(1)}] = \Gamma^{20(1)} - \Gamma^{10}$ $- 10^{10} 2^5 - 10^{20(1)} 2^{15(2)}$ $- 1^{10} 2^5 - 2^{15(2)} 1^{10}$	$2\Gamma^{20(1)}_{min} = 104,5925;$ $2\Gamma^{20(1)}_{max} = 104,7325;$ $10^{20(1)} 2^{15(2)} = 0 \pm 0,05$ $10^{10} 2^5 = 0 \pm 0,05$ $1^{10} 2^5 = 0 \pm 0,15$ $2^{15(2)} 1^{10} = 0 \pm 0,025$ $T2\Gamma^{10} = 0,35;$ $Z_{10}^{20(1)}_{min} = 0,1 \text{ мм}$	$2\Gamma^{10} = 103,805^{+0,35}$ $Z_{10}^{20(1)}_{max} = 1,265 \text{ мм.}$
$[Z_{10}^{10}] = \Gamma^{10} - \Gamma^0 - 10^0 2^0$ $- 10^{10} 2^5$	$2\Gamma^{10}_{min} = 103,805;$ $2\Gamma^{10}_{max} = 104,155;$ $1^{10} 2^5 = 0 \pm 0,15$ $10^0 2^0 = 0 \pm 0,3$ $T2\Gamma^0 = 0,87;$ $Z_{10}^{10}_{min} = 0,45 \text{ мм}$	$2\Gamma^0 = 102,06^{+0,29}_{-0,58}$ $Z_2^{10}_{max} = 3,16 \text{ мм.}$

По результатам размерного анализа представлена заготовка в соответствии с рисунком 2.12 с минимальными припусками под обработку.

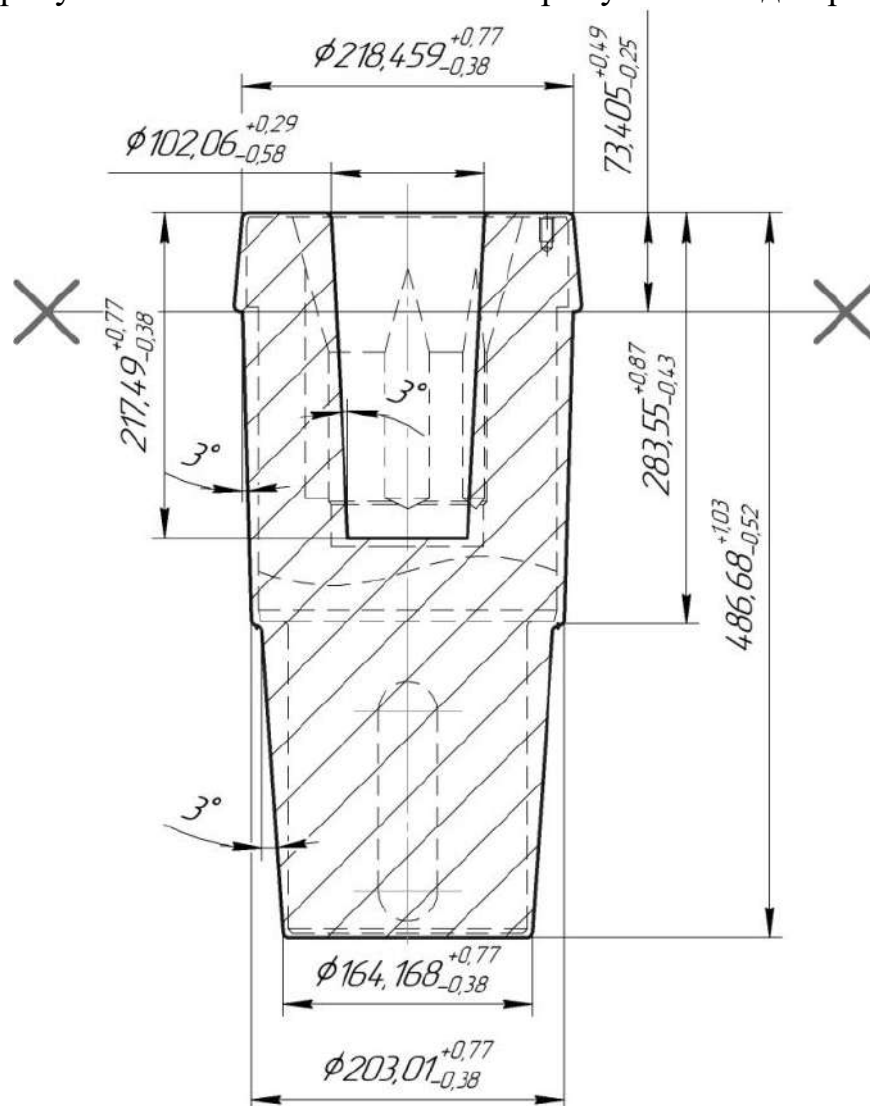


Рисунок 2.12 – Эскиз заготовки

### 2.3.5 Расчет режимов резания и норм времени

Расчет режимов резания табличным методом ведется на операцию 005 Токарно-винторезную. На токарно-винторезном станке модели 16Б20ВФ1 точится поверхность диаметром 164,168 мм до диаметра 161,518 мм. Припуск на обработку  $2 P_{\text{общ}} = 2,65$  мм. Параметр шероховатости  $R_a 12,5$ .

Исходные данные:

Приспособление – пневматический трехкулачковый патрон.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58



Режущий инструмент – токарный, проходной, упорный резец  
ГОСТ 18879-73.

Материал режущей части – пластина твердого сплава Т15К6.

Материал заготовки – сталь 40Х твердостью НВ 207.

Для заточки и обработки принимаем следующие геометрические параметры:  $\varphi = 60^\circ, \varphi_1 = 15^\circ, \gamma = 10^\circ, \alpha = 8^\circ, r = 1, \lambda = 5^\circ, f = 0,6 \text{ мм}, \gamma_f = -5^\circ$

Форма заточки передней поверхности принимаем: плоскую с положительным передним углом и отрицательной фаской по ГОСТ 18869-73.

При шероховатости  $R_a = 12,5 \text{ мкм}$ , что соответствует черновой обработке, припуск  $h = 1,325 \text{ мм}$  удаляют в один проход. Находим припуск на обработку:

$$h = \frac{D - D_1}{2} = \frac{164,168 - 1601,518}{2} = 1,325 \text{ мм}$$

Найдя припуск на обработку, находим глубину резанья,  $t = 1,325 \text{ мм}$ .

Длина рабочего хода  $L_{р.х.}$ , мм, вычисляется по формуле

$$L_{р.х.} = L_{рез} + y, \quad (2.9)$$

где  $L_{рез}$  – длина резания,  $L_{рез} = 208 \text{ мм}$ ;

$y$  – длина подвода, врезания и перебега инструмента,  $y = 6 \text{ мм}$ .

$$L_{р.х.} = 208 + 6 = 214 \text{ мм}.$$

Подача  $S_o$ , мм/об.

При точении рекомендуется  $S_o = 0,3 \dots 0,5 \text{ мм/об}$ .

Принимается  $S_o = 0,4 \text{ мм/об}$ .

Стойкость инструмента  $T$ , мин.,  $T = 60 \text{ мин}$ .

Скорость резания  $V$ , м/мин, вычисляется по формуле

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.10)$$

где  $V_{табл}$  – табличная скорость, м/мин,  $V_{табл} = 54$  [11, табл. 3.33];

$K_1$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала,

$$K_1 = 1 \text{ [11, табл. 3.33];}$$

$K_2$  – коэффициент, зависящий от стойкости инструмента,

$$K_2 = 0,9 \text{ [11, табл. 3.33];}$$

$K_3$  – коэффициент, зависящий от отношения длины резания к диаметру,

$$K_3 = 0,9 \text{ [11, табл. 3.33].}$$

$$V = 54 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 43,74 \text{ м/мин}.$$

Частота вращения  $n$ , об/мин вычисляется по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (2.11)$$

где  $d$  – диаметр заготовки,  $d = 164,168 \text{ мм}$ .

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$n = \frac{1000 \cdot 43,74}{3,14 \cdot 164,168} = 84,852 \text{ об/мин.}$$

После корректировки по паспорту станка принимается окончательно  $n = 80$  об/мин.

Определяем действительную скорость резания  $v_d$ , м/мин, по формуле

$$v_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.12)$$

$$\text{Тогда } v_d = \frac{3,14 \cdot 164,168 \cdot 80}{1000} = 41,24 \text{ м/мин.}$$

Основное технологическое время  $T_0$ , мин, определяем по формуле

$$T_0 = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_0 \cdot n} \quad (2.13)$$

$$\text{Тогда } T_0 = \frac{214}{0,4 \cdot 80} = 6,69 \text{ мин.}$$

Определяем эффективную мощность резания  $N_{\text{эф}}$ , кВт по формуле

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z \cdot v_d}{60 \cdot 1020}, \quad (2.14)$$

где  $P_z$  – составляющая силы резания, определяется по формуле

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_{PZ}, \quad (2.15)$$

где  $C_p$  – постоянный коэффициент,  $C_p = 300$  [2, табл. 22, с. 273];

$x, y, n$  – показатели степени,  $x = 1$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$  [2, табл. 22, с. 273].

$K_p$  – поправочный коэффициент для стали 40Х, учитывающие фактические условия резания, [2, табл. 23, с. 275], определяется по формуле

$$K_{PZ} = K_{Mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{hp} \times K_{rp} \quad (2.16)$$

где  $K_{Mp}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние обрабатываемого материала на силу резания,  $K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{630}{750}\right)^{0,75} = 0,88$  [2, табл. 9, с. 264];

$K_{\varphi p}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане резца на силу резания,  $K_{\varphi p} = 0,94$  [2, табл. 23, с. 275];

$K_{\gamma p}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние переднего угла резца на силу резания,  $K_{\gamma p} = 1$  [2, табл. 23, с. 275];

$K_{\lambda p}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главного лезвия на силу резания,  $K_{\lambda p} = 1$  [2, табл. 23, с. 275];

$K_{hp}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние износа по задней поверхности на силу резания,  $K_{hp} = 1,05$  [2, табл. 23, с. 275];

$K_{rp}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине резца на силу резания,  $K_{rp} = 0,93$  [2, табл. 23, с. 275].

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$K_{Pz} = 0,88 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1,05 \times 0,93 = 0,81.$$

$$\text{Тогда } P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,325^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 41,65^{-0,15} \cdot 0,81 = 1869,9 \text{ Н.}$$

$$\text{Следовательно, } N_{\text{эф}} = \frac{1869,9 \cdot 41,65}{60 \cdot 1020} = 1,27 \text{ кВт.}$$

Проверяем, достаточна ли мощность привода станка для обработки. Обработка возможна, если выполняется условие  $N_{\text{эф}} \leq N_{\text{шт}}$ .

$$\text{Мощность на шпинделе станка } N_{\text{шт}} = \eta \times N_{\text{дв}}, \eta = 0,75; N_{\text{дв}} = 10 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{шт}} = 0,75 \times 10 = 7,5 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{эф}} \leq N_{\text{шт}}$$

$$1,27 \text{ кВт} < 7,5 \text{ кВт}$$

Следовательно, станок подходит. Условие выполняется, следовательно, режим резания выбран правильно.

Результаты расчётов режимов резания на остальные операции приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Сводная таблица режимов резания

Операции/ переход	<i>i</i>	При пуск t, мм	Подача <i>S</i> <sub>o</sub> , мм/об	Скорость резания <i>V</i> , м/мин	Частота вращени я <i>n</i> , мин <sup>-1</sup>
005 Токарно-винторезная:					
– черновое обтачивание 478;	1	0,97	0,5	80	160
– черновое обтачивание Ø160;	1	1,32	0,4	41,24	80
– черновое обтачивание Ø200	1	0,8	0,4	42	80
010 Токарно-винторезная:					
– черновое обтачивание 478;	1	2,5	0,5	80	160
– черновое обтачивание Ø215;	1	1,1	1,2	67,86	100
– черновое растачивание Ø 105;	1	0,39	0,8	80,54	250
– черновое растачивание Ø 110	4	0,44	0,8	84,47	250
015 Токарно-винторезная:					
– получистовое обтачивание правый торец размера 478;	1	2,15	0,5	108,02	160
– чистовое обтачивание правый торец размера 478	1	1,23	0,5	108	160
– получистовое обтачивание Ø160;	1	0,5	0,5	102,56	200
– чистовое обтачивание Ø160;	1	0,21	0,075	201,08	400
– чистовое обтачивание фаски 3 × 45°;	1	0,2	0,4	62,8	125
– чистовое обтачивание Ø200;	1	0,4	0,15	157,47	250
– чистовое обтач. фаски 5 × 15°;	1	0,2	0,6	50,24	80

Продолжение таблицы 2.12

Операции/ переход	<i>i</i>	При пуск <i>t</i> , мм	Подача <i>S<sub>o</sub></i> , мм/об	Скорость резания <i>V</i> , м/мин	Частота вращени я <i>n</i> , мин <sup>-1</sup>
020 Токарно-винторезная:					
– чистовое растачивание Ø 105;	3	0,13	1,2	82,43	250
– чистовое растачивание Ø 110 × 15°	1	0,31	1	86,35	250
– получистовое обтачивание Ø215;	4	0,33	0,2	135,52	200
– чистовое обтачивание Ø215;	2	0,24	0,15	168,78	250
– получистовое обтачивание левый торец размера 478;	2	0,85	0,5	108,02	160
– чистовое обтачивание левый торец размера 478	1	0,85	0,5	108	160
025 Сверлильная:					
– сверление 6 отверстий Ø 9;	1	4,2	0,16	3,9	150
– нарезать резьбу 6 отверстий M10 × 6 – 7H	1	0,1	0,2	4	150
030 Фрезерная:					
– фрезерование 6 отверстий Ø 30;	1	0,7	0,2	7,04	80
– черновое зенкерование 6 отверстий Ø 30;	1	0,69	0,2	57	100
– развертывание 6 отверстий Ø 30	1	0,18	0,2	57	100
035 Вертикально-фрезерная:					
– сверление Ø 40;	1	13	0,2	5,4	100
– черновое фрезерование шпоночного паза 160 × 13 × 20;	1	13	201,83	18,79	149,61
– чистовое фрезерование шпоночного паза 160 × 13 × 20	1	13	201,83	18,79	149,61
050 Шлифовальная:					
– чистовое шлифование Ø200	10	0,01	0,3	25	1592
– чистовое шлифование Ø160;	7	0,02	0,3	20	1274

Нормирование операций производим по справочнику [2].

Рассмотрим операцию 005 Токарно-винторезную.

Основное (машинное) время обтачивания определяется расчетным путем по формуле

$$T_0 = \frac{Li}{nS_0} = \frac{L + y + \Delta}{n_d S_0}, \quad (2.17)$$

где  $L$  – путь, проходимый инструментом в направлении подачи;

$i$  – число проходов,  $i = 1$ ;

$y$  – врезание,  $y = t \cdot ctg \varphi = 3,2 \cdot ctg 60^\circ = 3,2 \cdot 0,6 = 2$  мм;

$\Delta$  – перебег,  $\Delta = 1 \dots 3$  мм.

$$T_0 = \frac{208 + 2 + 2}{100 \cdot 0,6} = 3,53 \text{ мин}$$

Штучное время на операцию определяется по формуле

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{обс} + T_{п} \quad (2.18)$$

где  $T_0$  – основное (машинное) время;

$T_B$  – вспомогательное время;

$T_{обс}$  – время на обслуживание станка;

$T_{п}$  – время на перерывы.

Вспомогательное время операции определяется по формуле

$$T_B = t_{уст} + t_{пер} + t_{изм}, \quad (2.19)$$

где  $t_{уст}$  – вспомогательное время на установку и снятие детали;

$t_{пер}$  – вспомогательное время, затрачиваемое на переходы;

$t_{изм}$  – вспомогательное время, затрачиваемое на измерение обработанных поверхностей при выключенном станке.

По рекомендациям выбираем вспомогательное время на операцию [12]:

Вспомогательное время на установку и снятие детали в специальных приспособлениях – 0,121 мин;

Очистка приспособления от стружки сжатым воздухом – 0,08 мин;

Вспомогательное время связанное с переходом – 0,4 мин;

Поставить и снять щиток ограждения от стружки – 0,07 мин;

Время на контроль и измерение – 0,3 мин.

$$T_B = 0,121 + (0,08 + 0,4 + 0,7) + 0,3 = 1,60 \text{ мин}$$

Оперативное время определяется по формуле

$$T_{оп} = T_0 + T_B \quad (2.20)$$

$$T_{оп} = 3,53 + 1,601 = 5,13 \text{ мин}$$

Время на обслуживание станка определяется по формуле

$$T_{обс} = 4\% \cdot T_{оп} \quad (2.20)$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$T_{обс} = 4\% \cdot 5,13 = 0,21 \text{ мин}$$

Время на перерывы определяется по формуле

$$T_{п} = 4\% \cdot T_{оп}; \quad (2.21)$$

$$T_{п} = 4\% \cdot 5,13 = 0,21 \text{ мин.}$$

$$T_{шт} = 3,53 + 1,60 + 0,21 + 0,21 = 5,55 \text{ мин}$$

Подготовительно – заключительное время на наладку станка, инструмента определяем по [12],  $T_{пз} = 10$  мин. Также в подготовительно-заключительное время войдет время на установку и снятие многошпиндельной головки по нормативу 20 мин, получаем  $T_{пз} = 30$  мин.

Аналогично рассчитываются нормы времени на остальные операции. Результаты расчётов приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Расчёт норм времени на изготовление детали

Название операции	$T_o$	$T_v$	$T_{обс}$	$T_{п}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$
005 Токарно-винторезная	8,24	1,12	0,2	0,2	9,76	20
010 Токарно-винторезная	9,89	2,52	0,2	0,2	12,81	20
015 Токарно-винторезная	24,31	0,5	0,2	0,2	25,21	20
020 Токарно-винторезная	20,4	2,7	0,2	0,2	23,5	20
025 Сверлильная	20	5	0,2	0,2	25,4	20
030 Фрезерная	27,25	15	0,2	0,2	42,65	30
035 Вертикально-фрезерная	2,75	0,5	0,21	0,21	3,67	20
050 Шлифовальная	83,515	1,1	0,21	0,21	85,035	20

Вывод:

В данном разделе проведен анализ действующего технологического процесса. Разработан проектный технологический процесс изготовления детали «Вал».

Для проектного технологического процесса произведен анализ технологичности детали. Обоснован выбор метода получения исходной заготовки. Определен способ обработки и количество переходов, а также последовательность обработки детали «Вал». Произведен размерный анализ разработанного технологического процесса. Выполнен расчёт режимов резания изготовления детали «Вал». Результаты расчётов режимов резания для всех обрабатываемых поверхностей сформированы в таблицу. Произведено нормирование технологических операций.

### 3 Конструкторская часть

#### 3.1 Проектирование пневматического трехкулачкового патрона для закрепления заготовок

##### 3.1.1 Разработка теоретической схемы базирования

В существующем технологическом процессе изготовления детали «Вал» применяется следующее приспособление для закрепления заготовок на операции 005 – 010 патрон пневматический трехкулачковый ГОСТ 2675-80.

На операции 005 токарной заготовка устанавливается в пневматическом трехкулачковом патроне. Теоретическая схема базирования представлена в соответствии с рисунком 3.1.

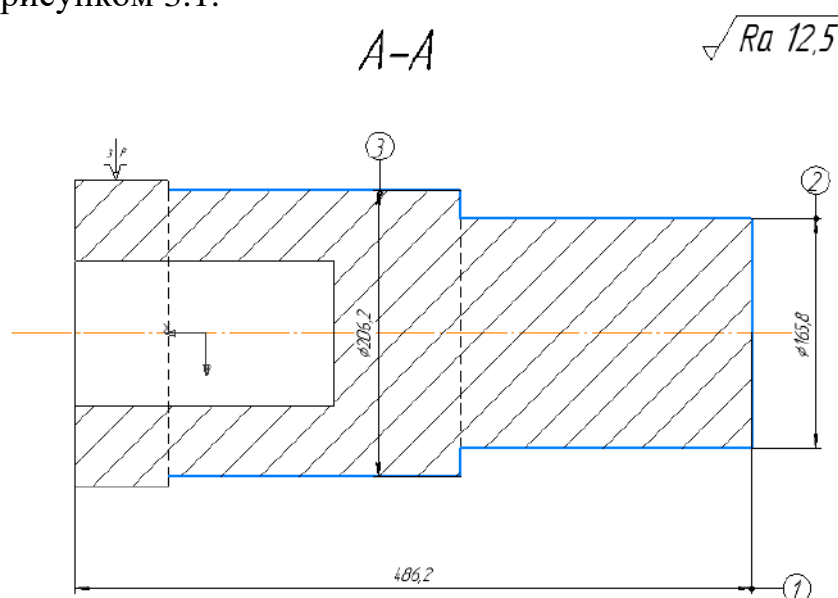


Рисунок 3.1 – Теоретическая схема базирования

Технологическая база – цилиндрическая поверхность, которая является двойной направляющей базой и лишает заготовку четырех степеней свободы: двух вращений и двух перемещений относительно осей «X» и «Y». После закрепления заготовка лишается всех шести степеней свободы.

Таким образом, условие лишения заготовки шести степеней свободы выполнено.

### 3.1.2 Проектирование схемы приспособления

Трехкулачковый патрон является одной из разновидностей кулачков для токарных станков. Они предназначены для зажима заготовок различной формы, будь то цилиндрические, прямоугольные или другие варианты. Используются на мелкосерийных, единичных и серийных производствах. Трехкулачковый самоцентрирующийся патрон не требует времени на переналадку при смене заготовки на другой диаметр.

Зажим заготовки осуществляется одновременно всеми кулачками.

При движении поршня влево шток 6 перемещает втулку 8 влево. Втулка 8 за счет косых пазов, передвигает три корпуса кулачка 13, поворачивая [16].

При раскреплении воздух подается через дроссель в левую камеру пневмокамеры.

Для определения диаметра поршня нужно определить усилие на штоке. Силу  $Q$  на штоке пневматического привода для кулачковых патронов с клиновым зажимом определяют исходя из требуемой силы закрепления обрабатываемой заготовки.

Схема приспособления патрона пневматического трехкулачкового представлена в соответствии с рисунком 3.2.

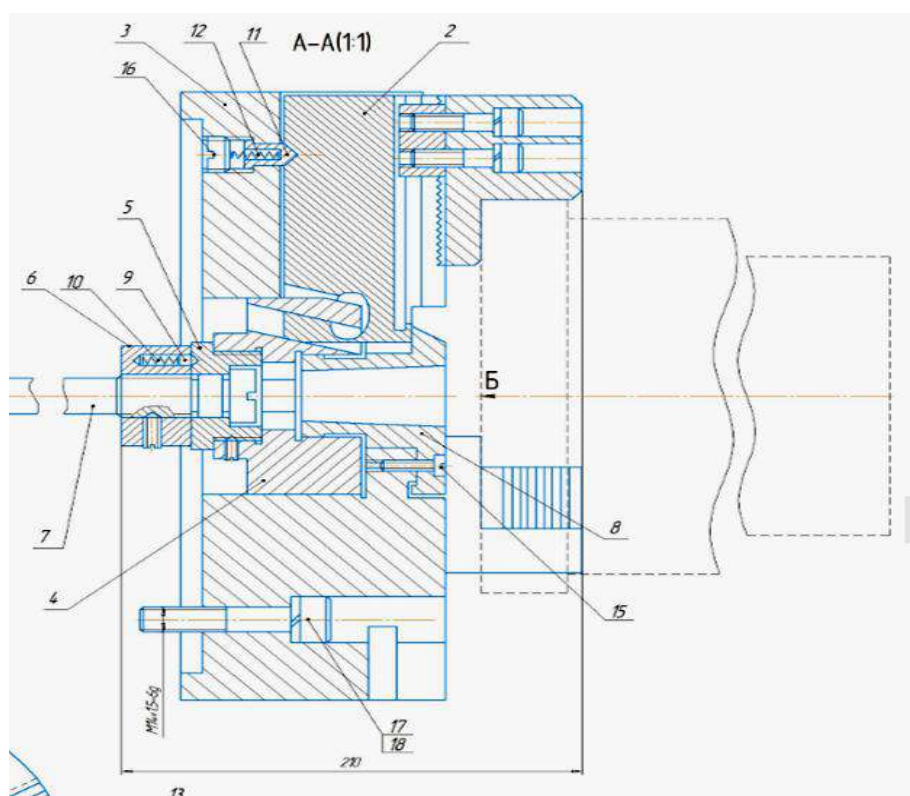


Рисунок 3.2 – Схема приспособления патрон пневматический трехкулачковый

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66



### 3.1.3 Силовой, кинематический, прочностной расчет основных элементов приспособления

Для определения диаметра поршня нужно определить усилие на штоке. Силу  $Q$  на штоке пневматического привода для кулачковых патронов с клиновым зажимом определяют исходя из требуемой силы закрепления обрабатываемой заготовки.

Сила закрепления  $W_{\text{сум}}$  заготовки в патроне всеми кулачками в основном зависит от силы резания и коэффициента трения между поверхностью кулачков и обрабатываемой заготовки [16].

Сила закрепления  $W_{\text{сум}}$  определяется по формуле

$$W_{\text{сум}} = \frac{D_0 \cdot P_z}{D \cdot z \cdot f} \quad (3.1)$$

где  $D_0$  – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм,  $D_0 = 165,8$ ;  
 $P_z$  – сила резания, Н, [2] значение принимаем из расчета режима резания для операции 010 черновое точение

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,7^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 41,65^{-0,15} \cdot 0,81 = 1869,9 \text{ Н.}$$

$D$  – диаметр поверхности заготовки за которую производится закрепление, мм,  $D = 220,8$ ;

$z$  – количество кулачков,  $z = 3$ ;

$f$  – коэффициент трения между кулачками и поверхностью обрабатываемой заготовки,  $f = 0,5$ .

$$W_{\text{сум}} = \frac{165,8 \cdot 1869,9}{220,8 \cdot 3 \cdot 0,5} = 2808,24 \text{ Н.}$$

Потребная сила  $Q$  на штоке пневматического привода патрона определяется по формуле

$$Q = 3k \left( 1 + \frac{3a\mu}{h} \right) \cdot \text{tg}(\beta + \varphi) \cdot W_{\text{сум}}, \quad (3.2)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий дополнительные силы трения в патроне,  $k = 1,05$ [2];

$a$  – вылет кулачка от его опоры до центра приложения силы на одном кулачке, мм,  $a = 75$ ;

$\mu$  – коэффициент трения между кулачками и пазами корпуса патрона,  $\mu = 0,15$ ;

$h$  – высота направляющих кулачков, находящихся в контакте с корпусом патрона, мм,  $h = 115$ ;

$\beta$  – угол наклона пазов в скользящей муфте, град,  $\beta = 15^\circ$ ;

$\varphi$  – угол трения в механизме патрона, град,  $\varphi = \text{arctg } 0,1 = 5,71$ .

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

$$Q = 3 \cdot 1,05 \left( 1 + \frac{3 \cdot 75 \cdot 0,15}{115} \right) \cdot \operatorname{tg}(15 + 5,71) \cdot 2808,24 = 4222,2 \text{ Н.}$$

Определяем диаметр поршня [16] из формулы

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot P \cdot n, \quad (3.3)$$

где  $D$  – диаметр поршня, см;  
 $d$  – диаметр штока, см,  $d = 5$  см;  
 $P$  – давление сжатого воздуха,  $P = 4$  МПа;  
 $n$  – коэффициент,  $n = 0,85$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot n}} - d = \sqrt{\frac{4 \cdot 4222,2}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,85}} - 5 = 34,8 \text{ см} \approx 350 \text{ мм.}$$

Принимаем диаметр поршня 350 мм.

Ход поршня цилиндра рассчитывается по формуле

$$S_Q = \frac{S_w}{i_n} + 10 \dots 15 \quad (3.4)$$

где  $S_w$  – свободный ход кулачков.  $S_w = 5$  мм;  
 $i_n$  – передаточное отношение зажимного механизма по перемещению,  
 $i_n = 0,5$ .

$$S_Q = \frac{5}{0,5} + 10 = 20 \text{ мм.}$$

### 3.1.4 Компоновка зажимного приспособления, описание устройства и принципа работы

Применение трехкулачковых патронов позволяет производить обработку на высоких скоростях вращения, обеспечивает точность установки и необходимое усилие зажима.

Трехкулачковый патрон является одним из основных элементов техоснастки и необходим для надежного крепления заготовок различного размера и формы на шпиндель. Высокая точность зажима обеспечивает центрование и перпендикулярность поверхности оси обработки. Патрон необходим для проведения практически всех токарных операций, входит в

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

обязательный комплект оснастки металлообрабатывающих ручных, полуавтоматических и автоматических станков.

Патроны предназначены для зажима деталей на станках токарной группы: токарные, револьверные, внутришлифовальные станки (универсальные и полуавтоматы с ЧПУ), делительные головки. 3-х кулачковые самоцентрирующиеся токарные патроны, имеют диаметр в диапазоне 80 – 400 мм согласно ГОСТ 2675-80 и классы точности Н, П, В, А согласно ГОСТ 1654-86.

Компоновка патрона самоцентрирующегося трехкулачкового ГОСТ 2675-80 представлена в соответствии с рисунком 3.3. Конструкция патрона пневматического трехкулачкового самоцентрирующегося представлена в соответствии с рисунком 3.4.

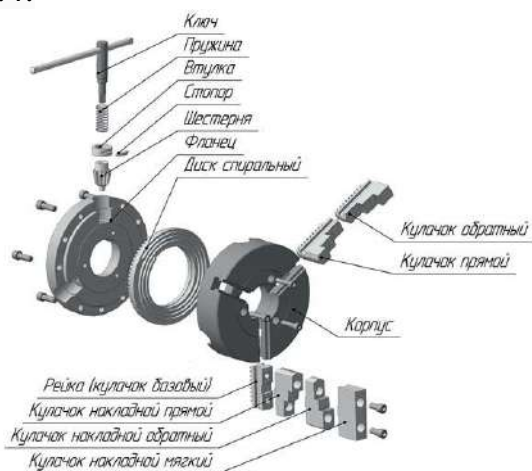


Рисунок 3.3 – Патрон самоцентрирующий трехкулачковый ГОСТ 2675-80. Тип 3 – установка на конус шпинделя

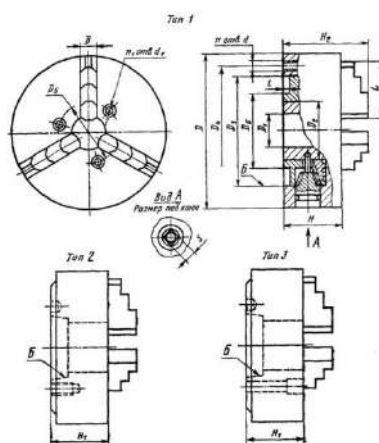


Рисунок 3.4 – Конструкция патрона пневматического трехкулачкового самоцентрирующегося

Чертеж станочного приспособления «Трехкулачковый патрон с пневматическим зажимом» представлен в соответствии с рисунком 3.5.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

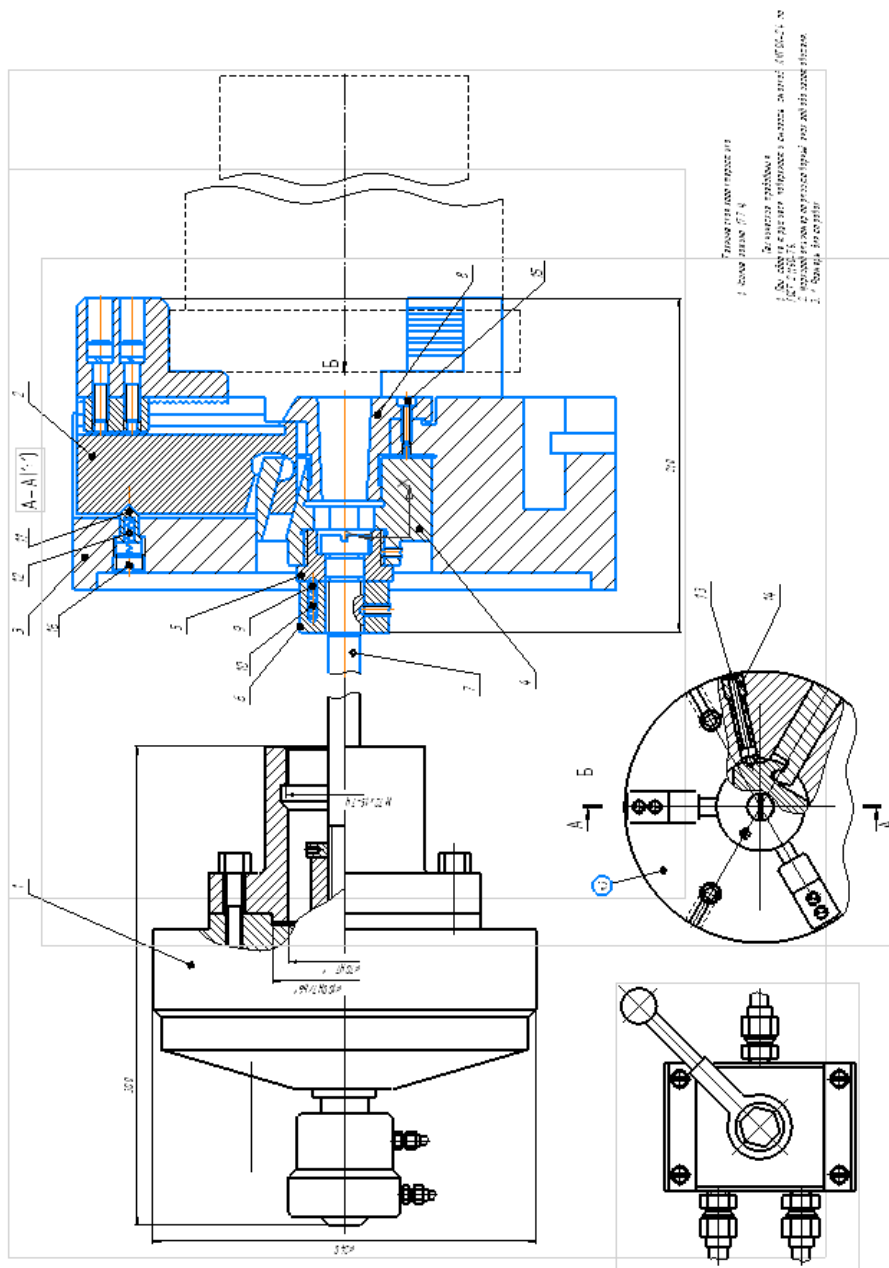


Рисунок 3.5 – Чертеж станочного приспособления «Трехкулачковый патрон с пневматическим зажимом»

### 3.1.5 Расчет приспособления на точность

При расчете на точность суммарная погрешность при обработке детали не должна превышать величины допуска  $T$  размера [2].

Суммарная погрешность зависит от ряда факторов и в общем случае точность приспособления рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{пи}}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)^2}, \quad (3.4)$$

где  $T$  – допуск выполняемого размера, мм;

$K_T$  – коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения,

$$K_T = 1 \dots 1,2;$$

$k_{T1}$  – коэффициент, учитывающий уменьшение предельного значения погрешности базирования на настроенных станках,  $k_{T1} = 0,8$ ;

$k_{T2}$  – коэффициент, учитывающий долю погрешности обработки в суммарной погрешности, вызываемой факторами, не зависящими от приспособления,  $k_{T2} = 0,6$ ;

$\varepsilon_6$  – погрешность базирования,  $\varepsilon_6 = 0$ , деталь закрепляется в центрах [2, табл. 18, с. 45];

$\varepsilon_3$  – погрешность закрепления,  $\varepsilon_3 = 0$  [2, табл. 16, с. 44];

$\varepsilon_y$  – погрешность установки приспособления на станке,  $\varepsilon_y = 0,025$  мм, так как патрон устанавливается в шпиндель с конусом Морзе №6 [2, табл. 13, с. 42];

$\varepsilon_{\text{и}}$  – погрешность положения детали из-за износа установочных элементов приспособления,  $\varepsilon_{\text{и}} = 0,014$  мм [2, табл. 15, с. 41];

$\varepsilon_{\text{пи}}$  – погрешность смещения режущего инструмента,  $\varepsilon_{\text{пи}} = 0$  мм, так как отсутствуют направляющие элементы в приспособлении;

$\omega$  – экономическая точность обработки,  $\omega = 0,074$ .

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0,4 - 1 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0,025^2 + 0,014^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 0,074)^2} = 0,35.$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

### 3.2 Проектирование многошпиндельной головки для обработки шести глухих отверстий под резьбу М10×6-7Н

Многошпиндельные сверлильные головки применяются для одновременной обработки нескольких отверстий. В данном случае проектируем специальную сверлильную головку с постоянным расстоянием между осями, для сверления 6 отверстий.

Исходя из условий обработки (отверстия образованы на торце детали, оси направлены параллельно оси детали) выбираем конструкцию привода – шестеренчатый. По рекомендуемой последовательности проектирования многошпиндельных головок [16] приведем кинематическую схему используя требования [16]. Ось ведущего шпинделя размещаем в центре головки, то есть в точки приложения равнодействующей сил подачи режущих инструментов. Элементы режимов резания для сверления одного отверстия найдены в технологическом разделе: подача  $S = 0,16$  мм/об, число оборотов  $n = 150$  об/мин, скорость  $V_{рез} = 3,9$  м/мин.

Определим силы подачи, крутящих моментов и потребной мощности.

Крутящий момент определяется по формуле

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{Mp}, \quad (3.5)$$

где  $C_M$  – коэффициент,  $C_M = 0,0345$ ;

$q, y$  – показателей степени,  $q = 2, y = 0,8$ ;

$K_{Mp}$  – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого

$$\text{материала, } K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{635}{750}\right)^{0,75} = 0,88.$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 9^2 \cdot 0,16^{0,8} \cdot 0,88 = 5,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Осевая сила определяется по формуле

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{Mp}, \quad (3.6)$$

где  $C_p$  – коэффициент,  $C_p = 68$ ;

$q, y$  – показателей степени,  $q = 1, y = 0,7$ ;

$K_{Mp}$  – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого

$$\text{материала, } K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{635}{750}\right)^{0,75} = 0,88.$$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 9^1 \cdot 0,16^{0,7} \cdot 0,88 = 1507,97 \text{ Н}.$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

Мощность резания определяется по формуле

$$N_c = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, \quad (3.7)$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент, Н·м;  
 $n$  – частота вращения, об/мин.

$$N_c = \frac{5,66 \cdot 150}{9750} = 0,087 \text{ кВт.}$$

Осевая сила  $P_o = 1507,97$  Н, общий крутящий момент  $M_{кр} = 5,66$  Н·м, общая мощность  $N = 0,087$  кВт.

Суммарная мощность головки определяется по формуле

$$N_{гол} = \frac{N}{\eta_{гол}}, \quad (3.8)$$

где  $\eta_{гол}$  – коэффициент полезного действия механизма станка, для головки сверлильной  $\eta_{гол} = 0,8$ .

$$N_{гол} = \frac{0,087}{0,8} = 0,109 \text{ кВт.}$$

Суммарная мощность, потребляемая всеми режущими инструментами головки при работе не должна превышать мощность сверлильного станка

$$N_{ст} \geq \frac{N_{гол}}{\eta_{ст}}, \quad (3.8)$$

где  $N_{ст}$  – мощность электродвигателя станка,  $N_{ст} = 4$  кВт.  
 $\eta_{ст}$  – коэффициент полезного действия механизма станка, для сверлильных станков  $\eta_{ст} = 0,8$ .

$$4 \geq \frac{0,109}{0,8} = 0,136 \text{ – условие выполняется.}$$

### 3.2.1 Разработка кинематической схемы многошпиндельной головки

Следуя рекомендациям [17] принимаем прототип головки, имеющей кинематическую схему, показанную в соответствии с рисунком 3.6. Насадка предназначена для одновременного сверления близкорасположенных отверстий. Вращение производится поводком. Все шпиндели связаны одним водилом. Эксцентриситеты водила и шпинделей равны.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

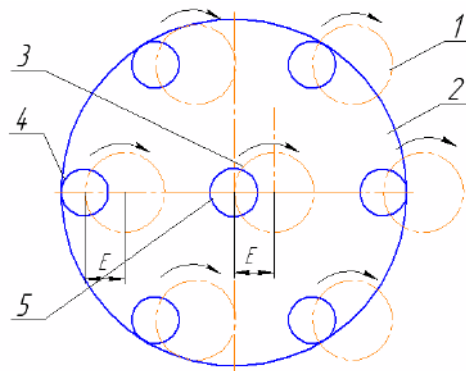


Рисунок 3.6 – Кинематическая схема шестишпindelной сверлильной головки

Кинематическая схема шестишпindelной сверлильной головки:

1 – траектория вращения кривошипа шпинделей; 2 – водило; 3 – траектория вращения водила; 4 – кривошип шпинделей; 5 – кривошип водила.

### 3.2.2 Подбор подшипников головки

Подбор подшипников осуществляем исходя из конструктивных соображений и долговечности подшипника, что обеспечивается запасом по грузоподъемности. Ориентировочное ресурсное время работы головки 10000 часов.

Так как сила в зацеплении с рабочим шпинделем  $F_t = 530$  Н, то в зависимости от принятого диаметра вала принимаем по ГОСТ 8338-75 подшипник легкой серии номер 203 со статической радиальной грузоподъемностью  $C_0 = 12,7$  кН, динамической грузоподъемностью  $C = 6,2$  кН с размерами: ширина  $B = 8$  мм, наружный диаметр  $D = 26$  мм,  $d = 12$  мм.

Определим расчетный ресурс (долговечность) подшипника

$$L_{ah} = a_1 \cdot a_{23} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^h \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (3.9)$$

где  $C$  – базовая динамическая грузоподъемность, Н;

$P$  – радиальная нагрузка, Н;

$K$  – показатель степени, для шариковых подшипников  $K = 3$ ;

$n$  – частота вращения кольца,  $n = 100$  об/мин;

$a_1$  – коэффициент долговечности,  $a_1 = 0,21$ ;

$a_{23}$  – коэффициент, учитывающий влияние свойств металла подшипников и условия их эксплуатации,  $a_{23} = 0,7$ .



$L_{ah} = 0,21 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{6200}{530}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 355} = 1,1 \cdot 10^4$  ч, что больше требуемого ресурса.

Сила в подшипнике водила будет равна силе резания от всех шпинделей.  $F = 3180$  Н, принимаем шариковый радиальный подшипник 205 со статической радиальной грузоподъемностью  $C_0 = 25,5$  кН, динамической грузоподъемностью  $C = 19,8$  кН по ГОСТ 8338-75.

$L_{ah} = 0,21 \cdot 0,7 \cdot \left(\frac{25500}{3180}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 500} = 1,3 \cdot 10^4$  ч, что больше требуемого ресурса.

Упорный подшипник рабочих шпинделей принимаем по ГОСТ 7872-89 со статической грузоподъемностью 10 кН номер 8202Н, с размерами:  $d = 10$  мм, наружный диаметр  $D = 25$  мм, ширина  $H = 8$  мм.

Принимаем рекомендуемые посадки колец подшипников качения в корпус и на вал по [17].

### 3.2.3 Компоновка многошпиндельной головки

В соответствии с рисунком 3.7 показана многошпиндельная головка для одновременного сверления 6-ти отверстий диаметром 9 мм.

В корпусе поз.2 на подшипниках поз. 23 и поз.24 установлены шпиндели поз.50. Подшипники поз.23 воспринимают осевую нагрузку от шпинделей через шайбы поз.8. Крышки поз.5 закрывают камеры шпинделей, крепятся винтам поз.17 к корпусу поз.2.

Шпиндели выполнены с кривошипами, вращающимися от водила поз.30, которое в свою очередь вращается от поводка поз.1 и установлено с эксцентриситетом.

Поводок поз.1 вращается на подшипниках поз.25, запрессованных в хомуте поз.10. Поводок крепится гайкой поз.22 и пластиной поз.7. Корпус поз.2 напрессован на хомут поз.10. Балансир поз.40 служит для устранения дисбаланса при вращении поводка. Пластина поз.9 закрывает смотровое окно. Плита кондукторная поз.20 установлена на скалках с пружинами и закреплена гайками поз.21. В шпиндели установлены быстросменные втулки крепления инструмента.

											15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								75

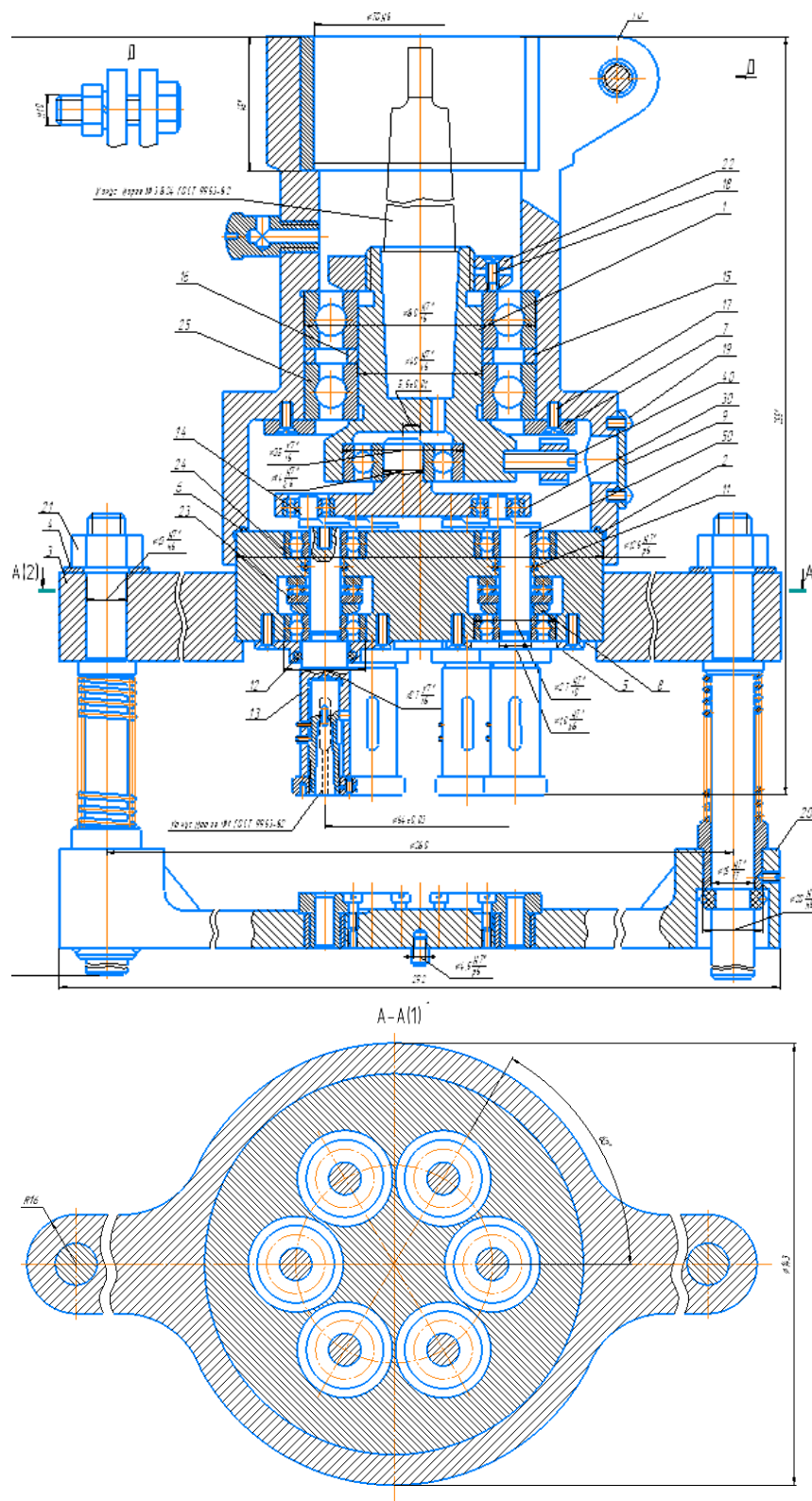


Рисунок 3.7 – Многошпиндельная головка для сверления 6-ти отверстий

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

### 3.3 Описание работы приспособления для контроля радиального и торцевого биения валов

#### 3.3.1 Разработка схемы замера

На схеме измерения представленной в соответствии с рисунком 3.8 измерение биения производится при вращении детали в корпусе приспособления. При снятии замеров по данной схеме контроля измерительная головка показывает истинное значение контролируемого параметра.



Рисунок 3.8 – Схема измерения

#### 3.3.2 Компоновка приспособления

Приспособление для контроля валов в центрах, позволяющее проводить измерение отклонений от круглости, цилиндричности профиля продольного сечения, торцевого и радиального биений представлено в соответствии с рисунком 3.9 [16].

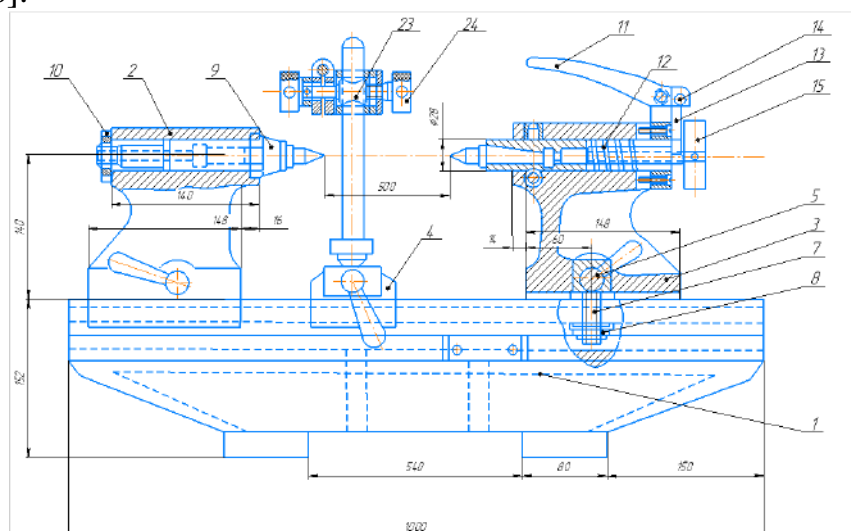


Рисунок 3.9 – Приспособление для контроля радиального и торцевого биения валов

Приспособление для контроля радиального и торцевого биения валов состоит: 1 – основание, 2 – левая бабка, 3 – правая бабка, 4 – подвижная каретка, 5 – рукоятка, 6 – шейки валика, 7 – болт, 8 – гайка, 9 – пиноль, 10 – гайка, 11 – рукоятка, 12 – пружина, 13 – вилка, 14 – штифт, 15 – хвостовик, 16 – рукоятка, 17 – сухарь, 18 – втулка, 19, 20 – винт, 21, 22 – державка, 23 – ползушка, 24 – винт.

На мощном литом основании 1, имеющем в верхней части направляющие, установлены две бабки 2, 3 с центрами и подвижная каретка 4 со стойкой, в которой крепится ИГ. Для предварительной настройки на размер L, где L – длина контролируемого вала, бабки могут перемещаться по направляющим основания и фиксироваться в нужном положении с помощью рукоятки 5, эксцентричной шейки валика 6, болта 7 и гайки 8. Левая бабка 2 имеет неподвижный центр, установленный в коническое отверстие пиноли 9, которая закреплена в отверстии бабки гайкой 10. Правая бабка имеет подвижный в осевом направлении центр, который вставляется в пиноль. Пиноль поджата пружиной 12 и с помощью рукоятки 11 и вилки, 13 соединенных штифтом 14 и воздействующих на хвостовик 15, перемещает центр при установке контролируемого вала. Фиксация подвижного центра в нужном положении осуществляется рукояткой 16, завинченной на сухарь 17, и втулкой 18. Крепление ИГ на стойке обычное – с помощью винтов 19 и 20, двух державок 21 и 22 и ползушки 23 с винтами 24. Стойка ИГ имеет возможность перемещения в пазу каретки 4 и закрепляется в ней двумя гайками: нижней – 25 и верхней 26.

Прибор предназначен для проверки биения цилиндрических деталей (валов, шкивов, шестерен и т.д.), установленных в центрах. Контролируемые параметры: радиальное и торцевое биение (проверка может проводиться как по цилиндрическим поверхностям, так и по торцевым)[16].

#### Подготовка к измерениям

Проверить совпадение центров. Контрольный валик закрепляют между центрами. Основание стойки устанавливают так, чтобы колонка стойки располагалась напротив середины контрольного валика. Основание стойки прочно закрепляют. Измерение можно выполнять, если при перемещении стойки индикатора параллельно оси контрольного валика отклонение стрелки индикатора будет не более 0,02 мм. Иногда совпадение центров проверяют с помощью тонкого листка бумаги, слегка зажимая его между центрами. О совпадении судят по следам от центров, оставшимся на бумаге. Надеть на измеряемую деталь хомутик, закрепив его болтом.

Описание работы приспособления для контроля радиального и торцевого биения:

Проверяемую деталь устанавливаем в центрах прибора. Бабки закрепляются на станине при помощи зажимных винтов ручными зажимами. Каретку со стойкой индикатора устанавливают против проверяемого участка и производят замеры.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

Положение индикатора и его закрепление в державке осуществляется при помощи специальных зажимов. Для точной настройки индикатора предусмотрен механизм микроподачи.

После установки детали в приспособление, к контролируемой поверхности подводят щуп индикатора, стрелку индикатора устанавливают на «0», затем деталь проворачивают в центрах, снимая показания индикатора.

Довести наконечник индикатора до соприкосновения с измеряемой поверхностью детали, проверив установку стрелки индикатора на «нуль». Медленно повернуть контролируемый вал и определить наибольшее отклонение стрелки индикатора. Записать показание индикатора. В крайних точках вала измерения проводить не рекомендуется.

Сравнить полученные показания с техническими требованиями, указанными на чертеже детали или в инструкции, и сделать вывод о годности.

Деталь считается годной, если измеренная величина отклонений радиального биения поверхности вала не превышает допустимой величины.

### 3.3.3 Расчет приспособления на точность

Погрешность измерения поверхности вращения определяется из следующих составляющих [3]:

- погрешность от торцевого биения вала направляющей втулки  $\Delta_1 = 0,01$  мм;
- погрешность, вызываемая вариациями в показаниях индикатора, величина которых составляет  $\Delta_2 = 0,0015$  мм;
- погрешность приспособления от зазора между подшипником трения и цапфой корпуса 0,004...0,007 мм, принимаем 0,005 мм;
- предельная суммарная погрешность измерения биения торца детали относительно базового диаметра  $\sum_{\text{сум}} = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}$

$$\sum_{\text{сум}} = \frac{1}{2} \sqrt{0,01^2 + 0,0015^2 + 0,005^2} = 0,0055 \text{ мм.}$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

**Вывод:**

В данном разделе спроектировано приспособление для закрепления заготовок на операции 005 – 010 патрон пневматический трехкулачковый ГОСТ 2675-80. Разработана теоретическая схема базирования. Выполнен силовой, кинематический, прочностной расчет основных элементов приспособления.

Выполнено проектирование режущего инструмента на операцию 025 Сверлильная – многошпиндельная головка для сверления шести глухих отверстий диаметром 9 мм. Для одновременной обработки шести глухих отверстий под резьбу M10 × 6 – 7H.

Для контроля радиального и торцевого биения валов разработано специальное приспособление. Определена схема измерения, разработана схема приспособления, выполнен расчет приспособления на точность.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

## 4 Планировка участка

### 4.1 Разработка планировки и описание работы участка механической обработки

Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Исходные данные норм времени для расчета

№ операции	$T_o$	$T_B$	$T_{шт}$
005	8,24	1,12	9,76
010	9,89	2,52	12,81
015	24,31	0,5	25,21
020	20,4	2,7	23,5
025	20	5	25,4
030	27,25	15	42,65
035	2,75	0,5	3,67
050	83,515	1,1	85,035

#### 4.1.1 Определение количества оборудования

Расчет числа станков [13, с.47], необходимых для выполнения каждой операции, определяется по формуле

$$C_p = \frac{t_{шт}}{\tau}, \quad (4.1)$$

где  $t_{шт}$  – штучное время выполнения операции, мин;  
 $\tau$  – такт выпуска.

Такт выпуска [13, с.47] определяется по формуле

$$\tau = \Phi_{эф} \cdot \frac{60}{N}, \quad (4.2)$$

где  $\Phi_{эф}$  – эффективный годовой фонд времени работы оборудования, ч;  
 $N$  – годовая программа выпуска, шт.

Принимаем режим работы в первую смену для которой рекомендуемый – эффективный годовой фонд времени работы оборудования  $\Phi_{эф}=2000$  часов.

По заданию программа выпуска  $N = 7000$  шт.

Такт выпуска составит

$$\tau = 2000 \cdot \frac{60}{7000} = 17,2 \text{ мин.}$$

Количество оборудования для операции 005 Токарно-винторезная

$$C_p'_{005} = \frac{9,76}{17,2} = 0,57$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,85$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{C_p'}{K_{и}} = \frac{0,57}{0,85} = 0,67$$

Принимаем количество станков для данной операции  $C_{п} = 1$ .

Коэффициент загрузки станков определяем по формуле

$$K_з = \frac{C_p}{C_{п}} \cdot 100\%,$$
$$K_з = \frac{0,67}{1} \cdot 100\% = 67\%.$$

Количество оборудования для операции 010 Токарно-винторезная

$$C_p'_{010} = \frac{12,81}{17,2} = 0,74.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,85$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{0,74}{0,85} = 0,87.$$

Принимаем  $C_{п} = 1$ .

$$K_з = \frac{0,87}{1} \cdot 100\% = 0,87\%.$$

Количество оборудования для операции 015 Токарно-винторезная

$$C_p'_{015} = \frac{25,21}{17,2} = 1,47.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,85$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{1,47}{0,85} = 1,73.$$

Принимаем  $C_{п} = 2$

$$K_з = \frac{1,73}{2} \cdot 100\% = 87\%.$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82



Количество оборудования для операции 020 Токарно-винторезная

$$C_p'_{020} = \frac{23,5}{17,2} = 1,37.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,85$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{1,37}{0,85} = 1,6.$$

Принимаем  $C_{п} = 2$ .

$$K_3 = \frac{1,6}{2} \cdot 100\% = 80\%.$$

Количество оборудования для операции 025 Сверлильная

$$C_p'_{025} = \frac{25,4}{17,2} = 1,48.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,75$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{1,48}{0,75} = 1,97.$$

Принимаем  $C_{п} = 2$ .

$$K_3 = \frac{1,97}{2} \cdot 100\% = 99\%.$$

Количество оборудования для операции 030 Фрезерная

$$C_p'_{030} = \frac{42,65}{17,2} = 2,48.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,8$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{2,48}{0,8} = 3,1.$$

Принимаем  $C_{п} = 4$ .

$$K_3 = \frac{3,1}{4} \cdot 100\% = 78\%.$$

Количество оборудования для операции 035 Вертикально-фрезерная

$$C_p'_{035} = \frac{3,675}{17,2} = 0,21.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,8$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{0,16}{0,8} = 0,26.$$

Принимаем  $C_{п} = 1$ .

$$K_3 = \frac{0,26}{1} \cdot 100\% = 26\%.$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

Количество оборудования для операции 055 Шлифовальная

$$C_{p\ 055} = \frac{85,035}{17,2} = 4,94.$$

С учетом коэффициента использования оборудования  $K_{и} = 0,8$  количества оборудования составит

$$C_p = \frac{4,94}{0,8} = 6,17.$$

Принимаем  $C_{п} = 7$ .

$$K_3 = \frac{6,17}{7} \cdot 100\% = 88 \%$$

Определяем средний коэффициент загрузки проектируемого станка по формуле

$$K_{зср} = \frac{\sum C_p}{\sum C_{п}} \quad (4.3)$$

$$K_{зср} = \frac{0,67 + 0,87 + 1,73 + 1,6 + 1,97 + 3,1 + 0,26 + 6,17}{1 + 1 + 2 + 2 + 2 + 4 + 1 + 7} \cdot 100\% = \frac{16,37}{20} \approx 82\%.$$

Для представления о степени использования оборудования составляем график загрузки станков, где по оси абсцисс указывают количество станков для каждой операции обработки детали в их технологической последовательности, а по оси ординат  $K_3$  в процентах.

График загрузки станков представлен в соответствии с рисунком 4.1.

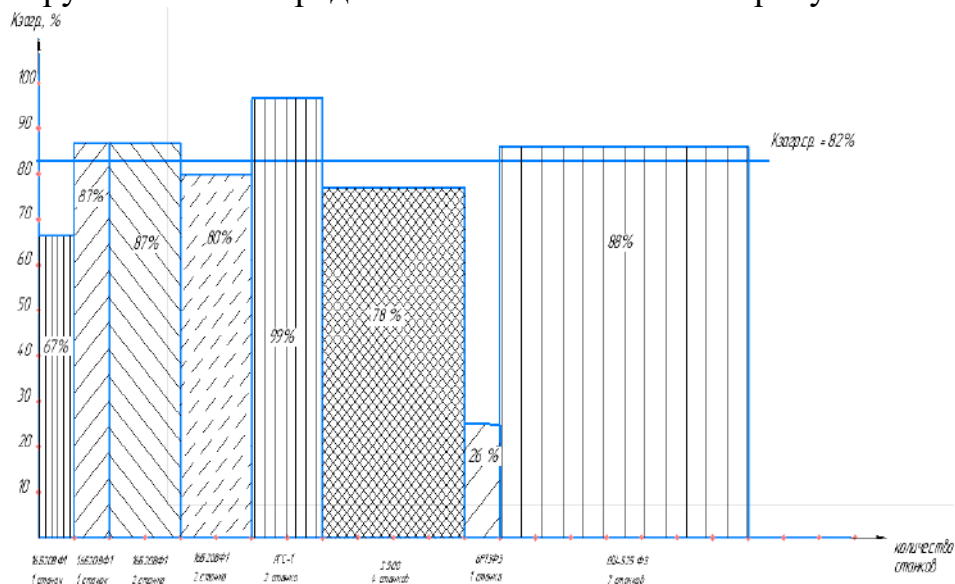


Рисунок 4.1 – График загрузки станков

## 4.1.2 Определение состава и количества работающих

По заданному количеству станков количество производственных рабочих [13, с.55] определяется по формуле

$$R_{см} = \frac{C_{пр} \cdot \Phi_{д.ст} \cdot K_3 \cdot K_u}{\Phi_{д.р} \cdot K_M}, \quad (4.4)$$

где  $C_{пр}$  – принятое количество станков на участке или в цехе;

$\Phi_{д.ст}$  – эффективный годовой фонд времени работы станка; для станков массой до 10 т при односменном режиме работы он составляет 2040 часов, при двухсменном – 4060 часов;

$\Phi_{д.р}$  – действительный годовой фонд времени работы рабочего; при 24-дневном отпуске и продолжительности рабочей недели 41 час он составляет 1860 часов;

$K_M$  – количество станков, на которых одновременно может работать один рабочий (коэффициент многостаночности),  $K_M = 1,1$ .

При укрупненных расчетах для крупносерийного производства принимают  $K_3 \times K_u = 0,85$ .

Количество производственных рабочих-станочников для операции 005

$$R_{см\ 005} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 1,68.$$

Принимаем  $R_{см} = 2$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 010

$$R_{см\ 010} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 1,68.$$

Принимаем  $R_{см} = 2$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 015

$$R_{см\ 015} = \frac{2 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 3,37.$$

Принимаем  $R_{см} = 3$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 020

$$R_{см\ 020} = \frac{2 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 3,37.$$

Принимаем  $R_{см} = 3$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 025

$$R_{см\ 025} = \frac{2 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 3,37.$$

Принимаем  $R_{см} = 3$  чел.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Количество производственных рабочих-станочников для операции 030

$$R_{см\ 030} = \frac{4 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 8,16.$$

Принимаем  $R_{см} = 8$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 035

$$R_{см\ 035} = \frac{1 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 1,68.$$

Принимаем  $R_{см} = 2$  чел.

Количество производственных рабочих-станочников для операции 055

$$R_{см\ 055} = \frac{7 \cdot 4060 \cdot 0,85}{1860 \cdot 1,1} = 14,29.$$

Принимаем  $R_{см} = 14$  чел.

Всего производственных рабочих-станочников составило 37 человек.

Численность вспомогательных рабочих определяем общим числом в зависимости от числа производственных рабочих. При укрупненном проектировании количество вспомогательных рабочих определяют общим числом в процентном соотношении от числа производственных рабочих. Для механических и сборочных цехов этот процент составляет 20...25% [13, с.56].

Для механических и сборочных цехов этот процент составляет

$$R_{в} = R_{см} \cdot 20\% \quad (4.5)$$

$$R_{в} = 37 \cdot 20\% \approx 7 \text{ чел.}$$

При укрупненном проектировании численность ИТР определяют в зависимости от количества основного технологического оборудования цеха. Для единичного и мелкосерийного производства норма составляет 18...24%, среднесерийного – 16...22%, крупносерийного – 15...21%, массового – 15...20% [13, с.57]. При этом большие значения норм соответствуют количеству основного технологического оборудования менее 50 единиц.

Численность ИТР определяем от числа станков участка

$$R_{итр} = C_n \cdot 20\% \quad (4.6)$$

$$R_{итр} = 20 \cdot 20\% = 4 \text{ чел.}$$

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

### 4.1.3 Выбор типов и определение количества транспортных средств

Для межоперационного транспортирования может осуществляться в тележках, движущихся по узким путям, которые проходят перед рабочим. С помощью тележек можно обслуживать станки с разной высотой загрузки, для чего встраиваются пневмоподъемники. Для удобства обслуживания станков путь оборудуют поворотными и откидными секциями для прохода рабочих.

Изготовленные на механическом участке детали предварительно укладываются в межоперационную тару, а затем на складе готовой продукции участка в контейнеры весом 1500 кг. Контейнеры транспортируются краном на склад сборочного цеха или на склад завода.

Перевозка заготовок со склада или из заготовительных цехов осуществляется электрической тележки модели ЕП-006 грузоподъемностью – 1500 кг.

### 4.1.4 Определение потребного количества электротележек

Потребное количество электротележек определяется по формуле

$$T = \frac{Q \cdot i}{g \cdot 60 \cdot \Phi_{\text{н}} \cdot m \cdot K_1} \left( \frac{l_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}} + t_3 + t_p \right), \quad (4.7)$$

где  $Q$  – годовой грузопоток деталей (заготовок);

$g$  – заполнение электротележки за один рейс;

$i$  – количество транспортных операций с грузом на один рейс;

$\Phi_{\text{н}} = 1860$  часов – номинальный годовой фонд времени работы электротележки в одну смену;

$K_1 = 0,85$  – коэффициент, учитывающий простой электротележки;

$l_{\text{ср}}$  – средний пробег электротележки за один рейс туда и обратно, м;

$v_{\text{ср}}$  – средняя скорость электротележки, м/мин;

$m$  – количество рабочих смен в сутки;

$t_3, t_p$  – время одной загрузки и одной разгрузки электротележки, мин.

$$T = \frac{7000 \cdot 12}{1500 \cdot 60 \cdot 1860 \cdot 2 \cdot 0,85} \left( \frac{35}{18} + 10 + 10 \right) = 0,48$$

Принимаем 1 электрическую тележку модели ЕП-006.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

## 4.1.5 Выбор и определение необходимого количества мостовых кранов

Потребное количество кранов определяют по формуле

$$K = \frac{D \cdot i}{\Phi \cdot m} \cdot \frac{\left(\frac{l_{\text{ср}}}{v_{\text{ср}}} + t_3 + t_p\right)}{\Phi_{\text{и}} \cdot K_1}, \quad (4.8)$$

где  $D$  – количество перевезённых грузов (контейнеров с деталями) на годовую программу выпуска  $N$  деталей

$$D = \frac{N \cdot G_1}{G_k},$$

где  $G_1$  – вес одной детали,  $G_1 = 96,2$  кг;

$G_k$  – вес контейнера с деталями,  $G_k = 200$  кг;

$m$  – количество рабочих смен в сутки,  $m = 2$ ;

$\Phi$  – количество рабочих дней в году,  $\Phi = 240$ ;

$i$  – количество крановых операций на один перевезенный груз;

$l_{\text{ср}}$  – средняя длина пути на одну крановую операцию,  $l_{\text{ср}} = 30$  м;

$v_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения крана,  $v_{\text{ср}} = 0,6$  км/ч = 10 м/мин км/ч;

$t_3, t_p$  – время на одну загрузку и одну разгрузку,  $t_3, t_p = 6$  мин;

$\Phi_{\text{и}}$  – номинальный фонд работы крана,  $\Phi_{\text{и}} = 480$  мин;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий простой крана,  $K_1 = 0,85$ .

$$D = \frac{7000 \cdot 96,2}{1500} = 448,9 \text{ шт};$$

$$K = \frac{448,9 \cdot 10}{240 \cdot 2} \cdot \frac{\left(\frac{30}{10} + 6 + 6\right)}{480 \cdot 0,85} = 0,28 \approx 1$$

Принимаем 1 мостовой кран однобалочный с трубчатым мостом и кабиной управления. Кран однобалочный с трубчатым мостом и кабиной управления представлен в соответствии с рисунком 4.2.

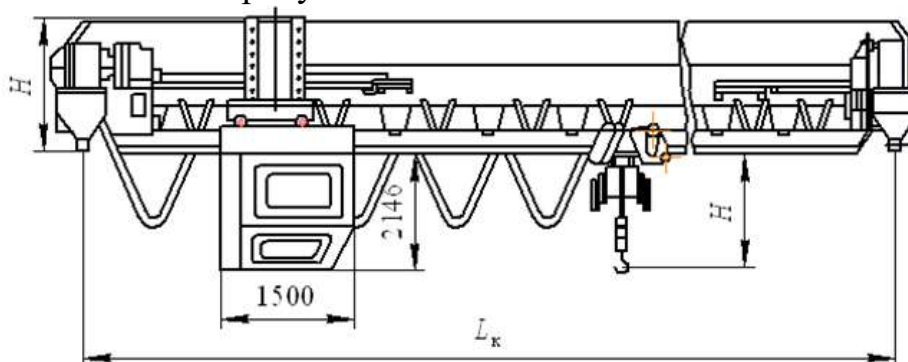


Рисунок 4.2 – Кран однобалочный

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

#### 4.1.6 Расчет площадей для складирования заготовок и деталей

Площадь участка по изготовлению детали «Вал» состоит из производственной и вспомогательной площади.

Производственная площадь рассчитывается исходя из средней удельной площади на один станок. Удельная площадь принимается в зависимости от группы станков, в нее включается площадь станка и территория около рабочего места, поэтому площадь на один станок принимаем 16–20 м<sup>2</sup> [13, с.75]. Производственная площадь участка рассчитывается по формуле

$$S_{\text{произ}} = K \times 20 \text{ м}^2 \quad (4.8)$$

где  $K$  – количество станков, шт.  $K = 20$  ед.

$$S_{\text{произ}} = 20 \times 20 \text{ м}^2 = 400 \text{ м}^2.$$

Вспомогательная площадь участка [13, с.75] принимается из расчета 15–20 % от производственной площади

$$S_{\text{всп}} = S_{\text{произ}} \times 20 \% \quad (4.9)$$

$$S_{\text{всп}} = 400 \times 20 \% = 80 \text{ м}^2.$$

Высота производственных зданий составляет 10 м.

При укрупненном расчете площадь склада принимается в процентном отношении от площади цеха (участка)

$$S_{\text{сз}} = (10 \dots 15\%) \cdot S \quad (4.10)$$

$$S_{\text{сз}} = 15\% \cdot 480 = 72 \text{ м}^2.$$

Расчет площади и объема участка приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчет площади и объема участка

Наименование площадей	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота, м	Объем площадей, м <sup>3</sup>
Производственная площадь	400	10	4000
Вспомогательная площадь	80	10	800
Площадь склада	72	10	720
Итого:	552	10	5520

Таким образом, площадь участка составляет 552 м<sup>2</sup>, общий объем участка по изготовлению детали «Вал» составляет 5520 м<sup>3</sup>.







Планировка участка, выполненная в масштабе 1:100 и представлена в соответствии с рисунком 4.3.

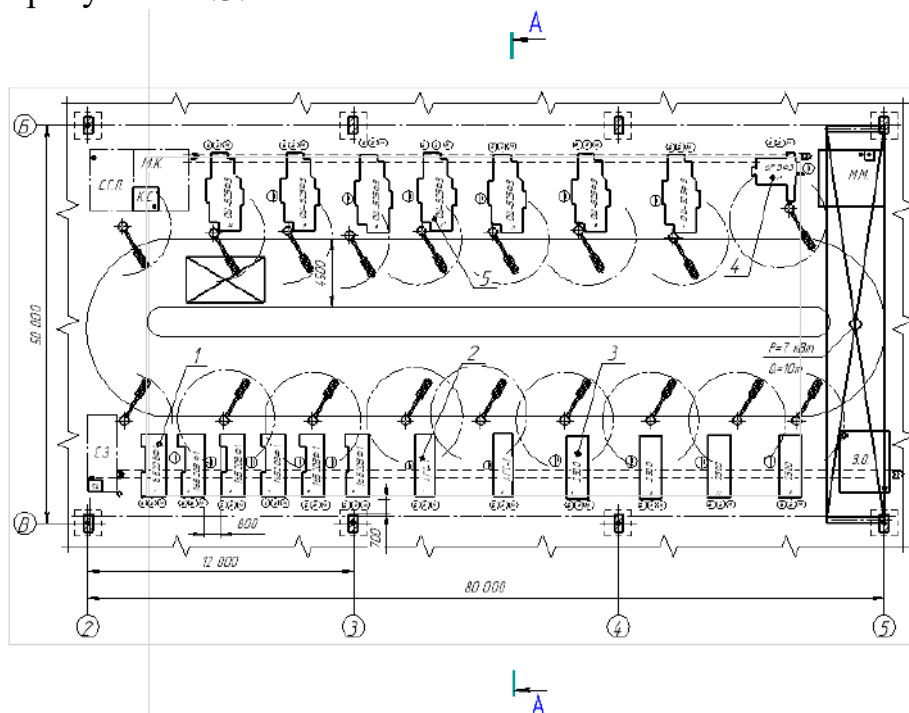


Рисунок 4.3 – Планировка участка

#### 4.1.8 Выбор типов, формы и определение размеров здания

Для размещения проектируемого участка принимаем одноэтажное здание, средний пролет с сеткой колонн  $24 \times 6$ .

Высота до головки подкранового рельса (м) рассчитывается по формуле

$$H_k = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

где  $h_1$  – максимальная высота оборудования,  $h_1 = 2930$  мм;

$h_2$  – минимальное расстояние между оборудованием и перемещаемым грузом,  $h_2 = 1000$  мм;

$h_3$  – высота транспортируемых грузов,  $h_3 = 2000$  мм;

$h_4$  – высота крана,  $h_4 = 900$  мм.

Оборудованием с максимальной высотой являются станки модели АГС-1 высотой 2930 мм.

$$H_k = 2930 + 1000 + 2000 + 900 = 6830 \text{ мм.}$$

Расчетное значение корректируется до ближайшего стандартного. Принимаем  $H_k = 6,15$  м. В зависимости от величины  $H_k$  принимаем высоту пролета  $H = 8,4$  м.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

Основные размеры пролета здания приведены в соответствии с рисунком 4.4.

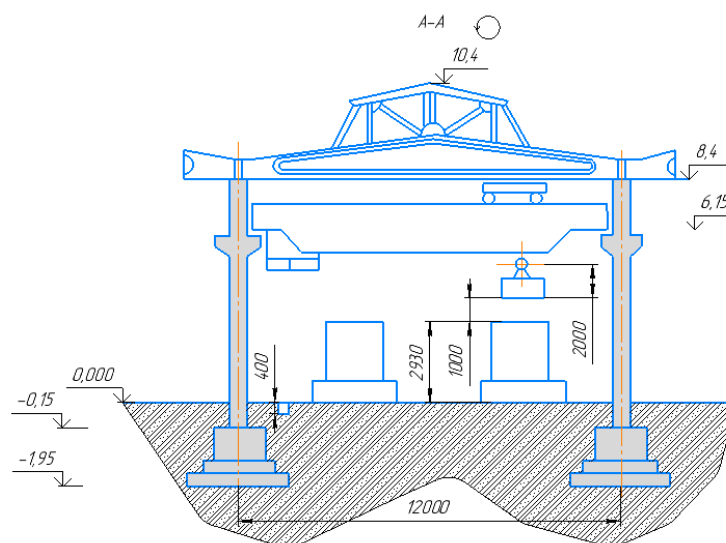


Рисунок 4.4 – Основные размеры пролета здания

Длину станочных участков и линий из соображений пожарной безопасности принимаем в пределах 32 м, а между ними предусматривают магистральные (пожарные) проезды шириной 4,5 м.

Колонны здания железобетонные серии КЭ-01-49 с консолями прямоугольного сечения 400×800 мм представлены в соответствии с рисунком 4.5.

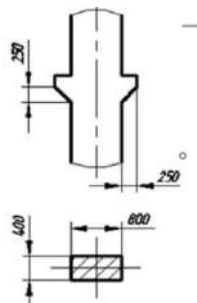


Рисунок 4.5 – Колонны средних пролётов серии КЭ-01-49

Торцовые колонны здания смещены внутрь относительно разбивочной оси на 500 мм. Это необходимо для того, чтобы пропустить колонны фахверка. Фундаменты под колонны представляют собой отдельно стоящие железобетонные ступенчатые конструкции, на которые устанавливаются также железо-бетонные фундаментные балки под стены. Верхняя плоскость фундамента располагается на 150 мм ниже уровня пола, подошва фундамента – на 1,95 м. Размеры фундаментов назначаются в зависимости от серии и сечения колонны и представлены в соответствии с рисунком 4.6.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

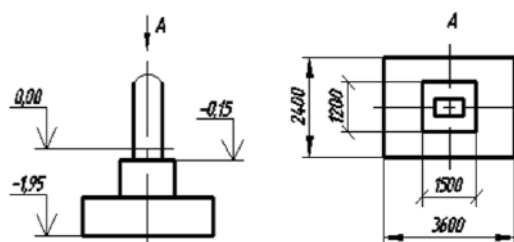


Рисунок 4.6 – Фундамент под колонны

Несущей конструкцией здания являются железобетонные решётчатые фермы серии 1.462-3. Габаритные размеры фермы: длина 21960 мм, высота 1390 мм, толщина 200 мм, представлены в соответствии с рисунком 4.7.

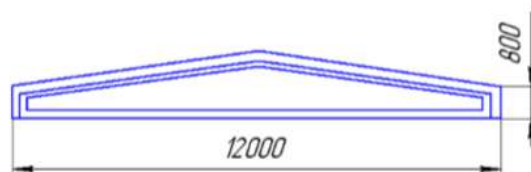


Рисунок 4.7 – Железобетонная ферма серии 1.462-3

В соответствии с рисунком 4.8 представлена конструкция кровли.

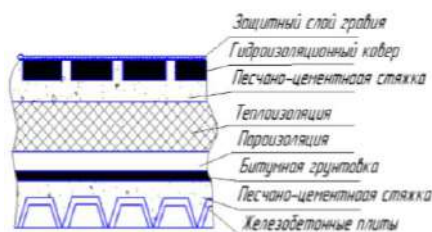


Рисунок 4.8 – Конструкция кровли

Ограждающим покрытием здания является утеплённая многослойная кровля. Кровля состоит из сборных настилов, укладываемых по фермам. Несущим настилом являются железобетонные плиты. В качестве первого слоя применяется песчано-цементная стяжка, выравнивающая плиты покрытия и заполняющая их швы. Она покрывается пароизоляцией из пергамента по битумной грунтовке. Затем укладывается утеплитель, представляющий собой плиты из пенобетона. Чтобы создать достаточно жёсткое и ровное основание для гидроизоляционного ковра, на поверхность теплоизоляционного покрытия накладывают стяжку из песчано-цементного раствора. Гидроизоляция покрытия здания выполняется из трёх-четырёх слоёв рулонных гидроизоляционных материалов, последовательно наклеиваемых внахлест при помощи горячей битумной мастики. Для улучшения сопротивляемости разрушению дёгтевого ковра под действием солнечной радиации ковёр покрывают слоем светлого гравия с зёрнами размером 6...10 мм, вдавленного в горячем виде в кровельную

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

мастику с помощью катка весом 500 Н. В качестве наружного ограждения применяются стены толщиной 500 мм. Вход на территорию цеха осуществляется через распашные ворота. Ширина ворот 2,5 м, высота – 4,2 м. Оборудование на участке устанавливается непосредственно на полу. Пол представляет собой многослойную конструкцию, представленную в соответствии с рисунком 4.9, включающую трамбованный грунт, надёжную бетонную подготовку толщиной 200...300 мм, песчано-цементную стяжку для выравнивания, слой гидроизоляции, а также покрытие пола из бетона.

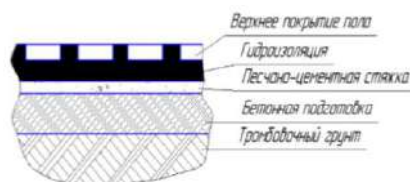


Рисунок 4.9 – Конструкция пола

## 4.2 Описание мероприятий по охране труда

### 4.2.1 Идентификация опасных и вредных производственных факторов на проектируемом участке

При холодной обработке металлов на человека действует целый комплекс опасных и вредных производственных факторов.

К опасным и вредным производственным факторам на проектируемом участке относятся:

- физические опасные и вредные производственные факторы;
- химические опасные и вредные производственные факторы.

Физические вредные производственные факторы подразделяются на следующие:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенная или пониженная влажность воздуха.

Источником шума будут являться металлообрабатывающие станки, используемые при данном производственном технологическом процессе. Данный фактор относится к природе физического характера.

Согласно п.4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, допустимый уровень шума в производственных помещениях не должен превышать 80 дБ. Если уровень шума будет выше допустимого, то это скажется на физическом состоянии рабочего в

						15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			95

виде беспокойства, а также перерасти к изменению показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

Кроме того, шум может возникнуть по причине дисбаланса вращающихся масс, при прогибании валов, при смещении валов относительно друг друга, при износе зубчатых колес.

Нарушение технологической дисциплины при изготовлении деталей и их сборке приводят к резкому повышению уровня шума.

Повышенный шум вредно сказывается на здоровье и работоспособность людей. Человек, работающий с шумом, привыкает к нему, но продолжительное и повышенное его воздействие провоцирует утомляемость всего организма, нарушение слуха, а в тяжёлых случаях и глухота, нарушение процесса пищеварения, изменения объема внутренних органов.

Повышенная или пониженная влажность воздуха

Виды работ, выполняемые рабочими классифицируются как категория работ №3 – относятся к работам, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных тяжестей (свыше 10кг) и требующих больших физических усилий.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 предоставлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	III (более 290)	С 13,0–15,9 до 18,1–21,0	12–22	15–75	0,2–0,4
Теплый	III (более 290)	С 15,0–17,9 до 20,1–26,0	14,0–27,0	15–75	0,2–0,5

Химические опасные и вредные производственные факторы по пути проникания в организм человека подразделяются на:

- органы дыхания;
- желудочно-кишечный тракт;
- кожные покровы и слизистые оболочки.

Широкое использование СОЖ не только способствовало современному обеспечению технологических процессов промышленных предприятий, но и вскрыло проблему возникновения профессиональной патологии у рабочих, имеющих постоянный контакт со смазочными материалами, в частности, поражение кожи и дыхательных путей.

Массовая доля химических веществ, используемых в качестве присадок в рабочих растворах СОЖ и ТС, должна соответствовать ГОСТ 12.3.025-80 «Обработка металлов резанием. Требования безопасности» и ТУ на технологическую жидкость, согласованным с органами санитарно-эпидемиологической службы.

У рабочих, выполняющих шлифовальные операции с применением СОЖ, сравнительно часто отмечают бронхиты, катары верхних дыхательных путей и пневмонии.

Повышенная концентрация в воздухе рабочей зоны токсичных паров и газов иногда является причиной острого отравления, а при их систематическом поступлении в организм человека через органы дыхания или другим путем может со временем стать причиной хронического отравления.

#### **4.2.2 Меры по снижению или устранению воздействия физических опасных и вредных производственных факторов**

Основными путями снижения шума металлорежущих станков являются применение высококачественных подшипников, малозумных зубчатых передач и электродвигателей, соблюдение технологической дисциплины при изготовлении и сборке узлов станка, применение рациональных конструкций режущего инструмента и приспособлений, жесткая система крепления и фиксации.

Снижение шума возможно на пути его распространения по средствам звукоизолирующих и звукопоглощающих преград в виде экранов, перегородок, кожухов [13].

Хорошие звукопоглощающие свойства имеют легкие и пористые материалы (минеральный войлок, стекловата, поролон). Средствами индивидуальной защиты являются ушные вкладыши, наушники и шлемофоны.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

Если уровень шума будет превышать допустимый уровень, то можно воспользоваться следующими методами снижения шума:

- снижение шума в источнике осуществляется за счет улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса;
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удастся;
- методы и средства коллективной защиты, которые включают в себя применение звукоизоляции, акустическую обработку помещений, рациональную планировку предприятий и производственных помещений, а также изменение направленности излучения шума.

Применение СИЗ позволяет предупредить расстройство не только органов слуха, но и нервной системы от действия чрезмерного раздражителя.

Наиболее эффективны СИЗ в области высоких частот. СИЗ включают в себя противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Если отклонение параметров микроклимата выходит за пределы установленные в СанПиН 2.2.4.548-96 необходимо воспользоваться методами регулирования параметров, такими как установка отопительных систем и систем кондиционирования помещений.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу, условия микроклимата рассматривают как вредные – класс 3.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используются защитные мероприятия:

- внедрение современных технологических процессов, исключающих воздействие неблагоприятного микроклимата на организм человека;
- организация принудительного воздухообмена в соответствии с требованиями нормативных документов (кондиционирование, воздушное душирование, тепловые завесы и др.);
- компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра изменением другого;
- применение спецодежды и средств индивидуальной защиты;
- организация специальных помещений с динамическими параметрами микроклимата (комнаты для обогрева, охлаждения, др.);
- физически обоснованная регламентация режимов труда и отдыха (сокращенный рабочий день, регламентированное время для обогрева и др.);
- правильная организация систем отопления и воздухообмена.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98



Согласно СанПиН 26.09.1985 N 3935-85 при работе с СОЖ должны соблюдаться следующие санитарно-гигиенические требования:

– при приготовлении рабочих растворов из концентратов технологических сред и СОЖ вносить в них ингредиенты, не предусмотренные рецептурой, запрещается;

– рабочие растворы из концентратов технологических сред должны готовиться централизованно в отдельных помещениях организации, покрытие стен и полов которых должно быть устойчиво к воздействию нефтепродуктов и щелочей;

– пол помещений должен иметь уклон для стока жидкости;

– емкости для приготовления и хранения технологических сред, трубопроводы для их транспортировки должны исключать загрязнение производственной среды и среды обитания человека.

Работники, занятые на работах с вредными условиями труда, обусловленные непосредственным контактом работников с СОЖ, должны быть обеспечены исправными средствами индивидуальной защиты (СИЗ), соответствующими условиям и характеру производственной деятельности. Работа без СИЗ запрещается.

При выборе СИЗ следует учитывать весь комплекс вредных факторов производственной среды, воздействию которых работающий может подвергаться в ходе трудового процесса. Защитные средства должны подбираться для каждого работающего индивидуально в соответствии с антропометрическими данными. Первостепенное значение имеет снабжение рабочих спецодеждой (фартуками) из непромокаемой и непроницаемой для охлаждающих масел и жидкостей ткани, например приготовленной из хлопчатобумажной ткани (молескин и др.) с хлорвиниловым покрытием, а также спецобувью и индивидуальными защитными приспособлениями.

Средствами индивидуальной защиты органов дыхания (противопылевыми респираторами) следует пользоваться в условиях превышения ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Для защиты кожи рук работников организации при воздействии раздражающих и сенсибилизирующих веществ СОЖ применяются гидрофильные защитные мази и пасты, разрешенные к применению в порядке, установленном законодательством Российской Федерации. Защитные пасты и мази и следует наносить на кожу рук дважды в смену – до работы и после обеденного перерыва.

С целью профилактики профессиональных заболеваний особое значение придается обеспечению эффективной вытяжной вентиляции и рациональному устройству отопления.

При проектировании и эксплуатации систем отопления и вентиляции производственных помещений, в которых используются СОЖ, расчет мощности вентиляционных установок определяется по вредным химическим веществам,

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

входящим в состав композиции – аэрозоль СОЖ, масла, оксид углерода и др. и пыли, образующейся в процессе обработки металлов резанием и шлифовкой.

Системы отопления и вентиляции должны обеспечивать в воздухе рабочей зоны содержание вредных веществ, не превышающих уровни ПДК.

**Вывод:**

В данном разделе произведен укрупненный расчет необходимого количества оборудования и работающих. Необходимое количество оборудования составляет 20 станков. Всего производственных рабочих-станочников составило 37 человек. Численность ИТР составляет 4 человек. Численность вспомогательных рабочих составляет 7 человек.

Для межоперационного транспортирования определено потребное количество электротележек и мостовых кранов. Принимаем 1 электрическую тележку модели ЕП-006. Принимаем 1 мостовой кран однобалочный с трубчатым мостом и кабиной управления.

Произведен расчет площади производственного, вспомогательного участков, а также площадь склада заготовок. При укрупненном расчете площадь склада составляет 80 м<sup>2</sup>. Площадь производственного участка составляет 400 м<sup>2</sup>, площадь вспомогательного участка составляет 72 м<sup>2</sup>.

Определены тип, формы и размеры здания проектируемого участка.

Планировка участка выполнена в масштабе 1:100.

Выявлены физические опасные и вредные производственные факторы. Определены меры по снижению или устранению воздействия физических опасных и вредных производственных факторов на проектируемом участке.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы, поставленные цель и задачи выполнены.

Проведен анализ действующего технологического процесса. Разработан проектный технологический процесс изготовления детали «Вал». Сформирован маршрут, план операций и переходов проектного техпроцесса. Выбрано оборудование для реализации проектного технологического процесса. Выполнен размерный анализ проектного техпроцесса. Произведен расчет режимов резания и норм времени.

Спроектировано приспособления для закрепления заготовок. Для одновременной обработки предварительных шести глухих отверстий под резьбу М10 × 6 – 7Н разработана многошпиндельная головка. Для контроля радиального и торцевого биения валов разработано специальное приспособление. Определена схема измерения, разработана схема приспособления, выполнен расчет приспособления на точность.

Разработана планировка участка механической обработки детали «Вал». Произведен укрупненный расчет необходимого количества оборудования и работающих. Для межоперационного транспортирования определено потребное количество электротележек и мостовых кранов. Произведен расчет площади производственного, вспомогательного участков, а также площадь склада заготовок.

Определены меры по снижению или устранению воздействия физических опасных и вредных производственных факторов на проектируемом участке

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

## Библиография

- 1 Ковшов, А.Н. Технология машиностроения.: учеб. – Электрон.дан./А.Н. Ковшов. – СПб.: Лань, 2016. – 320 с.
- 2 Косиловой, А.Г., А.Г. Сусллова, 5-е изд., исправ. – М.: Машиностроение-1, 2013. – 912 с.
- 3 Виноградов, В. М. Технология машиностроения: Введение в специальность учеб. пособие для вузов по направлению «Конструктор.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в»/ В. М. Виноградов. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 174 с.
- 4 Корчак, С. Н. Размерно-точностное проектирование технологических процессов обработки на основе расчета технологических размерных цепей. Учеб.пособие / С. Н. Корчак, В. Н. Выбойщик Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, М. Х. Гольдфельд и др.; Под ред. С. Н. Корчака. – Челябинск: ЧПИ, 1984. – 89 с.
- 5 Маталин, А.А. Технология машиностроения.: учеб. – Электрон.дан./А.А. Маталин. – СПб.: Лань, 2016. – 512 с.
- 6 Радкевич, Я. М. Расчета припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб.пособие для машиностроит. спец. вузов. – 2-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 272 с.
- 7 Матвеев, В. В. Проектирование экономических технологических процессов в машиностроении /В.В. Матвеев. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1979. – 111 с.
- 8 ГОСТ 3.1105-2011 Формы и правила оформления документов общего назначения. – Взамен ГОСТ 3.1105-84; введ. 2012 – 01 – 01.
- 9 ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – введ. 1990 – 07 – 01.
- 10 Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 73 с.
- 11 Верина, Л.И. Справочник станочника: учеб. Пособие для нач. проф. образования / Л.И. Верина, М.М. Краснов. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 560 с.
- 12 Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением – М.: Экономика, 1990. – 208 с.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102

- 13 Сурина, Е.С. Проектирование механосборочных цехов. Электронный вариант учебного пособия по курсу «Проектирование машиностроительного производства» для студентов специальности 151001 – «Технология машиностроения» (для всех форм обучения), Новоуральск, НГТИ, 2007 – 159 с.
- 14 Рыжаков, В.В. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Рыжаков, В.А. Купряшин. – Электрон. дан. – Пенза: ПензГТУ, 2011. – 152 с.
- 15 Козырев, Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник.-2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
- 16 Королев, В.А. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений / В.А. Королев. В.Е. Антонюк. СМ. Башеев. – М: Машиностроение. 1969. – 392 с.
- 17 Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие /П.Ф. Дунаев, О.П. Лёликов. – М.: Высшая школа, 1998. – 447 с.

					15.03.05.2021.929.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103