

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.03.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы Проектирование малогабаритного гравировального станка
--

УДК 681.618.47:62-181.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А7В	Савенков Вячеслав Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Козарь Дмитрий Михайлович			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Ефременков Е.А.	К.Т.Н.		

Результаты обучения

по направлению

15.03.01 Машиностроение

по специализации Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств

	Результат обучения
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире; умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной и сварочной продукции.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на машиностроительных и строительно-монтажных производствах.
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую

	документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, строительно-монтажного комплекса и в отраслевых научных организациях, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований
P7	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения и сварочного производства
P8	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы, составлять и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии.
P10	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования и конструкций строительно-монтажных объектов, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность): 15.03.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.) **Ефременков Е.А.**

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4А7В	Савенков Вячеслав Сергеевич

Тема работы:

Проектирование малогабаритного гравировального станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 111 –35/с от 21.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p style="text-align: center;">Проектируемый малогабаритный гравировальный станок должен удовлетворять следующим требованиям:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечиваемая скорость гравирования для фрез от 6 мм до 12, не менее 100 м/мин. 2. Бесступенчатое изменение скорости резания. 3. Наличие ЧПУ. 4. Предельные размеры: 1200x1000x1000 мм. 5. Работа от источника питания 220В.
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор 2. Разработка полного технического задания, с целью улучшения понимания технических аспектов разрабатываемого станка и предъявляемых к нему требований 3. Разработки кинематической схемы станка 4. Конструкторские расчеты в соответствии с кинематической схемой 5. Проектирование установки 6. Разработка технологического процесса 7. Подготовка графического материала и пояснительной записки
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чертеж детали «Крышка»: 1 формат А4 2. Кинематическая схема станка: 1 формат А3 3. Сборочный чертеж малогабаритного гравировального станка: 2-4 формата А0(А1) 4. Спецификация к сборочному чертежу 2-4 формата А4
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>16.12.2020</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший преподаватель</p>	<p>Козарь Дмитрий Михайлович</p>			<p>16.12.2020</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4А7В</p>	<p>Савенков Вячеслав Сергеевич</p>		<p>16.12.2020</p>

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит в себе пояснительную записку и графическую часть. В пояснительной записке 190 страниц поделенных на 5 частей: литературный обзор, конструкторский раздел, технологический раздел, финансовый менеджмент, социальная ответственность, кроме того, введение и заключение. В составе пояснительной записки имеется: 30 рисунков и 25 таблиц.

Объект разработки в текущей выпускной квалификационной работе – это гравировальный станок с ЧПУ.

Проектирование гравировального станка с ЧПУ, есть цель данной работы.

В результате разработки данного оборудования была создана 3D-модель и сборочный чертеж посредством САПР «КОМПАС-3D».

В процессе работы: сконструирован гравировальный станок с ЧПУ, начерчен сборочный чертеж, разработан для дела «Крышка» технологический процесс производства. Значимость данного станка кроется в автоматизированном создании рисунков и надписей на поверхностях из древесины, камня и металла, на плоскости и в объеме.

Данный станок имеет возможность установки дополнительного оборудования, для создания тел вращения. Возможный вариант установки на стол станка дополнительного шпинделя с задней бабкой для создания балясин.

Данный станок найдет широкое применение в хобби сувенирном деле и рекламных агентствах, в сфере малого и среднего бизнеса. Разрабатываемый станок можно разместить в небольшой мастерской и цеху.

Оглавление	
Реферат	6
Введение.....	10
Виды гравировальных станков и их применение	11
Конструкция фрезерно-гравировальных станков и их основные компоненты	17
Аналогичное оборудование на рынке	36
1. Конструкторская часть	38
1.1. Техническое задание.....	38
1.2. Кинематическая схема станка	40
1.3. Расчет сил резания	42
1.4. Расчет приводов подач	44
1.5. Конструкция станка	67
Вывод.....	72
2. Технологическая часть	73
2.1. Техническое задание.....	75
2.2. Анализ технологичности конструкции детали	76
2.3. Технологический маршрут изготовления детали	77
2.4. Определение допусков на диаметральные технологические размеры.....	83
2.5. Определение минимальных припусков на обработку поверхности вращения	83
2.6. Расчет диаметральных технологических размеров	89
2.7. Определение допусков для осевых технологических размеров .	94
2.8. Определение минимальных припусков на обработку плоскости	95

2.9. Расчет осевых технологических размеров	99
2.10. Расчет режимов резания и выбор режущего инструмента	104
2.11. Выбор оборудования	125
2.12. Выбор измерительного инструмента	127
2.13. Нормирование	127
Вывод.....	131
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	132
3.1. Анализ конкурентных технических решений.....	133
3.2. SWOT-анализ.....	135
3.3. Планирование научно-исследовательских работ	139
3.4. Разработка графика проведения проектирования	141
3.5. Бюджет научно-технического исследования	146
3.6. Определение ресурсоэффективности исследования	152
Вывод.....	155
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	157
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	158
4.2. Производственная безопасность	160
4.3. Экологическая безопасность	166
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	168
Вывод.....	169
Заключение	170
Список литературы	171
Приложение А – Кинематическая схема	176

Приложение Б – Сборочный чертеж.....	177
Приложение В – спецификация.....	178
Приложение Г – чертеж детали.....	179

Введение

На текущий момент рынка в свободном доступе имеется широкий ассортимент гравировальных станков, которое используется для создания рисунков и надписей на поверхностях из древесины, камня и металла, на плоскости и в объеме. Станки различаются по типу обрабатываемого материала, по типу конструкции станины и по габаритам, по материалу из которого изготовлены конструкционные детали для станка, типом шпинделя, по классу применяемых направляющих и подшипников для них, в том числе и тип двигателей применимых для приведения в движение частей станка.

С ростом малого и среднего бизнеса в сфере создания декоративных изделий и сувениров, рекламного агентства и небольших мастерских по производству изделий из древесины, требуются для них гравировальные станки. Ввиду большой стоимости и габаритов промышленных моделей, для небольших мастерских будет актуален малогабаритный гравировальный станок, который идеально для них подойдет по большинству критериев.

Объект разработки в текущей выпускной квалификационной работе – это гравировальный станок с ЧПУ. Отличительными чертами данного станка будут, высокая производительность при небольших габаритах, такой станок прекрасно впишется в размеры цеха малого предприятия или гаража для хобби.

Виды гравировальных станков и их применение

Гравировальный станок – это оборудование, используемое для создания рисунков и надписей на поверхностях из древесины, камня и металла, на плоскости и в объеме.

Главными компонентами станка выступают режущие элементы, размер рабочего стола, линейный датчик, датчик положения инструмента и следящий профиль, который считывает исходный текст или картинку для нанесения на заготовку.

Каждый вид гравировальных станков имеет свое отличительное строение, тип рабочего инструмента, цену и набором возможностей.

По типу воздействия на рабочую поверхность

1. **Ударно-гравировальный** – это механический способ обработки, при котором происходит непосредственный контакт рабочего инструмента с заготовкой. Текст либо изображение будут нанесены на поверхность с высочайшей точностью, но скорость ниже по сравнению с лазерным видом.

2. **Лазерный метод** обработки заключается в нанесении исходной информации на поверхность с помощью лазерных лучей. Этот тип гравировки отличается высокой скоростью нанесения и стойкостью к внешней среде.

На сегодня лазерные гравировальные станки являются современным типом оборудования и пользуются большим спросом среди малых и средних предприятий в сфере рекламного, сувенирного бизнеса.

Лазерные станки

1. **Лазер СО₂** – механизм работы состоит в генерации инфракрасного света молекулами углекислоты, который применяется для резки и гравирования значительной части материалов. Данные устройства в обработке металлов практически не применяются, но их мощности будет достаточно для гравирования покрытий на металлической поверхности. Эмаль, медь или

другие виды материалов могут служить в виде этих покрытий. Отличительной чертой данных аппаратов является: невысокая стоимость, простота в управлении и минимальные издержки.

Данные станки применяются в малом и среднем бизнесе, из-за своей доступности и неприхотливости. Их набора опций будет достаточно, чтобы начать небольшое предпринимательское дело. В следующих сферах деятельности они применяются:

- рекламное агентство, маркетинг;
- текстильная промышленность;
- сувенирное производство.

На граверах CO₂ обрабатывают материалы:

- кожа;
- текстиль;
- дерево, древесная продукция;
- бумага, картон и бумажные изделия;
- пластик.



Рисунок 1 – CO₂ лазерно-гравировальный станок

2. Твердотельный лазер выдает довольно длинные волны способные гравировать чистые металлы, в том числе камни, кожу или пластмассы, а также чрезвычайно прочные стальных изделия. Чаще всего данные станки используются для маркировки и гравирования металлических деталей, панелей и других типов объектов.

Станок с твердотельным лазером, обладающий достаточной мощностью для работы металлическими изделиями и камнями, используют их в:

- крупные и средние предприятия;
- предприятия в сфере ритуальных услуги по декоративной обработке камней.

Такой тип станков будет применяться для:

- маркировки изделий из металлов и других сплавов;
- гравирования металлических изделий;
- гравирования каменных плит;
- изготовление статуй и стел.



Рисунок 2 – Твердотельный лазерно-гравировальный станок

3. В третьем типе станков применяют оптическое волокно для гравировки, они обладают более экономным потреблением электроэнергии и большим сроком эксплуатации. Такого рода устройства применяют для работы с миниатюрными изделиями, потому что диаметр лазерного пятна очень мал. Благодаря своим габаритам данные станки относятся к портативным.

Последний вид станков с лазерным модулем больше подойдет для мелких предпринимателей и малого бизнеса, поскольку он отлично справляется с тонкой работой. Далее список применения оптоволоконных граверов:

- в сувенирном деле;
- в гравировке личных вещей, часов, ручек;
- в ювелирном деле.



Рисунок 3 – Оптоволоконный лазерно-гравировальный станок

Ударно-гравировальный способ

В ударно-гравировальный способе применяются фрезерно-гравировальные станки для обработки материала. Этот метод является традиционным способом гравирования, поскольку известен уже давно.

Фрезерно-гравировальный станок – это оборудование, которое производит гравировку посредством контакта с заготовкой при помощи различных фрез. Гравирование происходит путем снятия небольшого слоя материала с поверхности заготовки. Данное оборудование обеспечивает двухмерную гравировку изображений и объемных рисунков.

Данное оборудование имеет широкий спектр возможностей для применения в различных сферах предпринимательства и производства. Фрезерно-гравировальное оборудование используется в следующих отраслях:

- мебельное производство;
- сувениры;
- рекламные агентства;
- производство надгробных памятников и плит;
- моделирование;
- декоративная гравировка в ювелирном деле.

Фрезерно-гравировальные станки применяют для гравирования следующих типов материалов:

- дерево, изделия из древесины;
- фанера;
- пластик, карбонат;
- ПВХ, пенопласт;
- оргстекло, акрил;
- камень;
- мягкий и твердый металл, сплавы.

Гравировальные станки делятся по конструкции на:

- порталные;
- консольные.



а



б

Рисунок 4 – фрезерно-гравировальный станок: (а) консольного типа, (б) порталного

Портальные станки состоят из поперечной балки, расположенной над столом, которая жестко соединена с опорами, удерживающими ее с двух концов. В свою очередь, опоры установлены на направляющие, по которым они совершают перемещение вдоль стола. Каретка со шпинделем производит перемещение по направляющим закрепленным на балке между опорами. Также каретка совершает движение по оси Z. Здесь заготовка неподвижна.

На станках консольного типа стол производит перемещение по горизонтальным направляющим на консоли и салазках, в вертикальном направлении он перемещается по направляющим в станине. Здесь деталь перемещается вместе со столом, а шпиндель неподвижен.

Конструкция фрезерно-гравировальных станков и их основные компоненты

Основные характеристики фрезерно-гравировальных станков являются:

- мощность шпинделя и скорость вращения его вала;
- жесткость станины и ее материал;
- конструкция и площадь рабочего стола;
- двигатели для перемещения портала.

Крепление заготовки

Крепление заготовки к столу зависит от размера стола и типа обрабатываемой заготовки и осуществляется несколькими способами:

- вакуумный;
- механический

Вакуумный способ

Вакуумный способ осуществляется при помощи компрессоров, которые создают вакуум через отверстия в рабочем поле станка. Такой способ подойдет для тонких, листовых и хрупких заготовок с плоской поверхностью. Собственно говоря, рабочая плоскость представляет собой вакуумные зоны, в которые укладываются заготовки.

Из плюсов:

- установка и демонтаж заготовок просты и надежная фиксация;
- быстрая установка и удобность.

Минусы:

- высокая цена;
- нельзя использовать СОЖ.

Механическое крепление

Механическое крепление осуществляется посредством струбцин и зажимов. В столе имеются Т-образные пазы с крепежными болтами. Такой метод фиксации подойдет для компактных, средних и малых станков, чтобы закрепить среднего и небольшого размера заготовки.

Достоинства:

- малая цена за станочную оснастку;
- неприхотливость в обслуживании.

Минусы:

- дополнительное время для закрепления;
- фреза может сломаться, если зайдет на крепежный элемент.

Электродвигатели

В основном устанавливают электродвигатели двух типов на фрезерно-гравировальные станки с ЧПУ: шаговые и серводвигатели. Данные двигатели необходимы для приведения в движение подвижных частей станка.

Шаговый двигатель – это синхронный бесщеточный двигатель с несколькими обмотками, где вал фиксируется благодаря подаче в одну из обмоток электрического тока.

Сервопривод – это мотор под контролем отрицательной обратной связи, которая корректно задает параметр перемещения. Сервопривод представляет из себя совокупность механического привода с платой управления и энкодером. Обычно сервопривод не всегда оснащен редуктором, поэтому для фиксирования вала электродвигателя применяют червячный редуктор либо электромагнитный тормоз.

Эти двигатели вполне можно применить в одном станке как вместе, так и отдельно. У каждого типа двигателей есть свои преимущества и недостатки.

Выбор электродвигателей обуславливается задачами, поставленными на производстве.

Шаговый электродвигатель отлично работает там, где нет необходимости в высокой динамике. В основном его ставят на недорогое оборудование для обработки следующих материалов: дерево, МДФ, ДСП, пластик, ПВХ.

Достоинства:

- низкая цена;
- высокоточное позиционирование;
- надежность, обеспечивается периодом эксплуатации подшипников
- без обратной связи позиционирование;
- на низкой скорости высокий крутящий момент;
- жесткая фиксация.

Недостатки:

- предел по скорости и мощности;
- при превышении номинальной нагрузки пропускает шаги;
- эффект резонанса
- на больших скоростях возможна затрудненная работа.

Сервопривод

Преимущества:

- высокоточные изменения положения и скорости движения;
- высокие динамические характеристики и большая мощность;
- уменьшает воздействие инерционности нагрузки;
- плавность работы;
- нулевая погрешность;

- безотказность и надежность.

Недостатки:

- высокая цена;
- сервопривод не фиксирует положение вала;
- сложная схема настройка и управление.

Шпиндель

Самый важный элемент в станке – это шпиндель. Конструкция рабочего органа проста, грубо говоря он представляет из себя небольшой двигатель, который соединен цанговым зажимным патроном. Шпиндель передает главное вращательное движение фрезе. Шпиндель закреплен на каретке станка фланцевым способом либо с помощью кронштейна. Перемещение шпинделя с фрезой, закрепленной в цанговом патроне, происходит по трем координатным осям вместе с порталом. На его выбор многое влияет, основные критерии: то какие материалы будут обрабатывать, режим работы, мощность. Чрезвычайно высокая стойкость к осевым и радиальным нагрузкам является отличительной чертой шпинделя фрезерно–гравировального станка с ЧПУ. Большой ресурс прочности имеет данный элемент станка. Эффективность станка и предельные размеры обрабатываемой заготовки напрямую зависят от мощности шпинделя и его надежности.

Есть перечень критериев, благодаря которым отличают для станков с ЧПУ шпиндели.

Предельная скорость вращения

- низкоскоростные – макс. 2500 мин⁻¹;
- среднескоростные – макс. 12 000 мин⁻¹. Электродвигатель передает вращение шпинделю, однако мотор работает с помощью редуктора и относительно оси шпинделя смещен;

- высокоскоростные – макс. 18 000 мин⁻¹. Здесь предъявляются высокие требования к изделию. На оси шпинделя мотор в данных механизмах зафиксирован.
- ультраскоростные – выше 18 000 мин⁻¹.

Способ смены инструмента

- ручные – их структура состоит из цанги, болта и штределя;
- автоматизированные – состоят из устройства зажима-разжима и штределя;

Вид привода

Надежность устройства закладывается на этапе проектирования, отталкиваясь от скорости вращения и мощности мотора, где шпиндель передает вращающий момент на рабочий инструмент. В шпинделе используют следующие виды привода:

- Ременной – вращающий момент передается на вал от электродвигателя при помощи ремня. Из преимуществ: малая вибрация, простая конструкция, высокая скорость вращения. Из недостатков: высокая цена, ограничение вращающего момента.
- Зубчатый – здесь установленная внутри шпиндельной бабки коробка скоростей применяется для передачи вращающего момента. Вращающий момент позволяют увеличить данные конструкции от электродвигателя, однако минусом является невысокая скорость вращения. Часто на станках зубчатая передача стоит там, где вращающий момент на шпинделе более 200 Н·м;
- В третьем типе конструкции применяется редуктор, который способен поднять вращающий момент на моторе до 400 Н·м;
- В прямом способе происходит установка электродвигателя над механизмом для фиксации фрезы. Для чистовой обработки

поверхностей данный способ удобен тем, что здесь возможно с высокой скоростью вращение шпинделя.

- Электрошпиндель – в этой конструкции электродвигатель и шпиндель соединены в одном корпусе, что способствует в широком диапазоне значений с легкостью изменять скорость вращения.

Особенности устройства шпинделя

В термоконстантных помещениях происходит сборка шпинделей для поддержания высокой надежности.

Под конусы разных типов стандартов торцы шпинделя расточены и отшлифованы. Точную установку фрезы и плотную посадку фрезерной оправки данный выбор гарантирует. Тарельчатые пружины создают нужную силу для фиксирования оправки с режущим инструментом.

Важные части шпинделя – это подшипники, СОЖ, шкивы, балансировочные кольца, корпус, ротатор.

Качественные характеристики шпинделя

- точность вращения – ГОСТ 9726-89 пункты 3.4.12, 3.4.15 для решения параметра;
- жесткость статистическую можно определить под действием сил, которые при работе возникают;
- износостойкость обуславливается материалами, из которых производят шпиндели;
- виброустойчивость зависит напрямую от предельной скорости вращения шпинделя.

Мощность шпинделя

При повышении мощности шпинделя, повышается продуктивность фрезерно-гравировального станка с ЧПУ – прямая закономерность.

Следовательно, станки с мощными шпинделями позволяют обрабатывать металлические и деревянные заготовки большой толщины за короткий промежуток времени.

Зависимость обрабатываемого материала и размера станка от мощности шпинделя:

- до 1500 Вт – устанавливаются на малые фрезерно-гравировальные станки. Печатные платы, полимеры, стекло, фанера, ювелирная работа, древесно-стружечные материалы;
- 1500 – 4 кВт – средних габаритов портального типа станки. Акрил, текстолит, твердая древесина, мягкий металл;
- 4 кВт и более – обрабатывающие центры и крупногабаритные станки. Камень, твердые материалы, металлы и сплавы.

Система охлаждения шпинделя

Тип системы охлаждения напрямую зависит от мощности и скорости вращения шпинделя. Основные виды охлаждения:

- воздушное охлаждение протекает за счет установленных в корпусе шпинделя воздухозаборников через которые проходит воздух и охлаждает его;
- водяное охлаждение обеспечивается циркулированием жидкости по трубкам через рубашку шпинделя в накопитель, расположенный рядом со станком. Накопителем может быть любая емкость, которая имеет защиту от пыли и стружки.
- масляное охлаждение – здесь масло проходя через рубашку шпинделя охлаждает его и обратно попадает в холодильную установку, где охлаждается.

Инвертор

Инвертор или частотный преобразователь применяют для создания приемлемого режима работы и оперативного управления электродвигателем. Возможна поломка шпинделя либо инвертора, если не совпадают диапазон мощностей и частот. Регулировка скорости вращения шпинделя производится благодаря изменению частоты напряжения электроэнергии. С учетом нагрузки на шпиндель электроэнергия равномерно распределяется и это позволяет ее экономить.

Из достоинств стоит отметить:

- защита от перегрева, утечек и обрыва фаз, перегрузок и перепадов напряжения;
- плавный пуск шпинделя и реверс направление вращения;
- увеличивает срок эксплуатации;
- не тратится время на техосмотр частый и техобслуживание;
- одновременное управление несколькими двигателями;
- есть система регулирования вращения;
- предоставляет надежную работу аппаратов.

Элементы передачи движения

Для преобразования вращательного движения от электродвигателя в поступательное и передачи его к частям фрезерно-гравировального станка, применяют следующие виды приводов:

- ШВП – шарико-винтовая передача;
- прямо- косозубая реечная передача.

ШВП



Рисунок 5 – Вид ШВП

Конструкция шарико-винтовой передачи состоит из вала и гайки. Форма вала на поверхности вращения выполнена в виде винтовых канавок. Обычно вал изготавливают из высокоуглеродистой стали. Гайка взаимодействует с валом при помощи шариков, которые перекатываются по каналам вала. В конструкции нет трения скольжения, а только трение-качения, что является несомненным преимуществом. Выталкивая из резьбы шарики поступательно перемещают гайку. Предусмотрен перепускной канал, благодаря которому осуществляется возврат шариков в изначальную позицию. Внутри гайки расположен замкнутый контур, по которому шарики перекатываются. Конструкция канала возврата, соединяющего два соседних витка наиболее широко распространена. На станках с ЧПУ применяют быстроходные шарико-винтовые передачи. По способу производства данные передачи делятся на: катанные, шлифованные. При помощи холодной катки изготавливают катанные. Катанные валы имеют: низкую точность, соотношении цены и качества. Шлифованные получают, применяя при изготовлении закалку и шлифовку, соответственно эти изделия имеют высокую цену и точность.

Основные технические характеристики:

- два метра максимальная длина ШВП, поскольку неизбежна деформация более длинного вала
- точность изделия от C1 до C10;

- от шага и диаметра винта зависят максимальные нагрузки на ШВП;
- скоростное линейное перемещение.

Преимущества:

- низкий коэффициент трения качения, долгий срок службы;
- наиболее высокий КПД по сравнению с другими типами передач движения;
- неприхотливость в обслуживании и ремонте;
- высокая скорость;
- низкие требования по мощности для приводов из-за малого сопротивления хода винта.

Из недостатков:

- большая возможность обратного хода при монтаже ШВП под большим углом или вертикально;
- высокая цена.

Реечная зубчатая передача

Реечная зубчатая передача – это передача, благодаря которой вращательное движение изменяется в поступательное. Тип зубчатой передачи может быть: прямозубая, косозубая, многорядная. Точность передачи зависит от точного позиционирования шестерни относительно рейки. По средней линии зубья контактируют между собой. Модуль передачи зависит от усилия применяемое в движении. Прочность и максимальную нагрузку можно разными методами поднять:

- увеличить ширину зубчатого венца, соответственно повысится площадь контакта;
- прямозубую передачу изменить на косозубую;
- увеличить диаметр шестерни;

Изготовленные из чугуна детали применяются там, где нет необходимости в точности. Прямозубая передача издает сильный шум при работе.

При больших усилиях передачи применяют косозубое соединение. Косозубая передача обеспечивает плавную работу и малое количество шума. Высокие требования предъявляются при изготовлении и калибровке данной передачи. Из минусов данной передачи стоит отметить: при нарушении угла наклона зубьев, нагрузка отклоняется, и шестерня начинает быстро разрушаться.

КПД реечной зубчатой передачи обуславливается видом зубьев:

- коническая – 0,95 ... 0,97;
- прямозубая – 0,96 ... 0,98.

Из минусов:

- большой люфт;
- сильный шум;
- низкая точность перемещения;
- на стыке реек высокая погрешность;
- не устойчива к грязи.

Станина

Станина – это основная несущая и опорная часть станка, от которой зависят жесткость, точность совместного положения и перемещения устанавливаемых на нее деталей, узлов и агрегатов.

В общих чертах от станины зависит: точность обработки, сила резания, обрабатываемый тип материала и максимальный вес заготовки, которую можно установить на станок.

Станины бывают по способу сборки:

- литые;
- сварные;
- сборные;

В зависимости от материалов, способов обработки и сборки, которыми располагают, станины бывают различных конструкций при единичном изготовлении для собственного использования. Основой для всего станка служит ось X, поскольку вдоль нее располагается вся длина.

Полная опора



Рисунок 6 – Рама целиком опирается об поверхность

"Полная опора" означает, что конструкция опирается на пол или другую несущую поверхность по всей своей длине и ширине. Такой конструктив означает, что не получится сделать портал, охватывающий рабочий стол "кольцом". Такая конструкция весьма жесткая, а главное - не прогибается под вертикальными нагрузками, своим весом и весом шпинделя. У этого варианта есть и минусы, прежде всего это необходимость установки двух передач на одну ось - двух винтов, двух гаек, двух двигателей. Используя конструкцию с полной опорой, можно не задумываться о весе материала, из которого будет станина и его влиянии на прогиб - он целиком будет передаваться на опорную плоскость.

Полная опора по оси Y и частичная по X



Рисунок 7 – Рама стоит на ножках

Рама оси X ставится на плоскость ножками, оставляя свободное пространство снизу, поперек кладутся балки, несущие рабочий стол. В результате стол получает большую жесткость при сгибе по Y, и малую - при воздействии по X. Портал в этом случае имеет замкнутый контур и две балки, соединяющие стойки портала сверху и снизу. Нижняя балка соединена с гайкой передачи, перемещаясь в свободном пространстве под рамой. Эта конструкция подразумевает установку направляющих как с фиксацией по всей длине (профильные рельсы), так и по концам (валы). В любом случае прогиба не избежать, но первый случай позволит несколько снизить погрешность, т.к. портал будет повторять изгибы оси X. Дизайн с частичной опорой по X подходит в тех случаях, когда длина оси X не слишком велика и не ставится высоких требований точности по оси Z.

Консольного типа

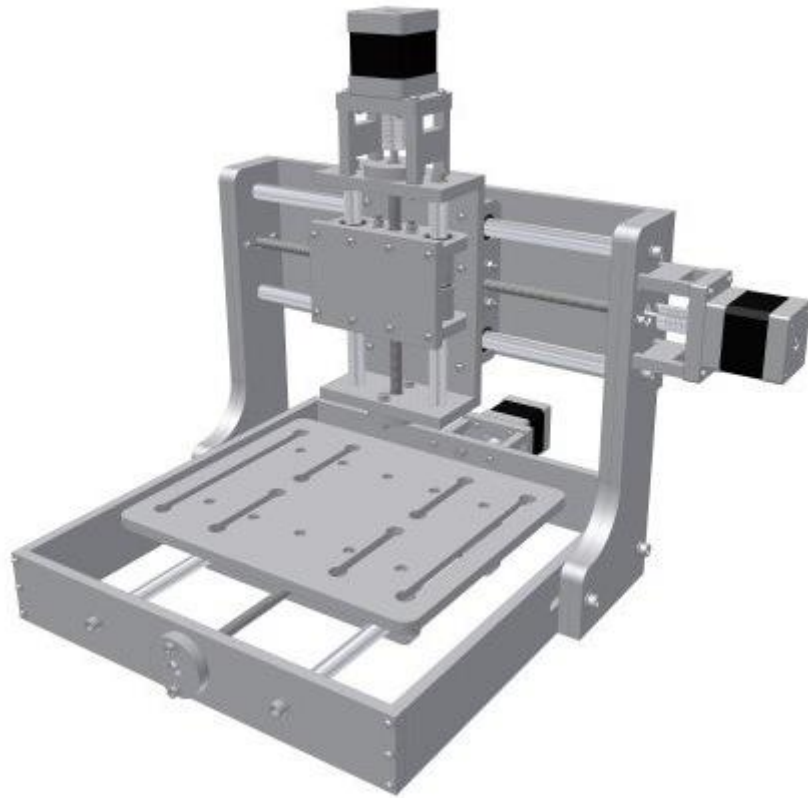


Рисунок 8 – Нижняя рама целиком уперта об поверхность

Перемещение портала по оси X заменяется перемещением рабочего стола. Это позволяет решить сразу несколько проблем, в том числе получить станину и направляющие с фиксацией по всей длине (на рисунке показан вариант без фиксации), но сокращает рабочее поле. А также преимущество в том, что требуется только один привод по оси X.

Во время разработки станины, на выбор конструкции существенное влияние оказывает материал - разные материалы по-разному деформируются.

Следующие материалы, из которых изготавливают станины:

- Ст 3, Ст 4;
- алюминиевые станочные профили;
- детали из алюминиевых сплавов типа Д16Т;
- СЧ15, СЧ16.

Направляющие

Полированные валы



Рисунок 9 – Вал

Полированные валы самый распространенный и бюджетный вид направляющих. Отличается низкой стоимостью, легкостью обработки и установки.

Полированные валы изготавливаются из высоколегированных сталей, как правило — конструкционных подшипниковых, и проходят индукционную закалку поверхности с последующей шлифовкой. Это обеспечивает продолжительное время работы и способствует меньшему износу вала. Шлифованные валы имеют идеальную поверхность и обеспечивают движение с очень маленьким трением. Валы крепятся только в 2 точках на концах, и поэтому монтаж их не представляет собой сложности.

Однако многие недобросовестные производители часто делают валы из дешевых и мягких сортов высокоуглеродистых сталей, пользуясь тем, что покупатель не всегда обладает средствами для проверки вида материала и его твердости.

Из недостатков:

- Отсутствие крепления к станине

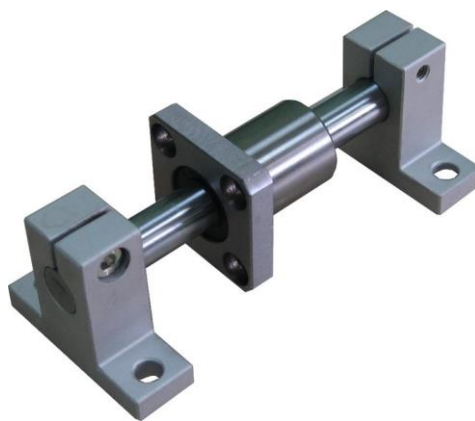


Рисунок 10 – Крепление вала

Вал крепится в двух точках на концах — это облегчает монтаж направляющих, однако приводит к тому, что направляющие устанавливаются независимо от рабочей поверхности стола. В то же время в портальных станках крайне желательно ставить направляющие в жесткой связи со столом. Такая связь снижает погрешности обработки, если рабочий стол подвергнулся искривлению, «повело винтом» — направляющие, повторяя изгибы стола, нивелируют часть погрешности.

- Провисание на большой длине:

На практике из-за провисания валы используют длиной не более 1 метра. Кроме того, важно отношение диаметра вала к его длине — для получения приемлемых результатов его значение должно быть не менее 0.05, желательно в пределах 0.06—0.1.

Виды линейных подшипников на вал

1. Шариковые втулки



Рисунок 11 – Шариковая втулка

Линейные подшипники качения имеют большие люфты по сравнению с каретками рельсовых направляющих и меньшие нагрузочные характеристики.

Помимо этого, для защиты от поворота каретки необходимо использовать как минимум два направляющих вала на одну ось. Недостатки линейных подшипников качения:

- Низкая грузоподъемность. Следствие предыдущего пункта, а также конструктивного строения линейных подшипников.
- Недолговечность. Каждый шарик линейного подшипника касается вала в одной точке, что создает очень высокое давление. Со временем шарики могут прокатать канавку на валу, после чего вал подлежит замене.
- Люфт. Бюджетные линейные подшипники многими производителями изготавливаются зачастую с весьма существенным люфтом.
- Достаточно чувствительны к пыли и стружке на валу

2. Линейные подшипники скольжения

Втулки скольжения используют трение скольжения и изготавливаются из бронзы, латуни, капролона и иных материалов.

При должном соблюдении допусков бронзовый подшипник скольжения не уступает подшипнику качения в точности и грузоподъемности, и при этом легче переносит пыль и стружку.

Кроме того, периодически, по мере износа подшипник скольжения приходится подгонять для устранения зазоров. В большинстве случаев шариковая втулка предпочтительней для начинающих, по причине их высокой доступности и взаимозаменяемости.

Шариковые профильные рельсовые направляющие

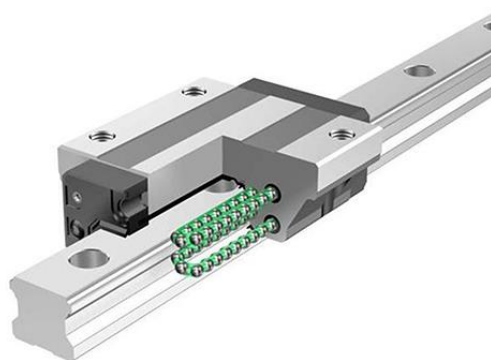


Рисунок 12 – Шариковая рельсовая направляющая

Профильные рельсовые направляющие используются там, где требуется высокая точность. Так же, как и цилиндрические, профильные рельсы крепятся непосредственно на станину станка.

В профильных рельсах сделаны специальные дорожки качения. В результате нагрузка на каретку распределяется по рабочей поверхности дорожек качения равномерно — профиль касания шарик-рельс уже не точка, а дуга.

Профильные рельсы отличаются высокой точностью и прямолинейностью, отменной грузоподъемностью, высокой износоустойчивостью, низким люфтом или полным его отсутствием.

Недостатком профильных направляющих является высокие требования к шероховатости и прямолинейности места крепления, а также сложность установки.

Как правило, рельсы и каретки выпускаются в нескольких вариантах - с преднатягом и грузоподъемностью разной степени.

Профильные рельсы сложны и дороги в производстве.

Роликовые профильные рельсовые направляющие

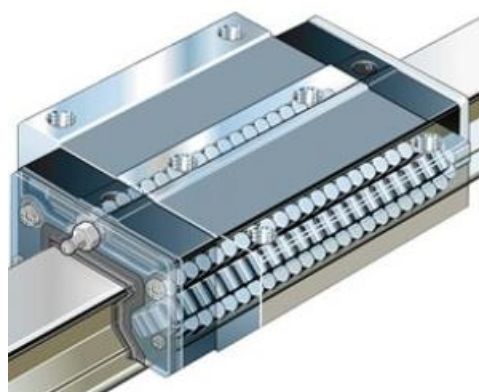


Рисунок 13 – Роликовые рельсовая направляющая

Роликовые рельсы являются подвидом профильных направляющих, у которых дорожки качения — плоские, а вместо шариков в опорных модулях использованы ролики.

Это позволило увеличить жесткость направляющей, грузоподъемность и долговечность.

Роликовые направляющие используются в высоконагруженных металлообрабатывающих станках с ЧПУ, предназначенных для фрезеровки черных металлов, стали, камня.

Аналогичное оборудование на рынке

1. Модель фрезерно-гравировального станка Cutter HD



Рисунок 14 – фрезерно-гравировальный станок Cutter HD

Стоимость станка в базовой комплектации составляет 138000 рублей

Данный станок разработан в роли доступной модели бюджетного сегмента, который подойдет для использования не только на предприятии, но и в домашней мастерской.

Масса станка: 100-260 кг.

Габариты станка (ДхШхВ), мм: 550-1400х940-1390х620.

Мощность шпинделя в базовой комплектации составляет 1,5 кВт, возможна установка шпинделя мощностью 2,2 кВт.

Шпиндель воздушного охлаждения.

Дополнительные опции: поворотная ось, аспирация, масляный туман.

2. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ WoodTec MH 6090



Рисунок 15 – фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ WoodTec MH 6090

Стоимость станка в базовой комплектации составляет 361108 рублей

Надежно зарекомендовавший себя станок давно используют для выполнения фрезерных работ в 2D и 3D пространстве. В гравировальных работах и резьбе по дереву, различных отраслях промышленности, бизнесе и хобби. Основное использование — это изготовление дверей, мебели и элементов изделий в фасадах, ювелирных мастерских, изготовление сувениров, скульптур и многое другое.

Масса станка 255 кг.

Габаритные размеры станка: 1470x1150x950 мм.

Мощность шпинделя составляет 1,5 кВт.

Шпиндель воздушного охлаждения.

1. Конструкторская часть

1.1. Техническое задание

1. Задачи, цель и исходные данные для проектирования:

Повышение производительности и мобильности станка является целью проектирования фрезерно-гравировального станка.

2. Главное содержание работы

Станок разрабатывается для создания рисунков и надписей на поверхностях из древесины, пластика и мягкого металла, на плоскости и в объеме.

3. Технические требования:

3.1. Требования к конструктивному исполнению и структуре станка.

3.1.1. Главные части, которые должны быть в станке:

- числовое программное обеспечение;
- приводы подач;
- шпиндельный узел;
- станина;
- портал станка.

3.1.2. Требования к конструкции станины

3.1.2.1. Станина – это основная несущая и опорная часть станка, от которой зависят жесткость, точность совместного положения и перемещения устанавливаемых на нее деталей, узлов и агрегатов.

3.1.2.2. Ввиду единичного изготовления станка целесообразно использовать листовой прокат и сварные конструкции.

3.1.2.3. С выдержкой всех размеров, допусков форм и параллельности плоскостей, предельных отклонений должна быть разработана станина.

3.1.2.4. Основные элементы станины:

3.1.2.4.1. Направляющие.

3.1.2.4.2. Поперечные ребра жесткости.

3.1.2.4.3. Продольные ребра жесткости.

3.1.3. Требования к конструкции шпинделя

3.1.3.1. Электрошпиндель сочетает в себе асинхронный электродвигатель, зажимной патрон для инструмента и подшипниковые узлы.

3.1.3.1.1. Электрошпиндель должен обладать способностью изменения частоты вращения, $n_{max} = 25000$ об/мин.

3.1.4. Требования к конструкции портала

3.1.4.1. Конструкция портала станка состоит из двух опорных стоек и поперечной балки на которой размещен суппорт станка. Портал перемещается вдоль станка при помощи шарико-винтовой передачи по профильным направляющим качения.

3.1.4.2. Суппорт совершает поперечное перемещение по профильным направляющим на балке портала при помощи шарико-винтовой передачи. На суппорте расположена каретка, которая перемещается вдоль оси шпинделя по профильным направляющим через шарико-винтовую передачу.

3.1.4.3. С безлюфтовой гайкой шарико-винтовая передача.

3.1.4.4. Все подачи автоматически совершаются непосредственно через шаговые двигатели.

3.1.5. Интерфейс управления числовым программным обеспечением должен быть прост в управлении и интуитивно понятен.

4. Этапы и стадии проектирования

4.1. Следующие этапы и стадии разработки предусматривает конструкторская документация при создании станка:

4.1.1. Литературный обзор.

4.1.2. Обзор аналогичных моделей.

4.1.3. Эскизный проект.

4.1.4. Технический проект.

4.1.5. Необходимые расчеты.

4.1.6. Создание технической документации.

1.2. Кинематическая схема станка

Создание кинематической схемы станка, на которой изображены все механизмы станка, является первым этапом проектирования. (Рисунок 14)

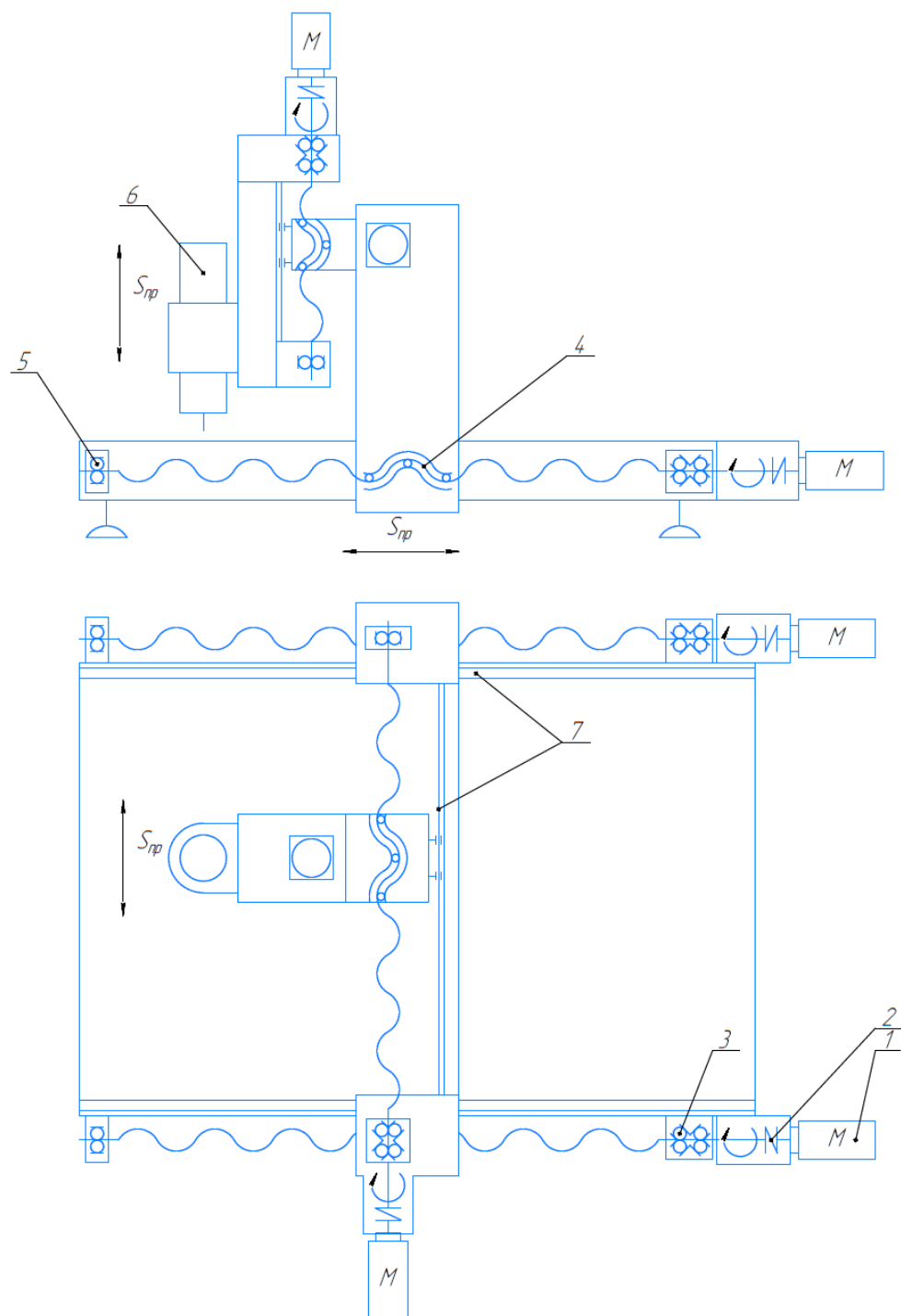


Рисунок 1.2.1 – Кинематическая схема фрезерно-гравировального станка с ЧПУ

На данной схеме изображены приводы подачи и шпиндель станка.

1. Шаговый двигатель.
2. Упругая кулачковая муфта.
3. Радиально-упорный шариковый подшипник качения.

4. Шарико-винтовая передача.
5. Радиальный подшипник качения.
6. Электрошпиндель.
7. Направляющие.

1.3. Расчет сил резания

Для выбора шпинделя, электродвигателей и приводов подач целесообразно провести расчет сил и мощности резания. Для организации легких режимов резания, будет проведен расчет тяжелого режима резания. В качестве заготовки для гравирования послужит алюминиевый брусок.

Учитывающий условия резания, поправочный коэффициент на скорость резания:

$$K_v = K_{Mv} K_{Pv} K_{Iv} = 0,72 \quad (1)$$

Где:

$$K_{Mv} = 0,8 \text{ [Табл. 4, стр. 263, 17];}$$

$$K_{Pv} = 0,9 \text{ [Табл. 5, стр. 263, 17];}$$

$$K_{Iv} = 1 \text{ [Табл. 6, стр. 263, 17].}$$

Начальные данные фрезы:

$B = 5$ мм, ширина фрезерования;

$D = 8$ мм, диаметр фрезы;

$z = 2$, число зубьев фрезы.

Скорость резания – это окружная скорость фрезы, м/мин,

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} \cdot K_v = 152,978 \text{ м/мин} \quad (2)$$

Где:

$C_v = 185,5; q = 0,45; x = 0,3; y = 0,2; u = 0,1; p = 0,1; m = 0,33$ [Табл. 39, стр. 289, 17];

$T = 15$ мин, среднее время стойкости фрезы [Табл. 40, стр. 290, 17];

$s_z = 0,07$ мм/зуб, подача на зуб [Табл. 4.40, 15];

$t = 2$ мм, глубина фрезерования [Табл 4.31, 15];

После скорости резания необходимо определить частоту вращения фрезы:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = 6090 \text{ об/мин} \quad (3)$$

Минутная подача фрезы:

$$s_M = s_z \cdot z \cdot n = 852,6 \text{ мм/мин} \quad (4)$$

Следующий этап, определение силы резания:

Окружная сила – это основной элемент силы резания при фрезеровании,
Н.

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{MP} = 839,105 \text{ Н} \quad (5)$$

Где:

$C_p = 68,2; x = 0,86; y = 0,72; u = 1; q = 0,86; w = 0$ [Табл. 41, стр. 291, 17]

$K_{MP} = 2,75$ [Табл. 10, стр. 265, 17]

Расчет крутящего момента на шпинделе:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = 33,564 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (6)$$

Где D – диаметр фрезы, мм.

Эффективная мощность резания:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = 2,097 \text{ кВт} \quad (7)$$

Отталкиваясь от расчета, подберем ближайший электрошпиндель марки GDK80-24Z/2.2 мощностью 2,2 кВт.

1.4. Расчет приводов подачи

Будет произведен расчет шарико-винтовой передачи (ШВП) на устойчивость, грузоподъемность, прочность, а также подбор электродвигателя по формулам представленным в книгах [17], [18].

Расчет привода перемещения портала

Начальные данные:

Сила резания $F_{рез} = 839,105$ Н;

Длина хода рабочего органа $l = 900$ мм;

Твердость рабочих поверхностей HRC = 59-63;

Скорость быстрого хода $V_{бх} = 5$ м/мин;

Масса портала $m = 100$ кг;

Номинальный диаметр ШВП $d_o = 25$ мм;

Шаг резьбы $p = 5$ мм;

Осевая жесткость: 500 Н/мкм;

Статическая грузоподъемность $C_o = 28100$ Н;

Динамическая грузоподъемность $C = 16580$ Н;

Момент холостого хода $T_{хх} = 0,08...0,32$ Н·м.

1. Расчет статической грузоподъемности

Угол наклона винтовой линии резьбы

$$\beta = \arctg \frac{p}{\pi \cdot d_o} = \arctg 0,064 \approx 3,66^\circ$$

Диаметр шарика $d_1 \approx 0,6p = 0,6 \cdot 5 = 3$ мм

$k_z = 0,8$ – коэффициент, учитывающий погрешность шага резьбы

$\alpha = 45^\circ$, угол контакта шарика с винтом и гайкой

$u = 6$, количество рабочих витков ШВП

Статическая грузоподъемность:

$$C_o = 70k_z d_1 (\pi d_o - 3p) u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = 2889 \text{ Н} \quad (8)$$

Условие $C_o \leq [C_o]$ выполняется

2. Расчет динамической грузоподъемности

Количество рабочих витков передачи $K_6 = 6$

Коэффициент долговечности

$$f_h = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{10000}{500}} = 2,714$$

$L_h = (5 \dots 10) \cdot 10^3$ ч, долговечность;

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{\min} ;

$$n_{S \min} = \frac{S_{\min}}{p} = 20 \text{ об/мин}$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{\max} ;

$$n_{S \max} = \frac{S_{\max}}{p} = 200 \text{ об/мин}$$

Для облегчения расчета за эквивалентную частоту вращения примем частоту, соответствующую средней частоте вращения двигателя, т. о.

$$n_{\text{э}} = 0,5(n_{S \min} + n_{S \max}) = 0,5(20 + 200) = 110 \text{ об/мин}$$

Коэффициент частоты вращения

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{n_{\text{э}}}} = 0,969$$

Коэффициент твердости материала $f_H = 1$

Коэффициент характера нагрузки для станка $f_W = 1,2$

Эквивалентная осевая нагрузка:

Где, $N = m \cdot g$

$f = 0,16$, коэффициент трения в направляющих

$$F_{\text{экв}} = Q = F_{\text{рез}} + fN = 839,105 + 0,16 \cdot 100 \cdot 9,8 = 995,905 \text{ Н}$$

Динамическая грузоподъемность

$$C = \frac{f_h f_W}{f_n f_H} \cdot \frac{F_{\text{экв}}}{K_B} = 557,871 \text{ Н} \quad (9)$$

Обязательное условие: $C \leq [C]$

$$557,871 \leq 16580$$

Условие выполняется.

3. По критической осевой силе расчет винта на устойчивость

Для поддержания устойчивости ходового винта его диаметр d_o , м, должен быть:

$$d_o \geq \sqrt[4]{\frac{64k_y Q_{\text{max}} (\mu l)^2}{\pi^3 E}} = 0,018 \text{ м} \quad (10)$$

$E = 210 \cdot 10^9$ МПа, модуль Юнга;

l – рабочая длина винта, м;

$Q_{\text{max}} = F_{\text{экв}} = 995,905$ Н;

μ – коэффициент, учитывающий тип заделки концов ходового винта; при одной фиксирующей и второй свободной опоре $\mu = 2$;

$k_y = 3$, коэффициент запаса устойчивости;

$d_o \geq 0,018$ м – условие выполняется;

4. По критической частоте вращения расчет винта на устойчивость

Максимальная частота вращения винта:

$$n_B = \frac{10^3 k V_{6x}}{p} = 1200 \text{ об/мин} \quad (11)$$

$k = 1,2 \dots 1,5$ – коэффициент несовпадения частоты вращения винта с частотой его собственных колебаний.

Для обеспечения устойчивости диаметр винта, см:

$$d_o \geq 10^{-7} \mu l \cdot n_B = 0,022 \text{ см} \quad (12)$$

l – рабочая длина винта, см;

Условие выполняется.

5. Расчет жесткости привода подачи

В одном витке гайки число рабочих шариков

$$Z_B = \frac{\pi d_o}{d_1} - \frac{3p}{d_1} \approx 21$$

Минимально допустимая сила предварительного натяга

$$P_{Hmin} = \frac{Q}{2k_z Z_B K_B \sin \alpha} = 6,99 \text{ Н} \quad (13)$$

Где:

$$Q = F_{\text{экв}} = 995,905 \text{ Н};$$

Сила натяга

$$P_H = P_{Hmin} (1,5 \dots 2) = 6,99 \cdot 1,8 = 12,58 \text{ Н} \quad (14)$$

Жесткость передачи винт-гайка качения $J_{ВГК}$ с предварительным натягом и возвратом шариков через вкладыши

$$J_{ВГК} = 6K_\delta K_B \left(\frac{d_o}{p} - 1 \right) \sqrt[3]{0,1 P_H p} = 106,33 \text{ Н/мкм} \quad (15)$$

Где $K_{\delta} = 0,4$ – коэффициент, учитывающий погрешности изготовления гайки;

Жесткость ходового винта J_B при одностороннем закреплении определяется:

$$J_B = \frac{\pi d_o^2 E}{4l} = 114 \text{ Н/мкм} \quad (16)$$

d_o – в м; l – рабочая длина винта, м;

Фактическая податливость привода подачи определяется:

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_B} + \frac{1}{J_{ВГК}} = 0,018 \text{ Н/мкм} \quad (17)$$

Жесткость привода подачи $J = 55,56 \text{ Н/мкм}$

Собственная частота колебаний механической части привода

f_1 – частота импульсов, вырабатываемая системой измерения перемещений, для малых и средних станков, $f_1 = 15 \dots 25 \text{ Гц}$.

$$f = (3 \dots 3,5)f_1 = 60 \text{ Гц}$$

Требуемая жесткость $J_{ТР}$ привода по условию отсутствия резонанса определяется

$$J_{ТР} = 4 \cdot 10^{-6} \pi^2 f^2 m = 14,198 \text{ Н/мкм} \quad (18)$$

m – масса портала, кг;

Должно выполняться условие:

$$J \geq J_{ТР} \quad (19)$$
$$55,56 \geq 14,198$$

Условие выполняется

Подбор электродвигателя для привода подач:

1. Определение частот вращения двигателя

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{min} ;

$$n_{S min} = \frac{S_{min}}{p} = 20 \text{ об/мин} \quad (20)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{max} ;

$$n_{S max} = \frac{S_{max}}{p} = 200 \text{ об/мин} \quad (21)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая V_{6x}

$$n_{V6x} = \frac{1000V_{6x}}{ip} = 1000 \text{ об/мин} \quad (22)$$

2. Определение расчетных моментов на валу двигателя

$$M_p = \frac{F_{рез} p i}{2\pi \eta_B \eta_p} = 0,742 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (23)$$

p – шаг ходового винта, мм; i – передаточное отношение редуктора; $\eta_B = 0,85 \dots 0,9$ – КПД шарико-винтовой передачи; η_p – КПД редуктора (редуктор отсутствует).

Приведенный момент от силы тяжести узлов, перемещаемых вертикально или наклонно, Н·м

$$M_G = \frac{G \cdot p \cdot i \cdot \sin \alpha}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0 \quad (24)$$

где G – вес перемещаемых узлов; α – угол наклона направляющих, т. к. привод расположен горизонтально $\alpha = 0$

Приведенный момент от сил трения в направляющих, Н·м:

$$M_{ТН} = \frac{F_{ТН} \cdot p \cdot i}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,14 \text{ Н} \quad (25)$$

$$F_{ТН} = fN \approx 160 \text{ Н}$$

Где, $N = m \cdot g$; N – нормальная реакция на гранях направляющих, равна весу G перемещаемых узлов, Н; $f = 0,16$ – коэффициент трения для направляющих.

Приведенный момент от сил трения в шарико-винтовой передаче:

$$M_{ТВ} = \frac{M_{ХХ} \cdot i}{\eta_p} = 0,1 \text{ Н} \quad (26)$$

где $M_{ХХ} = 0,1 \text{ Н}$ – момент холостого хода шарико-винтовой передачи (редуктор отсутствует в данной передаче);

Средний диаметр подшипника $d_m = 0,5(D + d) = 0,5(15 + 32) = 0,0235 \text{ м}$, где D – диаметр внешнего кольца подшипника, d – диаметр внутреннего кольца подшипника; k – коэффициент, учитывающий конструкцию опор винта (при одной фиксированной опоре $k=2$); $\mu = 0,003 \dots 0,004$ – условный коэффициент трения.

Приведенный момент от сил трения в опорах ходового винта:

$$M_{ТП} = \frac{(F_{рез} + F_{ТН}) \cdot \mu d_m \cdot ki}{3 \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,07 \text{ Н} \quad (27)$$

Расчетный статический момент привода при установившемся движении рабочего органа на быстром ходу

$$M_{V6} = M_G + M_{ТН} + M_{ТВ} + M_{ТП} = 0,31 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (28)$$

При обработке резанием

$$M_S = M_G + M_{ТН} + M_{ТВ} + M_{ТП} + M_P = 1,052 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (29)$$

3. Предварительный подбор электродвигателя

Выберем шаговый двигатель АД 200-31 с параметрами:

Номинальный момент $M_{ном} = 3,04 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Момент инерции ротора $I_D = 0,00008 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

4. Определение динамического момента на двигателе

Момент инерции линейно перемещаемых узлов:

$$I_y = \frac{m \cdot i^2 p^2}{4\pi^2} = \frac{100 \cdot 0,005^2}{4\pi^2} = 0,00006 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (30)$$

Момент инерции ходового винта:

$$I_B = \frac{\pi \cdot d_o^4 L \rho}{32} = 0,0003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (31)$$

d_o, L – номинальный диаметр и рабочая длина ходового винта, м; $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали.

Момент инерции привода:

$$I_{\Pi} = I_y + I_B = 0,00036 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (32)$$

Время разгона

$$t = \frac{V_{6x}}{60a} = 0,1 \text{ с} \quad (33)$$

Где $a = 0,8 \text{ м/с}^2$ – линейное ускорение для станков с ЧПУ нормальной точности.

Угловое ускорение двигателя

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot n_{V6x}}{30 \cdot \eta_B \cdot t} = 1163 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \quad (34)$$

Динамический момент на валу шагового двигателя:

$$M_D = (I_{\Pi} + I_D) \varepsilon = 0,51 \text{ Н} \quad (35)$$

5. Определение расчетного момента на двигателе при неустановившемся режиме работы

$$M_{НР} = M_G + M_{ТН} + M_{ТВ} + M_{ТП} + M_D = 0,82 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (36)$$

6. Проверка выбора двигателя

$$M_{НОМ} \geq M_{НР} \quad (37)$$
$$3,04 \geq 0,82$$

Условие выполняется

Расчет привода суппорта

Начальные данные:

Сила резания $F_{рез} = 839,105 \text{ Н}$;

Длина хода рабочего органа $l = 708 \text{ мм}$;

Твердость рабочих поверхностей $\text{HRC} = 59\text{-}63$;

Скорость быстрого хода $V_{бх} = 2 \text{ м/мин}$;

Масса суппорта $m = 42 \text{ кг}$;

Номинальный диаметр ШВП $d_o = 16 \text{ мм}$;

Шаг резьбы $p = 2,5 \text{ мм}$;

Осевая жесткость: 230 Н/мкм ;

Статическая грузоподъемность $C_o = 9600 \text{ Н}$;

Динамическая грузоподъемность $C = 5000 \text{ Н}$;

Момент холостого хода $T_{хх} = 0,05 \dots 0,20 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

1. Расчет статической грузоподъемности

Угол наклона винтовой линии резьбы

$$\beta = \arctg \frac{p}{\pi \cdot d_o} = \arctg 0,05 \approx 2,86^\circ$$

Диаметр шарика $d_1 \approx 0,6p = 0,6 \cdot 2,5 = 1,5 \text{ мм}$

$k_z = 0,8$ – коэффициент, учитывающий погрешность шага резьбы

$\alpha = 45^\circ$, угол контакта шарика с винтом и гайкой

$u = 6$, количество рабочих витков ШВП

Статическая грузоподъемность:

$$C_o = 70k_z d_1 (\pi d_o - 3p) u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = 760 \text{ Н} \quad (38)$$

Условие $C_o \leq [C_o]$ выполняется

2. Расчет динамической грузоподъемности

Количество рабочих витков передачи $K_6 = 6$

Коэффициент долговечности

$$f_h = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{10000}{500}} = 2,714$$

$L_h = (5 \dots 10) \cdot 10^3$ ч, долговечность;

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{min} ;

$$n_{S_{min}} = \frac{S_{min}}{p} = 40 \text{ об/мин}$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{max} ;

$$n_{S_{max}} = \frac{S_{max}}{p} = 400 \text{ об/мин}$$

Для облегчения расчета за эквивалентную частоту вращения примем частоту, соответствующую средней частоте вращения двигателя, т. о.

$$n_{\text{э}} = 0,5(n_{S_{min}} + n_{S_{max}}) = 0,5(40 + 400) = 220 \text{ об/мин}$$

Коэффициент частоты вращения

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{n_{\text{э}}}} = 0,769$$

Коэффициент твердости материала $f_H = 1$

Коэффициент характера нагрузки для станка $f_W = 1,2$

Эквивалентная осевая нагрузка:

Где, $N = m \cdot g$

$f = 0,16$, коэффициент трения в направляющих

$$F_{\text{ЭКВ}} = Q = F_{\text{рез}} + fN = 839,105 + 0,16 \cdot 42 \cdot 9,8 = 904,961 \text{ Н}$$

Динамическая грузоподъемность

$$C = \frac{f_n f_W}{f_n f_H} \cdot \frac{F_{\text{ЭКВ}}}{K_B} = 638,768 \text{ Н} \quad (39)$$

Обязательное условие: $C \leq [C]$

$$638,768 \leq 5000$$

Условие выполняется.

3. По критической осевой силе расчет винта на устойчивость

Для поддержания устойчивости ходового винта его диаметр d_o , м, должен быть:

$$d_o \geq \sqrt[4]{\frac{64k_y Q_{\text{max}} (\mu l)^2}{\pi^3 E}} = 0,015 \text{ м} \quad (40)$$

$E = 210 \cdot 10^9$ МПа, модуль Юнга;

l – рабочая длина винта, м;

$Q_{\text{max}} = F_{\text{ЭКВ}} = 904,961$ Н;

μ – коэффициент, учитывающий тип заделки концов ходового винта; при одной фиксирующей и второй свободной опоре $\mu = 2$;

$k_y = 3$, коэффициент запаса устойчивости;

$d_o \geq 0,015$ м – условие выполняется;

4. По критической частоте вращения расчет винта на устойчивость

Максимальная частота вращения винта:

$$n_B = \frac{10^3 k V_{\text{бх}}}{p} = 960 \text{ об/мин} \quad (41)$$

$k = 1,2 \dots 1,5$ – коэффициент несовпадения частоты вращения винта с частотой его собственных колебаний.

Для обеспечения устойчивости диаметр винта, см:

$$d_o \geq 10^{-7} \mu l \cdot n_B = 0,014 \text{ см} \quad (42)$$

l – рабочая длина винта, см;

Условие выполняется.

5. Расчет жесткости привода подачи

В одном витке гайки число рабочих шариков

$$Z_B = \frac{\pi d_o}{d_1} - \frac{3p}{d_1} \approx 29$$

Минимально допустимая сила предварительного натяга

$$P_{Hmin} = \frac{Q}{2k_Z Z_B K_B \sin \alpha} = 4,6 \text{ Н} \quad (43)$$

Где:

$$Q = F_{\text{экр}} = 904,961 \text{ Н};$$

Сила натяга

$$P_H = P_{Hmin} (1,5 \dots 2) = 4,6 \cdot 1,8 = 8,28 \text{ Н} \quad (44)$$

Жесткость передачи винт-гайка качения $J_{ВГК}$ с предварительным натягом и возвратом шариков через вкладыши

$$J_{ВГК} = 6K_\delta K_B \left(\frac{d_o}{p} - 1 \right) \sqrt[3]{0,1 P_H p} = 99,1 \text{ Н/мкм} \quad (45)$$

Где $K_\delta = 0,4$ – коэффициент, учитывающий погрешности изготовления гайки;

Жесткость ходового винта J_B при одностороннем закреплении определяется:

$$J_B = \frac{\pi d_o^2 E}{4l} = 59,6 \text{ Н/мкм} \quad (46)$$

d_o – в м; l – рабочая длина винта, м;

Фактическая податливость привода подачи определяется:

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_B} + \frac{1}{J_{ВГК}} = 0,027 \text{ Н/мкм} \quad (47)$$

Жесткость привода подачи $J = 37,037 \text{ Н/мкм}$

Собственная частота колебаний механической части привода

f_l – частота импульсов, вырабатываемая системой измерения перемещений, для малых и средних станков, $f_l = 15 \dots 25 \text{ Гц}$.

$$f = (3 \dots 3,5)f_l = 60 \text{ Гц}$$

Требуемая жесткость $J_{ТР}$ привода по условию отсутствия резонанса определяется

$$J_{ТР} = 4 \cdot 10^{-6} \pi^2 f^2 m = 5,96 \text{ Н/мкм} \quad (48)$$

m – масса портала, кг;

Должно выполняться условие:

$$J \geq J_{ТР} \quad (49)$$

$$37,037 \geq 5,96$$

Условие выполняется

Подбор электродвигателя для привода подач:

1. Определение частот вращения двигателя

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{\min} ;

$$n_{S \min} = \frac{S_{\min}}{p} = 40 \text{ об/мин} \quad (50)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{\max} ;

$$n_{S \max} = \frac{S_{\max}}{p} = 400 \text{ об/мин} \quad (51)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая $V_{\text{бх}}$

$$n_{V_{6x}} = \frac{1000V_{6x}}{ip} = 800 \text{ об/мин} \quad (52)$$

2. Определение расчетных моментов на валу двигателя

$$M_p = \frac{F_{\text{рез}} p i}{2\pi \eta_B \eta_p} = 0,371 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (53)$$

p – шаг ходового винта, мм; i – передаточное отношение редуктора; $\eta_B = 0,85 \dots 0,9$ – КПД шарико-винтовой передачи; η_p – КПД редуктора (редуктор отсутствует).

Приведенный момент от силы тяжести узлов, перемещаемых вертикально или наклонно, Н·м

$$M_G = \frac{G \cdot p \cdot i \cdot \sin \alpha}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0 \quad (54)$$

где G – вес перемещаемых узлов; α – угол наклона направляющих, т. к. привод расположен горизонтально $\alpha = 0$

Приведенный момент от сил трения в направляющих, Н·м:

$$M_{\text{ТН}} = \frac{F_{\text{ТН}} \cdot p \cdot i}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,029 \text{ Н} \quad (55)$$

$$F_{\text{ТН}} = fN \approx 66 \text{ Н}$$

Где, $N = m \cdot g$; N – нормальная реакция на гранях направляющих, равна весу G перемещаемых узлов, Н; $f = 0,16$ – коэффициент трения для направляющих.

Приведенный момент от сил трения в шарико-винтовой передаче:

$$M_{\text{ТВ}} = \frac{M_{\text{ХХ}} \cdot i}{\eta_p} = 0,1 \text{ Н} \quad (56)$$

где $M_{\text{ХХ}} = 0,1 \text{ Н}$ – момент холостого хода шарико-винтовой передачи (редуктор отсутствует в данной передаче);

Средний диаметр подшипника $d_m = 0,5(D + d) = 0,5(12 + 28) = 0,02$ м, где D – диаметр внешнего кольца подшипника, d – диаметр внутреннего кольца подшипника; k – коэффициент, учитывающий конструкцию опор винта (при одной фиксированной опоре $k=2$); $\mu = 0,003 \dots 0,004$ м – условный коэффициент трения.

Приведенный момент от сил трения в опорах ходового винта:

$$M_{ТП} = \frac{(F_{рез} + F_{ТН}) \cdot \mu d_m \cdot ki}{3 \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,054 \text{ Н} \quad (57)$$

Расчетный статический момент привода при установившемся движении рабочего органа на быстром ходу

$$M_{V6} = M_G + M_{ТН} + M_{ТВ} + M_{ТП} = 0,183 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (58)$$

При обработке резанием

$$M_S = M_G + M_{ТН} + M_{ТВ} + M_{ТП} + M_P = 0,554 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (59)$$

3. Предварительный подбор электродвигателя

Выберем шаговый двигатель АД 200-31 с параметрами:

Номинальный момент $M_{ном} = 3,04 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Момент инерции ротора $I_D = 0,00008 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

4. Определение динамического момента на двигателе

Момент инерции линейно перемещаемых узлов:

$$I_y = \frac{m \cdot i^2 p^2}{4\pi^2} = \frac{42 \cdot 0,0025^2}{4\pi^2} = 0,000007 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (60)$$

Момент инерции ходового винта:

$$I_B = \frac{\pi \cdot d_o^4 L \rho i^2}{32} = 0,00004 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (61)$$

d_o, L – номинальный диаметр и рабочая длина ходового винта, м; $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность стали.

Момент инерции привода:

$$I_{\Pi} = I_{y} + I_{B} = 0,000047 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (62)$$

Время разгона

$$t = \frac{V_{\text{бх}}}{60a} = 0,04 \text{ с} \quad (63)$$

Где $a = 0,8 \text{ м/с}^2$ – линейное ускорение для станков с ЧПУ нормальной точности.

Угловое ускорение двигателя

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot n_{V_{\text{бх}}}}{30 \cdot \eta_B \cdot t} = 2326 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \quad (64)$$

Динамический момент на валу шагового двигателя:

$$M_{\text{д}} = (I_{\Pi} + I_{\text{д}})\varepsilon = 0,3 \text{ Н} \quad (65)$$

5. Определение расчетного момента на двигателе при неустановившемся режиме работы

$$M_{\text{НР}} = M_G + M_{\text{ТН}} + M_{\text{ТВ}} + M_{\text{ТП}} + M_{\text{д}} = 0,483 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (66)$$

6. Проверка выбора двигателя

$$M_{\text{НОМ}} \geq M_{\text{НР}} \\ 3,04 \geq 0,483 \quad (67)$$

Условие выполняется

Расчет привода каретки

Начальные данные:

Сила резания $F_{\text{рез}} = 839,105 \text{ Н}$;

Длина хода рабочего органа $l = 341 \text{ мм}$;

Твердость рабочих поверхностей HRC = 59-63;

Скорость быстрого хода $V_{\text{бх}} = 2 \text{ м/мин}$;

Масса суппорта $m = 26$ кг;

Номинальный диаметр ШВП $d_o = 16$ мм;

Шаг резьбы $p = 2,5$ мм;

Осевая жесткость: 230 Н/мкм;

Статическая грузоподъемность $C_o = 9600$ Н;

Динамическая грузоподъемность $C = 5000$ Н;

Момент холостого хода $T_{ХХ} = 0,05 \dots 0,20$ Н·м.

1. Расчет статической грузоподъемности

Угол наклона винтовой линии резьбы

$$\beta = \arctg \frac{p}{\pi \cdot d_o} = \arctg 0,05 \approx 2,86^\circ$$

Диаметр шарика $d_1 \approx 0,6p = 0,6 \cdot 2,5 = 1,5$ мм

$k_z = 0,8$ – коэффициент, учитывающий погрешность шага резьбы

$\alpha = 45^\circ$, угол контакта шарика с винтом и гайкой

$u = 6$, количество рабочих витков ШВП

Статическая грузоподъемность:

$$C_o = 70k_z d_1 (\pi d_o - 3p) u \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta = 760 \text{ Н} \quad (68)$$

Условие $C_o \leq [C_o]$ выполняется

2. Расчет динамической грузоподъемности

Количество рабочих витков передачи $K_e = 6$

Коэффициент долговечности

$$f_h = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{10000}{500}} = 2,714$$

$L_h = (5 \dots 10) \cdot 10^3$ ч, долговечность;

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{min} ;

$$n_{S min} = \frac{S_{min}}{p} = 40 \text{ об/мин}$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{max} ;

$$n_{S max} = \frac{S_{max}}{p} = 400 \text{ об/мин}$$

Для облегчения расчета за эквивалентную частоту вращения примем частоту, соответствующую средней частоте вращения двигателя, т. о.

$$n_{\Sigma} = 0,5(n_{S min} + n_{S max}) = 0,5(40 + 400) = 220 \text{ об/мин}$$

Коэффициент частоты вращения

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{n_{\Sigma}}} = 0,769$$

Коэффициент твердости материала $f_H = 1$

Коэффициент характера нагрузки для станка $f_W = 1,2$

Эквивалентная осевая нагрузка:

Где, $N = m \cdot g$

$f = 0,16$, коэффициент трения в направляющих

$$F_{\Sigma KB} = Q = F_{рез} + fN = 839,105 + 0,16 \cdot 26 \cdot 9,8 = 879,873 \text{ Н}$$

Динамическая грузоподъемность

$$C = \frac{f_H f_W}{f_n f_H} \cdot \frac{F_{\Sigma KB}}{K_B} = 621,06 \text{ Н} \quad (69)$$

Обязательное условие: $C \leq [C]$

$$621,06 \leq 5000$$

Условие выполняется.

3. По критической осевой силе расчет винта на устойчивость

Для поддержания устойчивости ходового винта его диаметр d_o , м, должен быть:

$$d_o \geq \sqrt[4]{\frac{64k_y Q_{max}(\mu l)^2}{\pi^3 E}} = 0,01 \text{ м} \quad (70)$$

$E = 210 \cdot 10^9$ МПа, модуль Юнга;

l – рабочая длина винта, м;

$Q_{max} = F_{\text{экв}} = 879,873$ Н;

μ – коэффициент, учитывающий тип заделки концов ходового винта; при одной фиксирующей и второй свободной опоре $\mu = 2$;

$k_y = 3$, коэффициент запаса устойчивости;

$d_o \geq 0,01$ м – условие выполняется;

4. По критической частоте вращения расчет винта на устойчивость

Максимальная частота вращения винта:

$$n_b = \frac{10^3 k V_{\text{бх}}}{p} = 960 \text{ об/мин} \quad (71)$$

$k = 1,2 \dots 1,5$ – коэффициент несовпадения частоты вращения винта с частотой его собственных колебаний.

Для обеспечения устойчивости диаметр винта, см:

$$d_o \geq 10^{-7} \mu l \cdot n_b = 0,007 \text{ см} \quad (72)$$

l – рабочая длина винта, см;

Условие выполняется.

5. Расчет жесткости привода подачи

В одном витке гайки число рабочих шариков

$$Z_B = \frac{\pi d_0}{d_1} - \frac{3p}{d_1} \approx 29$$

Минимально допустимая сила предварительного натяга

$$P_{Hmin} = \frac{Q}{2k_z Z_B K_B \sin \alpha} = 4,5 \text{ Н} \quad (73)$$

Где:

$$Q = F_{\text{экр}} = 879,873 \text{ Н};$$

Сила натяга

$$P_H = P_{Hmin} (1,5 \dots 2) = 4,5 \cdot 1,8 = 8,1 \text{ Н} \quad (74)$$

Жесткость передачи винт-гайка качения $J_{ВГК}$ с предварительным натягом и возвратом шариков через вкладыши

$$J_{ВГК} = 6K_\delta K_B \left(\frac{d_o}{p} - 1 \right) \sqrt[3]{0,1 P_H p} = 98,38 \text{ Н/мкм} \quad (75)$$

Где $K_\delta = 0,4$ – коэффициент, учитывающий погрешности изготовления гайки;

Жесткость ходового винта J_B при одностороннем закреплении определяется:

$$J_B = \frac{\pi d_o^2 E}{4l} = 124 \text{ Н/мкм} \quad (76)$$

d_o – в м; l – рабочая длина винта, м;

Фактическая податливость привода подачи определяется:

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_B} + \frac{1}{J_{ВГК}} = 0,018 \text{ Н/мкм} \quad (77)$$

Жесткость привода подачи $J = 55,56 \text{ Н/мкм}$

Собственная частота колебаний механической части привода

f_1 – частота импульсов, вырабатываемая системой измерения перемещений, для малых и средних станков, $f_1 = 15 \dots 25$ Гц.

$$f = (3 \dots 3,5)f_1 = 60 \text{ Гц}$$

Требуемая жесткость J_{TP} привода по условию отсутствия резонанса определяется

$$J_{TP} = 4 \cdot 10^{-6} \pi^2 f^2 m = 3,69 \text{ Н/мкм} \quad (78)$$

m – масса портала, кг;

Должно выполняться условие:

$$J \geq J_{TP} \quad (79)$$

$$55,56 \geq 3,69$$

Условие выполняется

Подбор электродвигателя для привода подач:

1. Определение частот вращения двигателя

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{min} ;

$$n_{S \min} = \frac{S_{min}}{p} = 40 \text{ об/мин} \quad (80)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая S_{max} ;

$$n_{S \max} = \frac{S_{max}}{p} = 400 \text{ об/мин} \quad (81)$$

Частота вращения двигателя, соответствующая $V_{бх}$

$$n_{V_{бх}} = \frac{1000V_{бх}}{ip} = 800 \text{ об/мин} \quad (82)$$

2. Определение расчетных моментов на валу двигателя

$$M_P = \frac{F_{рез} p i}{2\pi \eta_B \eta_p} = 0,371 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (83)$$

p – шаг ходового винта, мм; i – передаточное отношение редуктора; $\eta_B = 0,85 \dots 0,9$ – КПД шарико-винтовой передачи; η_p – КПД редуктора (редуктор отсутствует).

Приведенный момент от силы тяжести узлов, перемещаемых вертикально или наклонно, Н·м

$$M_G = \frac{G \cdot p \cdot i \cdot \sin\alpha}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,113 \text{ Н} \quad (84)$$

где G – вес перемещаемых узлов; α – угол наклона направляющих, т. к. привод расположен вертикально $\alpha = 90$

Приведенный момент от сил трения в направляющих, Н·м:

$$M_{ТН} = \frac{F_{ТН} \cdot p \cdot i}{2\pi \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,018 \text{ Н} \quad (85)$$

$$F_{ТН} = fN \approx 41 \text{ Н}$$

Где, $N = m \cdot g$; N – нормальная реакция на гранях направляющих, равна весу G перемещаемых узлов, Н; $f = 0,16$ – коэффициент трения для направляющих.

Приведенный момент от сил трения в шарико-винтовой передаче:

$$M_{ТВ} = \frac{M_{ХХ} \cdot i}{\eta_p} = 0,1 \text{ Н} \quad (86)$$

где $M_{ХХ} = 0,1 \text{ Н}$ – момент холостого хода шарико-винтовой передачи (редуктор отсутствует в данной передаче);

Средний диаметр подшипника $d_m = 0,5(D + d) = 0,5(12 + 28) = 0,02 \text{ м}$, где D – диаметр внешнего кольца подшипника, d – диаметр внутреннего кольца подшипника; k – коэффициент, учитывающий конструкцию опор винта (при одной фиксированной опоре $k=2$); $\mu = 0,003 \dots 0,004$ – условный коэффициент трения.

Приведенный момент от сил трения в опорах ходового винта:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{(F_{\text{рез}} + F_{\text{ТН}}) \cdot \mu d_m \cdot ki}{3 \cdot \eta_B \cdot \eta_p} = 0,052 \text{ Н} \quad (87)$$

Расчетный статический момент привода при установившемся движении рабочего органа на быстром ходу

$$M_{V6} = M_G + M_{\text{ТН}} + M_{\text{ТВ}} + M_{\text{ТП}} = 0,283 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (88)$$

При обработке резанием

$$M_s = M_G + M_{\text{ТН}} + M_{\text{ТВ}} + M_{\text{ТП}} + M_P = 0,654 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (89)$$

3. Предварительный подбор электродвигателя

Выберем шаговый двигатель АД 200-31 с параметрами:

Номинальный момент $M_{\text{ном}} = 3,04 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Момент инерции ротора $I_D = 0,00008 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

4. Определение динамического момента на двигателе

Момент инерции линейно перемещаемых узлов:

$$I_y = \frac{m \cdot i^2 p^2}{4\pi^2} = \frac{26 \cdot 0,0025^2}{4\pi^2} = 0,000004 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (90)$$

Момент инерции ходового винта:

$$I_B = \frac{\pi \cdot d_o^4 L \rho i^2}{32} = 0,00002 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (91)$$

d_o, L – номинальный диаметр и рабочая длина ходового винта, м; $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность стали.

Момент инерции привода:

$$I_{\text{П}} = I_y + I_B = 0,000024 \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (92)$$

Время разгона

$$t = \frac{V_{6x}}{60a} = 0,04 \text{ с} \quad (93)$$

Где $a = 0,8 \text{ м/с}^2$ – линейное ускорение для станков с ЧПУ нормальной точности.

Угловое ускорение двигателя

$$\varepsilon = \frac{\pi \cdot n_{\text{вбх}}}{30 \cdot \eta_B \cdot t} = 2326 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \quad (94)$$

Динамический момент на валу шагового двигателя:

$$M_{\text{д}} = (I_{\text{п}} + I_{\text{д}})\varepsilon = 0,242 \text{ Н} \quad (95)$$

5. Определение расчетного момента на двигателе при неустановившемся режиме работы

$$M_{\text{НР}} = M_G + M_{\text{ТН}} + M_{\text{ТВ}} + M_{\text{ТП}} + M_{\text{д}} = 0,525 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (96)$$

6. Проверка выбора двигателя

$$M_{\text{НОМ}} \geq M_{\text{НР}} \quad (97)$$
$$3,04 \geq 0,525$$

Условие выполняется

1.5. Конструкция станка

После анализа конструкций и узлов аналогичных станков, было принято конструкторское решение использовать прокат стальной листовой горячекатаный ГОСТ 19903-2015 для станины станка, стола и портала. В основе сварной конструкции станины используется качественная сталь 10. Станина такой конструкции обеспечит достаточную надежность, прочность и жесткость станка. Данная сталь хорошо сваривается, что даст легкость сборки. Оптимальный экономный вариант для материала портала подошла сталь обыкновенного качества марки СтЗсп, что также даст достаточную жесткость и надежность данного узла.

В качестве направляющих принято решение использовать профильные направляющие марки HIWIN HGR20H 20мм, они выполнены из качественной легированной стали. Повышенный класс точности Н обозначает более строгие

допуски на матожидание и дисперсию отклонений от линейных размеров и параллельности хода. Рельсы Hiwin предназначены для станков с ЧПУ, применения в системах точного линейного перемещения.



Рисунок 1.5.1 – Профильная направляющая

К профильным направляющим были подобраны шариковые подшипники качения. Они дороже втулочных аналогов, однако их срок службы гораздо больше и реже выходят из строя, что даст большую экономию в будущем. В качестве модели была взята каретка HIWIN HGH20CAZAH бесфланцевая повышенной точности.



Рисунок 1.5.2 – каретка HIWIN HGH20CAZAN

Данный станок спроектирован с целью фрезерной гравировки цветных металлов и сплавов, а также древесины и различных видов пластиков. Для этой цели лучше всего подойдет шпиндель водяного охлаждения фирмы GDK80-24Z мощностью 2,2 кВт. Данный шпиндель обладает: частотой вращения 24000 об/мин и биением не более 0,005 мм.



Рисунок 1.5.3 – Шпиндель GDK80-24Z

Для передачи движения приводам в качестве электродвигателя был выбран шаговый двигатель модель АД 200-31. Характеристики:

- крутящий момент, кг·см: 31;
- момент инерции ротора, г·см²:840;
- вес, кг: 1,4;
- длина, мм: 88;
- угловой шаг, 1,8°.

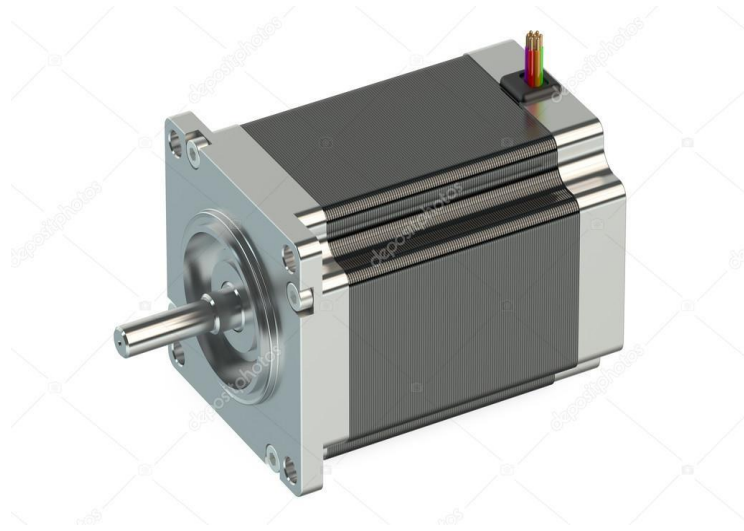


Рисунок 1.5.4 – Шаговый двигатель АД 200-31

После конструкторских решений, произведенных расчетов и подобранного оборудования была построена 3D-модель разрабатываемого станка, которая соответствует в полном объеме кинематической схеме, на которой основывается данный станок (Рисунок 1.5.5.).

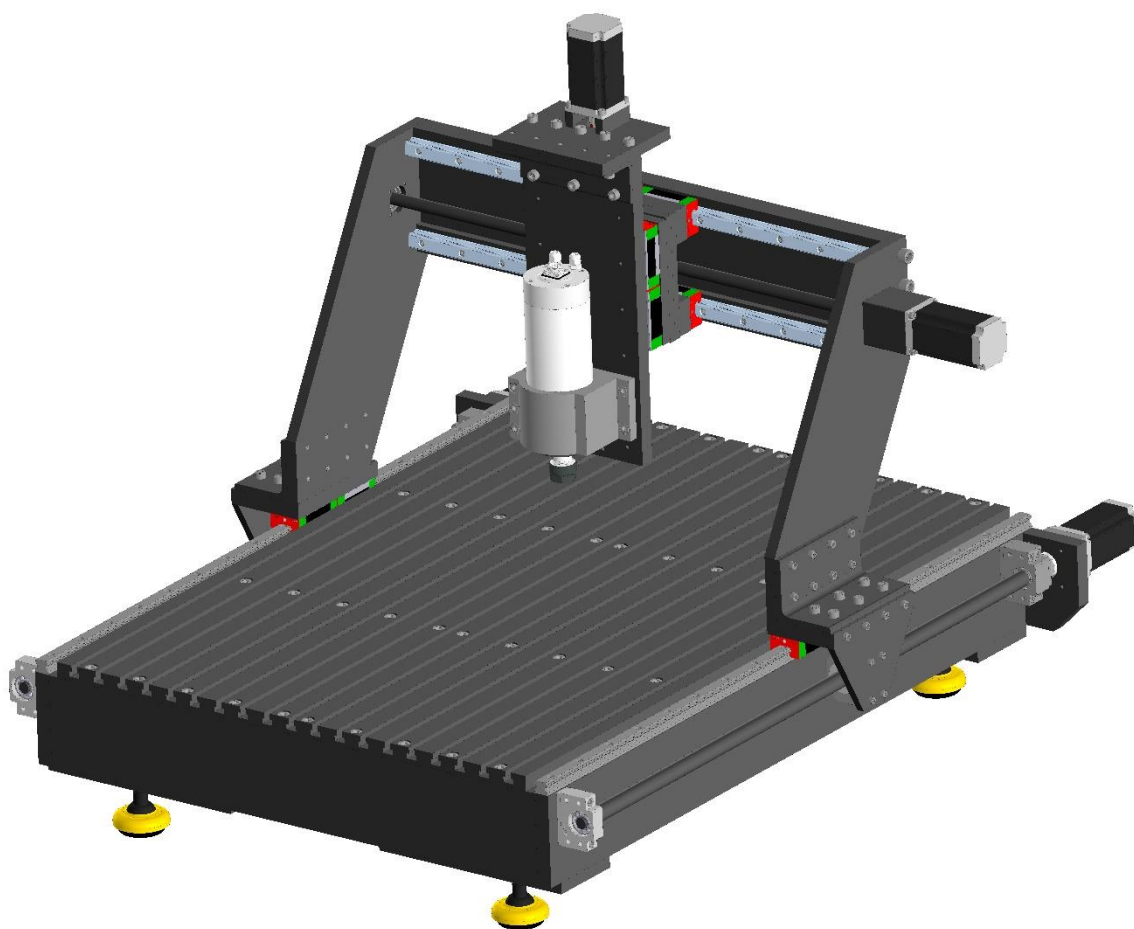


Рисунок 1.5.5 – Гравировальный станок

Вывод

В данном разделе были рассмотрены различные типы гравировальных станков, их конструкция и основные узлы, учтены недостатки и преимущества станков. Особенности работы гравировальных станков, обработка ими различных материалов и назначение станков. Описаны все плюсы и минусы основных узлов станков.

В текущем проектировании были проделаны следующие действия:

1. Создание принципиальной кинематической схемы станка.
2. Расчет сил резания.
3. Расчет приводов подачи.
4. Выбор необходимого оборудования.

В ходе проектирования было принято решение использовать в качестве несущей конструкции прокат стальных листов, который обеспечит необходимую жесткость и надежность.

После произведенных расчетов были созданы 3D-модель и сборочный чертеж станка. гравировального станка в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

2. Технологическая часть

Введение

Инженер при проектировании технологического процесса задается целью найти вариант лучшего перехода от необработанной заготовки к готовому изделию при соблюдении требуемых технических условий с наименьшими издержками.

Технологичность готового изделия значительно влияет на проектирование технологического процесса. Условия с минимальными издержками изготовления детали необходимо также соблюдать помимо эксплуатационных требований. К основным параметрам технологичности детали относят: энергоемкость, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость.

Трудоемкость – это сумма нормо-часов, затраченная на технологические процессы производства детали.

Себестоимость готового изделия складывается из заработной платы производственного персонала с начислениями и накладными расходами плюс затраты на материалы. Себестоимость представляет из себя итоговый параметр качества готового продукта и в конкретной степени лежит в основе технологичности детали.

Материалоемкость относится к объему сырья, израсходованного на производство единицы конечного изделия. В реальных условиях нередко материалоемкость принимают за отношение массы детали к одному из главных ее характеристик.

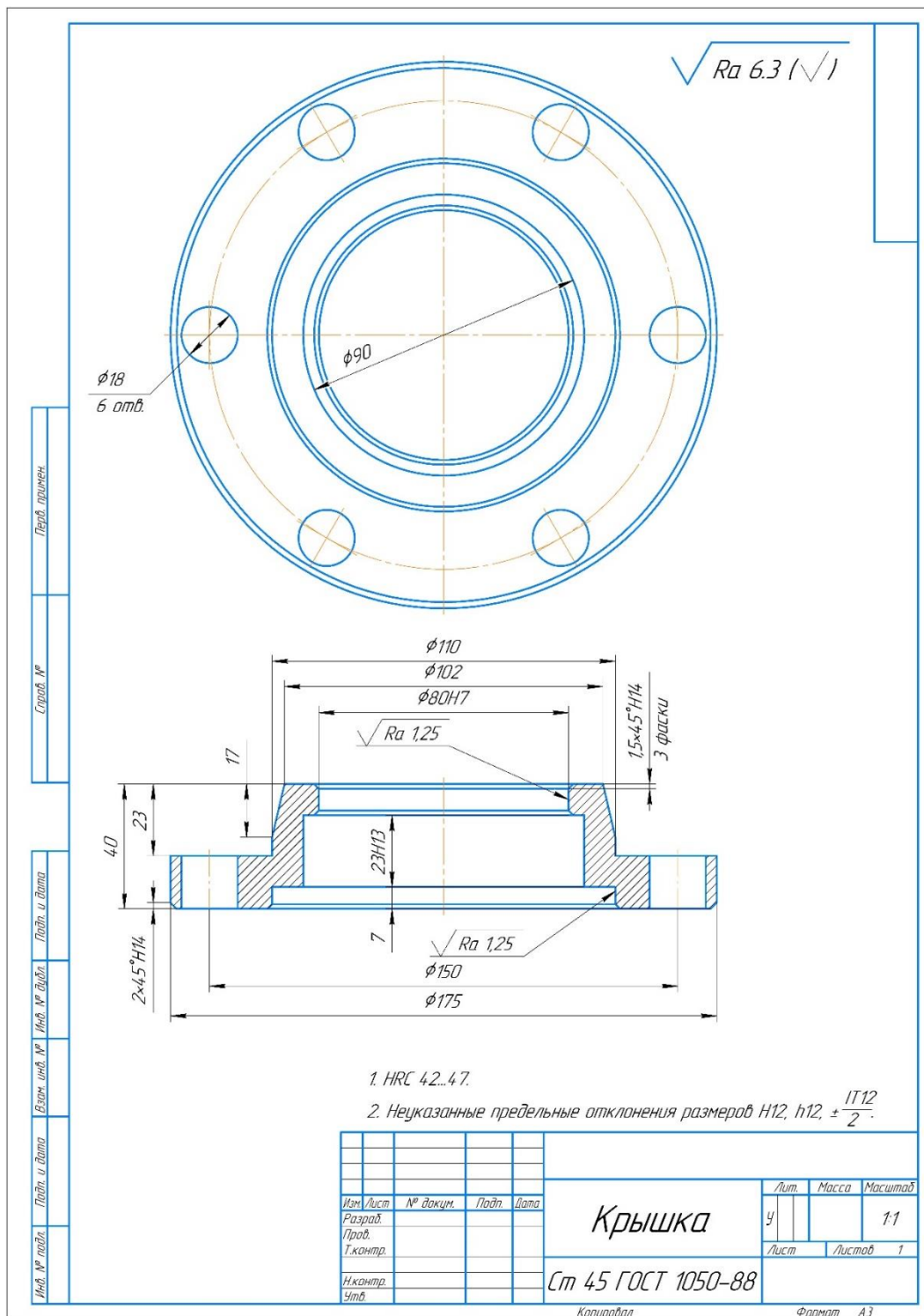
Энергоемкость описывает объем топливно-энергетического сырья, израсходованного на производство единицы изделия, примерно выражается в кВт.

Подбор оборудования, приспособлений и инструментов для выполнения обработки согласно установленным режимам резания и расчета нормы времени, затраченного на изготовление одной детали, расчета припусков и режимов резания – это является целью работы по проектированию технологического процесса производства детали.

2.1. Техническое задание

Спроектировать технологический процесс изготовления детали «Крышка» (Рисунок 2.1.1) для мелкосерийного производства.

Рисунок 2.1.1 – Чертеж детали «Крышка»



2.2. Анализ технологичности конструкции детали

Оценка технологичности детали осуществляется по 4 критериям:

- технологичность заготовки;
- технологичность конфигурации детали;
- технологичность базирования и закрепления;
- технологичность обрабатываемых поверхностей.

Заготовкой для детали «Крышка» послужит стальной круглый прокат 180 ГОСТ 2590-2006 максимально приближенный к форме готового изделия, чтобы издержки производства были минимальными. Материалом для детали послужила углеродистая сталь Ст45 ГОСТ 1050-88. Имеет место обработка на токарном станке, поскольку эта сталь обрабатывается резанием. Конфигурация детали «Крышка» выполнена в формате диска. Без труда поддается обработке резанием цилиндрическая поверхность. В отверстиях имеются поверхности с шероховатостью $Ra 1,25$.

Имеется опорная фланцевая поверхность для установки детали на плоскость. Для обеспечения минимальной погрешности при установке детали используется принцип совпадения измерительной базы с технологической в данном технологическом маршруте.

Увеличивается себестоимость и число чистовых операций по причине малого значения шероховатости определенных поверхностей и наличия повышенного класса точности некоторых размеров.

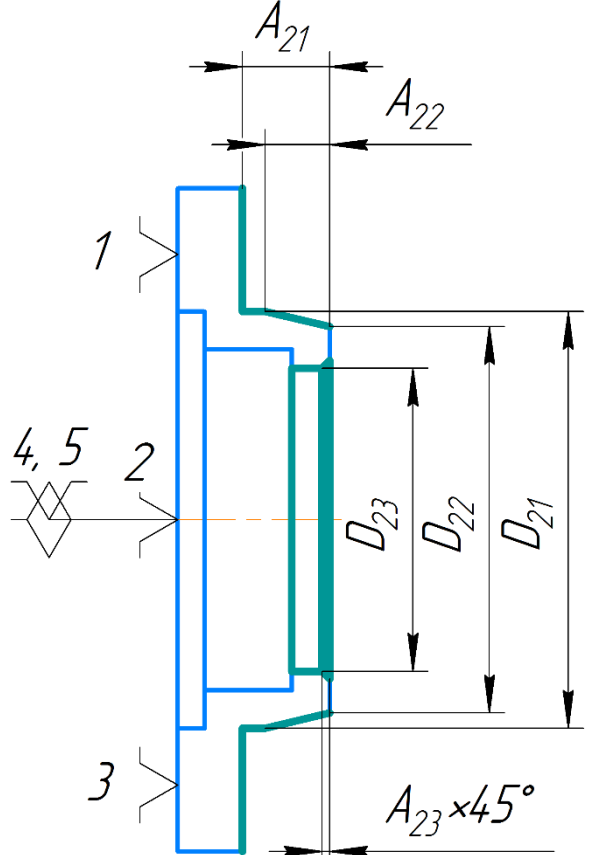
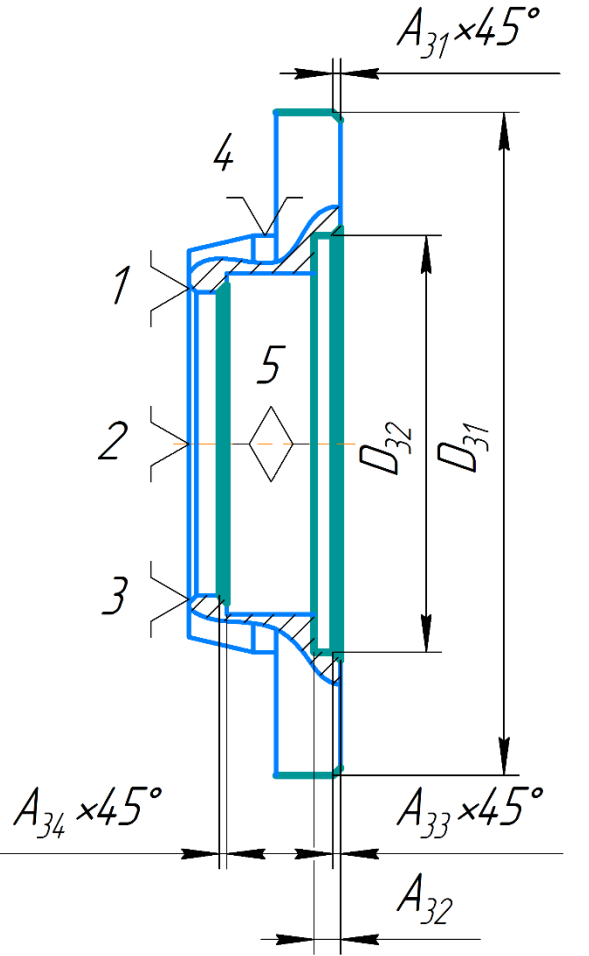
Согласно показателям обрабатываемых поверхностей производимая деталь является не технологичной. Деталь отвечает требованиям технологичности по остальным критериям.

2.3. Технологический маршрут изготовления детали

Таблица 2.3.1 – Технологический маршрут изготовления детали

№ п/п	Операция	Наименование	Операционный эскиз
1.	Заготовительная	<p>А. Установить заготовку в самоцентрирующемся трех кулачковом патроне:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец выдерживая размер A_{01}. 2. Проточить поверхность выдерживая размер D_{01}. 3. Отрезать заготовку, выдерживая размер A_{02}. 	

2.	Черновая токарная	<p>А. Установить заготовку в самоцентрирующемся трех кулачковом патроне:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать торец выдерживая размер A_{11}. 2. Сверлить отверстие диаметром D_{11} насквозь. 3. Сверлить отверстие диаметром D_{12} насквозь. 4. Расточить отверстие насквозь выдерживая размер D_{13}. 5. Расточить отверстие выдерживая размеры: A_{12}, D_{14}. 6. Расточить отверстие выдерживая размеры: A_{13}, D_{15}. 	<p>The diagram shows a stepped shaft with five distinct diameters. The diameters are labeled D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, and D_{15} from top to bottom. The axial dimensions are labeled A_{11}, A_{12}, and A_{13}. A_{11} is the total length of the shaft. A_{12} is the length of the section with diameter D_{12}. A_{13} is the length of the section with diameter D_{13}. The drawing includes chamfered ends (1, 2, 3) and a cross-section symbol (4, 5) at the top left.</p>
----	-------------------	--	---

3.	Чистовая токарная	<p>А. Установить заготовку в самоцентрирующемся трех кулачковом патроне:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обточить поверхность выдерживая размеры: A_{21}, D_{21}. 2. Обточить поверхность выдерживая размеры: A_{22}, D_{22}. 3. Расточить отверстие выдерживая размер D_{23}. 4. Обточить фаску выдерживая размер A_{23}. 	 <p>Technical drawing of a stepped shaft. The drawing shows a shaft with three distinct diameters. The largest diameter is D_{21}, the middle diameter is D_{22}, and the smallest diameter is D_{23}. The length of the largest diameter section is A_{21}, and the length of the middle diameter section is A_{22}. A chamfer with a 45-degree angle and length A_{23} is shown at the end of the shaft. The drawing is labeled with numbers 1, 2, 3, 4, and 5, corresponding to the manufacturing steps described in the text.</p>
		<p>Б. Установить заготовку в самоцентрирующемся трех кулачковом патроне:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Обточить поверхность выдерживая размер D_{31}. 2. Обточить фаску выдерживая размер A_{31}. 3. Расточить отверстие выдерживая размер A_{32}. 4. Обточить фаску выдерживая размер A_{33}. 5. Обточить фаску выдерживая размер A_{34}. 	 <p>Technical drawing of a stepped shaft. The drawing shows a shaft with two diameters: D_{31} and D_{32}. The length of the D_{31} section is A_{31}. A chamfer with a 45-degree angle and length A_{31} is shown at the end of the shaft. The drawing is labeled with numbers 1, 2, 3, 4, and 5, corresponding to the manufacturing steps described in the text. Additional dimensions A_{32}, A_{33}, and A_{34} are shown at the bottom of the drawing, indicating the lengths of different sections and chamfers.</p>

4.	Сверлильная	<p>А. Установить и закрепить заготовку:</p> <p>1. Просверлить отверстие выдерживая размеры: D_{41}, D_{42}, α_{41}.</p>	<p>The drawing shows a cylindrical part with a hole. The top view shows a hole with diameter D_{41} and a chamfered edge with angle α_{41}. The side view shows a hole with diameter D_{42} and a chamfered edge with angle α_{41}. Dimensions 1, 2, 3, 4, 5, and 6 are indicated on the drawing.</p>
5.	Контрольно-измерительная	<p>Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;</p> <p>Микрометр МК50-1 ГОСТ 6507-18;</p> <p>Штангенглубиномер ШГ-160 ГОСТ 162-80;</p> <p>Нутромер НИ-18-50 ГОСТ 7470-78;</p>	

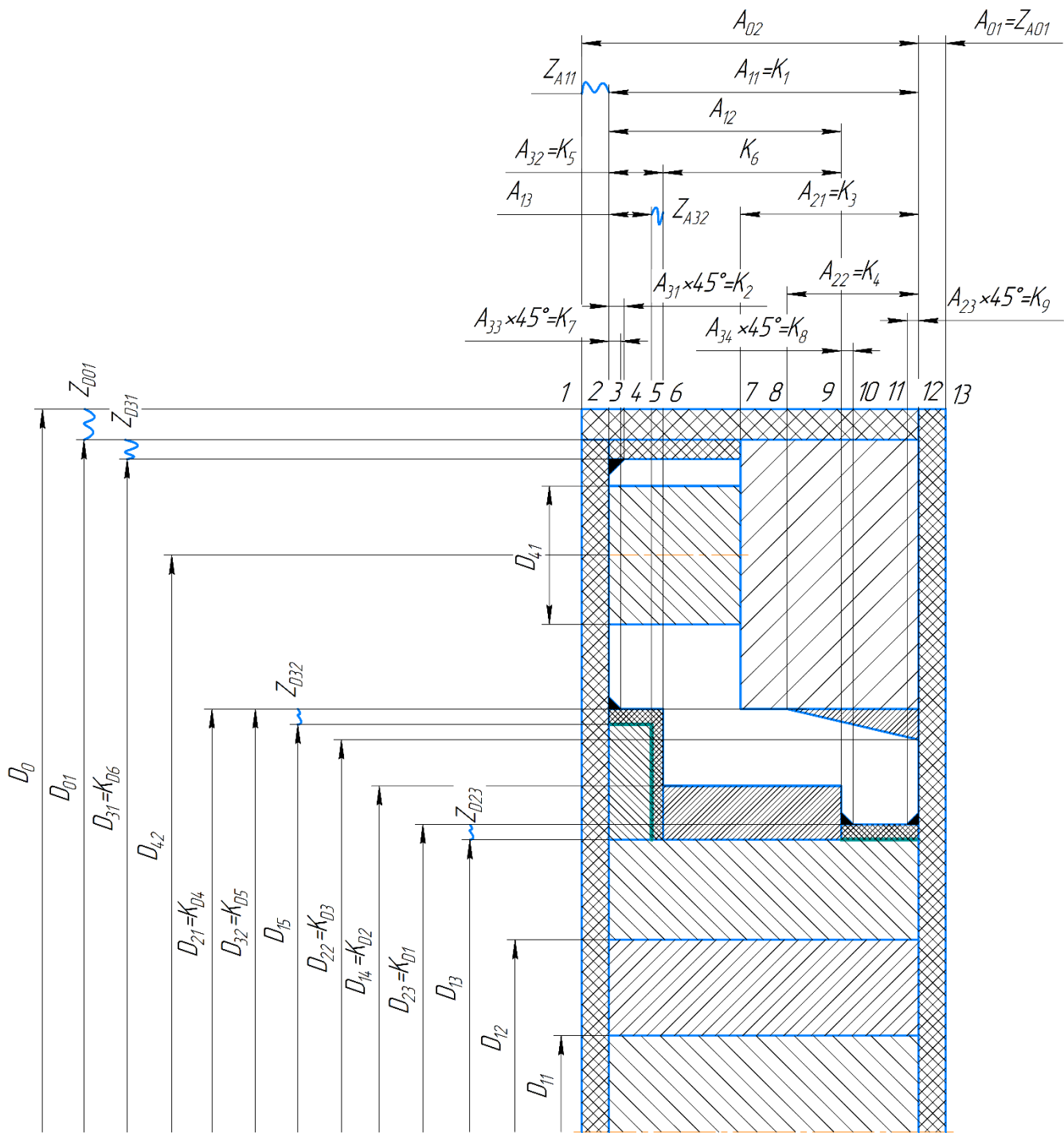


Рисунок 2.3.1 – Размерная схема.

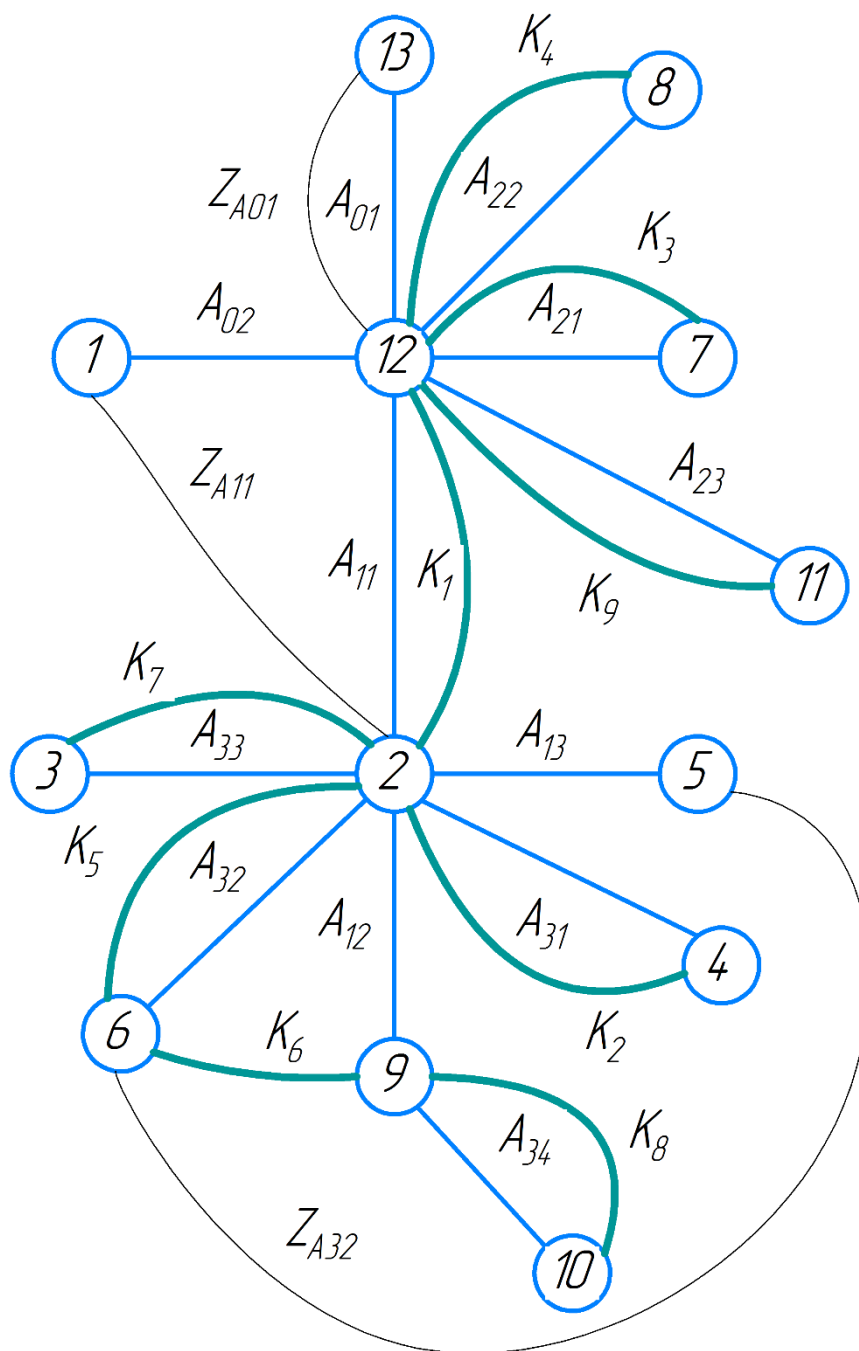


Рисунок 2.3.2 – Граф-дерево.

Проверка:

$$\sum A = \sum K + \sum Z = 9 + 3 = 12$$

$$\sum A + 1 = \sum \text{вершин} = 12 + 1 = 13$$

2.4. Определение допусков на диаметральные технологические размеры

Согласно статистической погрешности [20, с. 80] ω_c допуски на диаметральные технологические размеры могут быть приняты:

$$TD_{01} = 0,4 \text{ мм};$$

$$TD_{11} = 0,21 \text{ мм};$$

$$TD_{12} = 0,25 \text{ мм};$$

$$TD_{13} = 0,12 \text{ мм};$$

$$TD_{14} = 0,14 \text{ мм};$$

$$TD_{15} = 0,14 \text{ мм};$$

$$TD_{21} = 0,35 \text{ мм};$$

$$TD_{22} = 0,35 \text{ мм};$$

$$TD_{23} = 0,03 \text{ мм};$$

$$TD_{31} = 0,4 \text{ мм};$$

$$TD_{32} = 0,57 \text{ мм};$$

$$TD_{41} = 0,18 \text{ мм}.$$

2.5. Определение минимальных припусков на обработку поверхности вращения

Минимальный припуск на обработку поверхности вращения рассчитывается по формуле:

$$z_{i \min} = 2(R_{Z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_{y_i}^2});$$

Где, $R_{Z_{i-1}}$ – высота неровностей профиля на предшествующем переходе [20, с. 87, прил. 2]; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе [20, с. 87, прил. 2]; ρ_{i-1} – суммарные отклонения

расположения поверхности [20, с. 87, прил. 2]; ε_{y_i} – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Качество поверхности сортового проката при обычной точности проката:

$$R_z = 200 \text{ мкм}; h = 300 \text{ мкм}.$$

Согласно квалитетам, устанавливаем эти параметры для остальных операций:

После чернового обтачивания $R_z = 63 \text{ мкм}; h = 60 \text{ мкм}$

После чистового обтачивания $R_z = 25 \text{ мкм}; h = 30 \text{ мкм}$

После тонкого обтачивания $R_z = 6,3 \text{ мкм}; h = -$

Остаточное пространственное отклонение расположения поверхностей заготовки после их обработки ($\rho_{\Sigma i-1}$), определяется согласно формуле:

$$\rho_{\Sigma i-1} = K_y \cdot \rho_{\Sigma},$$

Где K_y – коэффициент уточнения, выбираемый из [1, с. 190, Табл. 29], ρ_{Σ} – суммарное отклонение оси заготовки, определяемое из [1, с. 178, ф. 15].

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma Ц}^2},$$

Где $\Delta_{\Sigma K}$ – общее отклонение от оси прямолинейности, $\Delta_{\Sigma Ц}$ – смещение оси заготовки в результате погрешности центрирования.

Для определения величины $\Delta_{\Sigma K}$ используем [1, с. 177, формула 11]:

$$\Delta_{\Sigma K} = l_K \cdot \frac{\Delta_K}{\Delta_K^2 + 0,25}$$

Где l_K – размер от сечения, для которого определяется кривизна до торца заготовки, Δ_K – кривизна профиля сортового проката.

$$l_K = 40 \text{ мм},$$

$$\Delta_K = 0,5 \text{ мкм/мм [1, с. 180, табл.4]}$$

$$\Delta_{\Sigma K} = 40 \cdot \frac{0,5}{0,5^2 + 0,25} = 40 \text{ мкм.}$$

Смещение оси заготовки Δ_{Π} определяется из [1, с. 178, формула 16]:

$$\Delta_{\Pi} = 0,25\sqrt{T^2 + 1} = 0,25\sqrt{3,4^2 + 1} = 0,87 \text{ мм},$$

здесь T – допуск на диаметральный размер базы заготовки, используемой на операции получения центровочных отверстий, он составляет 3,4 мм.

Следовательно:

$$\rho_{\Sigma} = \sqrt{40^2 + 870^2} \cong 870 \text{ мкм}$$

Определим для чернового обтачивания $\rho_{\Sigma^{i-1}}$:

$$\rho_{\Sigma^{i-1}} = 0,06 \cdot 870 = 52,2 \text{ мкм.}$$

Определим для чистового обтачивания $\rho_{\Sigma^{i-1}}$:

$$\rho_{\Sigma^{i-1}} = 0,04 \cdot 52,2 = 2,088 \text{ мкм.}$$

Определим для тонкого обтачивания $\rho_{\Sigma^{i-1}}$:

$$\rho_{\Sigma^{i-1}} = 0,02 \cdot 52,2 = 1,044 \text{ мкм.}$$

Далее определить значение ε_{yi} . Погрешность установки заготовки на черновой обработке зависит от погрешности базирования ε_6 и погрешности закрепления ε_3 :

$$\varepsilon_{yi} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2},$$

При расчете минимального припуска для у погрешности установки есть одна особенность, а именно использование только погрешности закрепления, потому что у поверхности вращения нет погрешности базирования. Поэтому из табл. 1 в берем для установки в трехкулачковый патрон с допуском по зажимаемой поверхности свыше 0,3 при осевом направлении силы диаметра 120 - 180 мм, значение равно:

$$\varepsilon_{yi} = 520 \text{ мкм.}$$

Рассчитываем минимальные припуски и полученные значения заносим в табл. :

Для чернового точения:

$$2Z_{imin} = 2 \left[(200 + 300) + \sqrt{870^2 + 520^2} \right] = 3027 \text{ мкм}$$

Для чистового точения:

$$2Z_{imin} = 2 \left[(63 + 60) + \sqrt{52,2^2 + 120^2} \right] = 350,4 \text{ мкм}$$

Для тонкого точения отверстия диаметром 80H7 мм:

$$2Z_{imin} = 2 \left[(25 + 30) + \sqrt{52,2^2 + 120^2} \right] = 371,7 \text{ мкм}$$

Для тонкого точения отверстия диаметром 110H8 мм

$$2Z_{imin} = 2 \left[(25 + 30) + \sqrt{52,2^2 + 0^2} \right] = 214,4 \text{ мкм}$$

Таблица 2.5.1

Номера		Маршрут обработки	Обозначение припуска Z_i	Элементы припуска			Расчетный припуск		Допуск на припуск	Обозначение технологического размера A_i	Квалитет допуска A_i	Допуск на технологический размер A_i , мкм	Расчетные значения технологических размеров A_i	
Тех. операции	Перехода			Rz_i , мкм	h_i , мкм	$\rho \sum i-1$, мкм	Z_{min} , мкм	$Z_{ном}$, мкм	Tz_i , мкм				A_{min} , мм	A_{max} , мм
1	2			3	4	5	6	7	8				9	10
005	A	Заготовка прокат	–	200	300	870	–	–	–	D_0	Класс точн. В1	3400/2	180.9	177.5
		Заготовительная: проточить поверхность выдерживая размер D_{01} .	$Z_{D_{01}}$	63	60	52.2	3027	4095	3800	D_{01}	12	400	175,508	175,908

015	А	Тонкое точение: обточить заготовку в размер D_{23}	$Z_{D_{23}}$	6.3	–	1,044	371.7	492	150	D_{23}	7	30	80	80,03
	Б	Чистовое точение: обточить заготовку в размер D_{31}	$Z_{D_{31}}$	25	30	2.088	508	908	800	D_{31}	10	160	174,6	175
	Б	Тонкое точение: обточить заготовку в размер D_{32}	$Z_{D_{32}}$	6.3	–	1.044	214.4	427	194	D_{32}	8	57	109,673	109,813

2.6. Расчет диаметральных технологических размеров

Расчет диаметральных технологических размеров осуществляется методом максимума-минимума с использованием способа средних значений. Составляются размерные схемы технологических маршрутов обработки поверхностей вращения для расчета.

Рассмотрим размерную цепь D_{01}, Z_{D31}, D_{31}

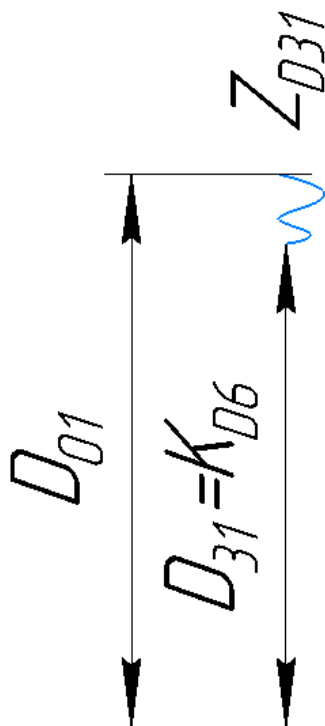


Рисунок 2.6.1

Известны: размер D_{31} с предельными отклонениями он равен конструкторскому размеру K_{D6} , минимальное значение припуска Z_{D31} . Необходимо найти размер D_{01} и его предельные отклонения, фактическое значение припуска и его отклонения.

$$D_{31}^c = D_{31} + \frac{BOD_{31} + HOD_{31}}{2} = 175 + \frac{0 - 0,4}{2} = 174,8 \text{ мм};$$

$$Z_{D31}^c = Z_{D31min} + \frac{TD_{31} + TD_{01}}{2} = 0,508 + \frac{0,4 + 0,4}{2} = 0,908 \text{ мм};$$

$$D_{01}^c = Z_{D31}^c + D_{31}^c = 175,708 \text{ мм}.$$

Звено D_{01}^c записываем в виде $D_{01} = 175,908_{-0,4}$ мм.

Фактическое значение припуска:

$$Z_{D_{31}}^\phi = 0,908 \pm 0,4 \text{ мм}$$

Рассмотрим размерную цепь $D_0, Z_{D_{01}}, D_{01}$

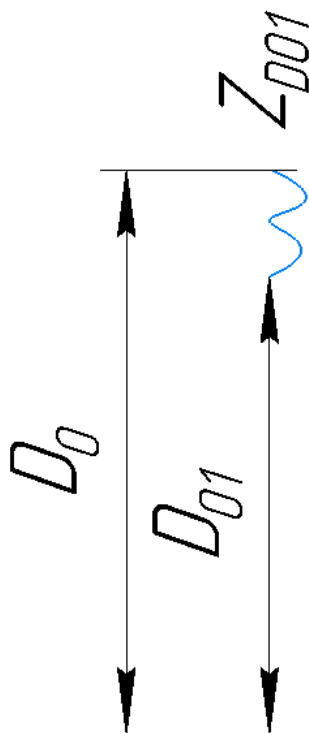


Рисунок 2.6.2

Известны: размер заготовки D_0 и размер D_{01} с предельными отклонениями, минимальное значение припуска $Z_{D_{01}}$. Необходимо найти, номинальное значение припуска и его предельные отклонения.

Припуск равен:

$$Z_{D_{01}} = D_0 - D_{01} = 180_{-2,5}^{+0,9} - 175,908_{-0,4} = 4,095_{-2,5}^{+1,3} \text{ мм}$$

Рассмотрим размерную цепь $D_{23}, Z_{D_{23}}, D_{13}$

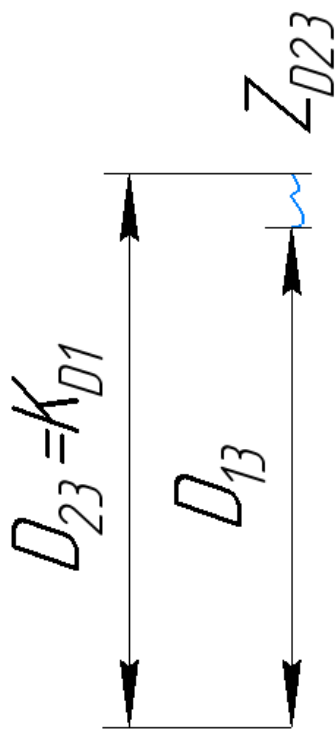


Рисунок 2.6.3

Известны: размер D_{23} с предельными отклонениями он равен конструкторскому размеру K_{D1} , минимальное значение припуска Z_{D23} . Необходимо найти размер D_{13} и его предельные отклонения, фактическое значение припуска и его отклонения.

$$D_{23}^c = D_{23} + \frac{BOD_{23} + HOD_{23}}{2} = 80 + \frac{0.03 + 0}{2} = 80,015 \text{ мм};$$

$$Z_{D23}^c = Z_{D23min} + \frac{TD_{23} + TD_{13}}{2} = 0,372 + \frac{0,03 + 0,12}{2} = 0,447 \text{ мм};$$

$$D_{13}^c = D_{23}^c - Z_{D23}^c = 80.015 - 0.45 = 79.568 \text{ мм.}$$

Звено D_{13}^c записываем в виде $D_{13}^\phi = 79.508^{+0.12}$ мм.

Номинальное значение припуска:

$$Z_{D23} = D_{23} - D_{13} = 80^{+0.03} - 79,508^{+0.12} = 0.492_{-0.12}^{+0.03} \text{ мм}$$

Рассмотрим размерную цепь D_{32}, Z_{D32}, D_{15}

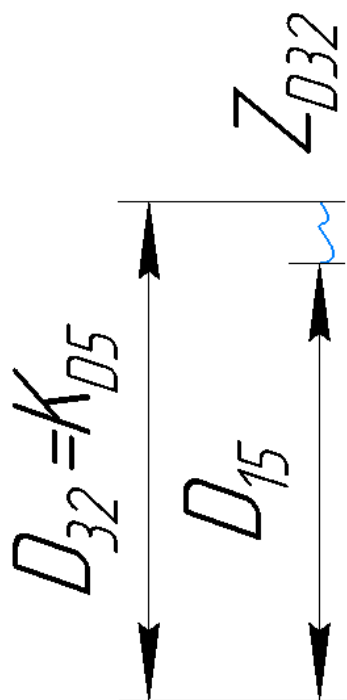


Рисунок 2.6.4

Известны: размер D_{32} с предельными отклонениями он равен конструкторскому размеру K_{D5} , минимальное значение припуска Z_{D32} . Необходимо найти размер D_{15} и его предельные отклонения, фактическое значение припуска и его отклонения.

$$D_{32}^c = D_{32} + \frac{BOD_{32} + HOD_{32}}{2} = 110 + \frac{0.054 - 0}{2} = 110,054 \text{ мм};$$

$$Z_{D32}^c = Z_{D32min} + \frac{TD_{32} + TD_{15}}{2} = 0,214 + \frac{0,054 + 0,14}{2} = 0,311 \text{ мм};$$

$$D_{15}^c = D_{32}^c - Z_{D32}^c = 110.054 - 0.311 = 109.743 \text{ мм}.$$

Звено D_{15}^c записываем в виде $D_{15}^\phi = 109.673^{+0.14} \text{ мм}$.

Номинальное значение припуска:

$$Z_{D32} = D_{32} - D_{15} = 110^{+0.054} - 109,573^{+0.14} = 0.427_{-0.14}^{+0.054} \text{ мм}$$

Рассмотрим следующие размерные цепи

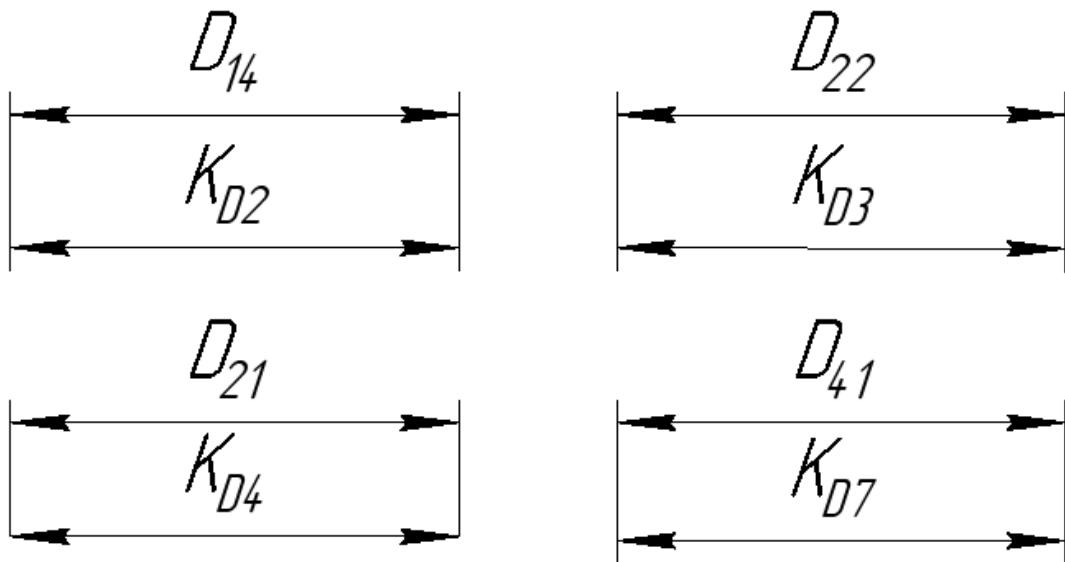


Рисунок 2.6.5

Здесь технологические диаметральные размеры равны конструкторским. Следовательно:

$$D_{14} = K_{D2} = 90^{+0.35} \text{ мм};$$

$$D_{22} = K_{D3} = 102^{+0.35} \text{ мм};$$

$$D_{21} = K_{D4} = 110^{+0.35} \text{ мм};$$

$$D_{41} = K_{D7} = 18^{+0.18} \text{ мм}.$$

Рассчитаем средние значения звеньев:

$$D_{14}^c = D_{14} + \frac{BOD_{14} + HOD_{14}}{2} = 90 + \frac{0.35 + 0}{2} = 90,175 \text{ мм}$$

$$D_{14} = 90,175 \pm 0,175 \text{ мм}$$

$$D_{22}^c = D_{22} + \frac{BOD_{22} + HOD_{22}}{2} = 102 + \frac{0.35 + 0}{2} = 102,175 \text{ мм}$$

$$D_{22} = 102,175 \pm 0,175 \text{ мм}$$

$$D_{21}^c = D_{21} + \frac{BOD_{21} + HOD_{21}}{2} = 110 + \frac{0.35 + 0}{2} = 110,175 \text{ мм}$$

$$D_{21} = 110,175 \pm 0,175 \text{ мм}$$

$$D_{41}^c = D_{41} + \frac{BOD_{41} + HOD_{41}}{2} = 18 + \frac{0.18 + 0}{2} = 18,09 \text{ мм}$$

$$D_{22} = 18,09 \pm 0,09 \text{ мм}$$

2.7. Определение допусков для осевых технологических размеров

По следующей формуле допуски на осевые технологические размеры могут быть назначены:

$$TA_i = \omega_c + \rho_{и} + \varepsilon_6.$$

Таблица 2.7.1

Размеры	ω_c , мм	$\rho_{и}$, мм	ε_6 , мм	Σ , мм
TA_{01}	0,12	0,01	0,220	0,35
TA_{02}	0,12	–	0,220	0,34
TA_{11}	0,12	–	–	0,12
TA_{12}	0,12	–	–	0,12
TA_{13}	0,12	–	–	0,12
TA_{21}	0,12	–	–	0,12
TA_{22}	0,12	–	–	0,12
TA_{23}	0,12	–	–	0,12
TA_{31}	0,12	–	–	0,12
TA_{32}	0,12	–	–	0,12
TA_{33}	0,12	–	–	0,12
TA_{34}	0,12	–	–	0,12

2.8. Определение минимальных припусков на обработку плоскости

Для расчета минимального припуска на обработку плоскости, есть следующая формула:

$$z_{i \min} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1};$$

Где, Rz_{i-1} – высота неровностей профиля на предшествующем переходе; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе; ρ_{i-1} – суммарные отклонения расположения поверхности.

Качество поверхности заготовки:

Согласно квалитетам, устанавливаем эти параметры для остальных операций:

После отрезной операции $Rz = 100$ мкм; $h = 100$ мкм

После чистового обтачивания $Rz = 25$ мкм; $h = 30$ мкм

После тонкого обтачивания $Rz = 6,3$ мкм; $h = -$

Для определения величины $\rho_{3\Sigma}$ используем [1, с. 177, формула 11]:

$$\rho_{3\Sigma} = l_K \cdot \frac{\Delta_K}{\Delta_K^2 + 0,25} = 40 \cdot \frac{0,5}{0,5^2 + 0,25} = 40 \text{ мкм}$$

Где l_K – размер от сечения, для которого определяется кривизна до торца заготовки, Δ_K – кривизна профиля сортового проката.

Остаточное пространственное отклонение расположения поверхностей заготовки после их обработки ($\rho_{\Sigma i-1}$), определяется согласно формуле:

$$\rho_{\Sigma i-1} = K_y \cdot \rho_{3\Sigma},$$

Где K_y – коэффициент уточнения, выбираемый из [1, с. 190, Табл. 29], $\rho_{3\Sigma}$ – суммарное отклонение оси заготовки.

Для чистового точения:

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,04 \cdot 40 = 1,6 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,04 \cdot 2,4 = 0,064 \text{ мкм};$$

Для тонкого точения:

$$\rho_{\Sigma i-1} = 0,02 \cdot 0,064 = 0 \text{ мкм};$$

Расчетные данные заносим в таблицу:

Таблица 2.8.1

Номера		Маршрут обработки	Обозначение припуска Z_i	Элементы припуска			Расчетный припуск		Допуск на припуск	Обозначение технологического размера A_i	Квалитет допуска A_i	Допуск на технологический размер A_i , мкм	Расчетные значения технологических размеров A_i	
Тех. операции	Перехода			Rz_i , мкм	h_i , мкм	$\rho_{\sum i-1}$, мкм	Z_{min} , мкм	$Z_{ном}$, мкм	Tz_i , мкм				A_{min} , мм	A_{max} , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
005		Заготовка прокат	–	100	100	40	–	–	–	A_0	14	620	40,4416	41,1316
	A	Заготовительная: проточить поверхность выдерживая размер A_{01} .	$Z_{A_{01}}$	25	30	1.6	240	415	350	A_{01}	12	350	0,24	0,59

015	А	Чистовое точение: обточить заготовку в размер A_{11}	$Z_{A_{11}}$	25	30	0,064	201,6	371,6	590	A_{11}	12	250	39,75	40
	А	Тонкое точение: обточить заготовку в размер A_{32}	$Z_{A_{32}}$	6,3	–	0	55,064	115,1	270	A_{32}	12	120	7	7,075

Расчет минимальных припусков:

$$Z_{A01} = 100 + 100 + 40 = 240 \text{ мкм};$$

$$Z_{A11} = 100 + 100 + 1,6 = 201,6 \text{ мкм};$$

$$Z_{A32} = 25 + 30 + 0,064 = 55.064 \text{ мкм};$$

2.9. Расчет осевых технологических размеров

Перед началом расчета технологических размеров необходимо проанализировать технологические размерные цепи, замыкающими звеньями которых являются непосредственно не выдерживаемые конструкторские размеры и проверить возможность их обеспечения с требуемой точностью.

Для размерной цепи №1:

$$TK_1 = 0,25 \geq 0,12 = TA_{11}$$

Для размерной цепи №2:

$$TK_2 = 0,25 \geq 0,12 = TA_{31}$$

Для размерной цепи №3:

$$TK_3 = 0,21 \geq 0,12 = TA_{21}$$

Для размерной цепи №4:

$$TK_4 = 0,18 \geq 0,12 = TA_{22}$$

Для размерной цепи №5:

$$TK_5 = 0,15 \geq 0,12 = TA_{32}$$

Для размерной цепи №6:

$$TK_6 = 0,33 \geq 0,24 = TA_{32} + TA_{12}$$

Для размерной цепи №7:

$$TK_7 = 0,25 \geq 0,12 = TA_{33}$$

Для размерной цепи №8:

$$TK_8 = 0,25 \geq 0,12 = TA_{34}$$

Для размерной цепи №9:

$$TK_9 = 0,25 \geq 0,12 = TA_{23}$$

Убеждаемся, что спроектированный технологический процесс будет обеспечивать требуемую точность всех конструкторских размеров.

Рассмотрим двухзвенные цепи с конструкторскими размерами, а именно: №1-№4, №7-№9

1. $A_{11} = K_1 = 40_{-0,25} \text{ мм};$
2. $A_{31} = K_2 = 2 \pm 0,125 \text{ мм};$
3. $A_{21} = K_3 = 23 \pm 0,105 \text{ мм};$
4. $A_{22} = K_4 = 17 \pm 0,09 \text{ мм};$
5. $A_{32} = K_5 = 7^{+0,15} \text{ мм};$
6. $A_{33} = K_7 = 1,5 \pm 0,125 \text{ мм};$
7. $A_{34} = K_8 = 1,5 \pm 0,125 \text{ мм};$
8. $A_{23} = K_9 = 1,5 \pm 0,125 \text{ мм}.$

Рассмотрим двухзвенные цепи с припуском:

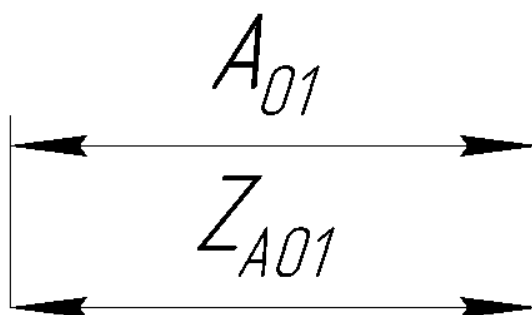


Рисунок 2.9.1

$$A_{01min} = Z_{A01min} = 0,24 \text{ мм};$$

$$A_{01max} = Z_{A01min} + TA_{01} = 0,24 + 0,35 = 0,59 \text{ мм};$$

$$A_{01}^c = \frac{A_{01min} + A_{01max}}{2} = \frac{0,24 + 0,59}{2} = 0,415 \text{ мм};$$

$$A_{01} = 0,415 \pm 0,175 \text{ мм.}$$

Рассмотрим трехзвенные размерные цепи с припусками

Рассмотрим размерную цепь A_{11}, Z_{A11}, A_{02}

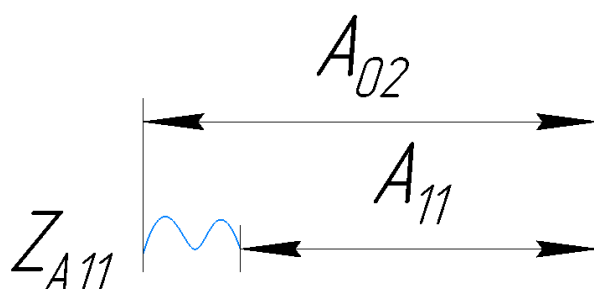


Рисунок 2.9.2

Известны: размер A_{11} с предельными отклонениями, он равен конструкторскому размеру K_l , также минимальное значение припуска Z_{A11} . Необходимо найти размер A_{02} и его предельные отклонения, фактическое значение припуска и его отклонения.

$$A_{11}^c = A_{11} + \frac{BOA_{11} + HOA_{11}}{2} = 40 + \frac{0 - 0,25}{2} = 39,875 \text{ мм};$$

$$Z_{A11}^c = Z_{A11min} + \frac{TA_{02} + TA_{11}}{2} = 0,2016 + \frac{0,34 + 0,25}{2} = 0,4966 \text{ мм};$$

$$A_{02}^c = A_{11}^c + Z_{A11}^c = 39,875 + 0,4966 = 40,3716 \text{ мм.}$$

Звено A_{02}^c записываем в виде $A_{02}^\phi = 40,3716 \pm 0,17 \text{ мм.}$

Номинальное значение припуска:

$$Z_{A11} = A_{02} - A_{11} = 40,3716 \pm 0,17 - 40_{-0,25} = 0,3716_{-0,17}^{+0,42} \text{ мм}$$

Расчет размера заготовки:

$$A_0 = A_{02} + A_{01} = 40,3716 \pm 0,17 + 0,415 \pm 0,175 = 40,7866 \pm 0,345 \text{ мм.}$$

Рассмотрим размерную цепь A_{32}, A_{13}, Z_{A32}

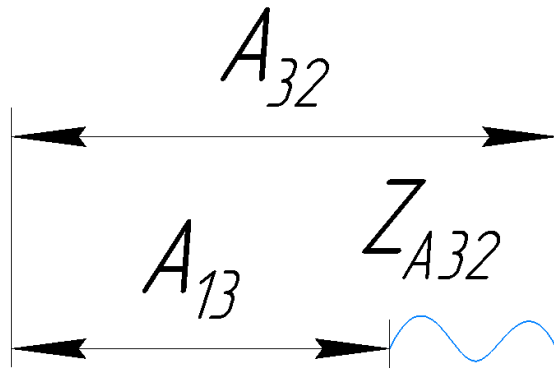


Рисунок 2.9.3

Известны размер A_{32} , он равен конструкторскому размеру K_5 , минимальное значение припуска Z_{A32} и допуск размера A_{13} . Необходимо найти размер A_{13} с предельными отклонениями и значение припуска, с использованием метода максимума-минимума, способом средних значений.

$$A_{32}^c = A_{32} + \frac{BOA_{32} + HOA_{32}}{2} = 7 + \frac{0,15 + 0}{2} = 7,075 \text{ мм}$$

$$Z_{A32}^c = Z_{A32min} + \frac{TA_{32} + TA_{13}}{2} = 0,0551 + \frac{0,15 + 0,12}{2} = 0,1901 \text{ мм};$$

$$A_{13}^c = A_{32}^c - Z_{A32}^c = 7,075 - 0,1901 = 6,8849 \text{ мм.}$$

Звено A_{13}^c записываем в виде $A_{13}^\phi = 6,8849 \pm 0,06 \text{ мм.}$

Номинальное значение припуска:

$$Z_{A32} = A_{32} - A_{13} = 7^{+0,15} - 6,8849 \pm 0,06 = 0,1151_{-0,06}^{+0,21} \text{ мм}$$

Рассмотрим размерную цепь A_{12} , A_{32} , K_6

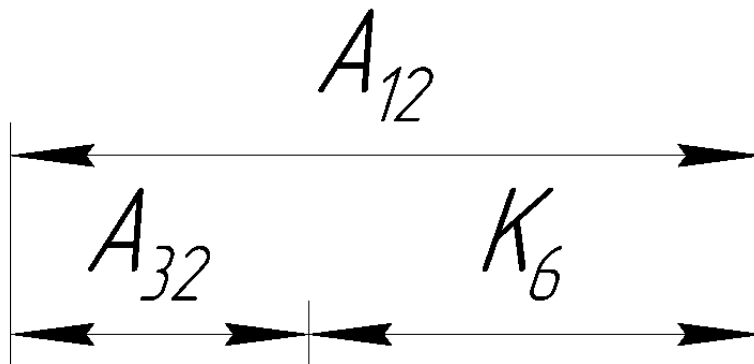


Рисунок 2.9.4

Известны размер A_{32} , он равен конструкторскому размеру K_5 , конструкторский размер K_6 и допуск размера A_{12} . Необходимо найти размер A_{12} с предельными отклонениями, с использованием метода максимума-минимума.

$$A_{12} = A_{32} + K_6 = 7^{+0,15} + 23^{+0,33} = 30_{-0,33}^{+0,15} \text{ мм.}$$

Таблица 2.9.1 – Значения технологических размеров

Обозначение размера	технологического	Принятое номинальное значение и предельные отклонения технологического размера, мм.
	A_{00}	$40,7866 \pm 0,345$
	A_{01}	$0,415 \pm 0,175$
	A_{02}	$40,3716 \pm 0,17$
	A_{11}	$40_{-0,25}$
	A_{12}	$30_{-0,33}^{+0,15}$
	A_{13}	$6,8849 \pm 0,06$
	A_{21}	$23 \pm 0,105$
	A_{22}	$17 \pm 0,09$
	A_{23}	$1,5 \pm 0,125$
	A_{31}	$2 \pm 0,125$
	A_{32}	$7^{+0,15}$
	A_{33}	$1,5 \pm 0,125$
	A_{34}	$1,5 \pm 0,125$

2.10. Расчет режимов резания и выбор режущего инструмента

Рассчитать режимы резания и выбрать режущий инструмент необходимо для линейных размеров (40 мм и 7 мм) детали «Крышка».

Чистовое точение в размер: А₀₁

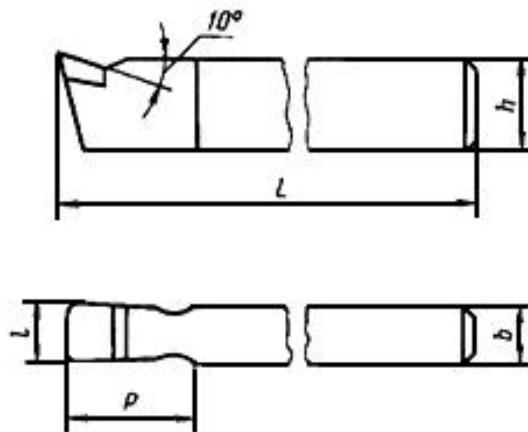


Рисунок 2.10.1 – Резец 2120-0066

Резец токарный чистовой широкий с пластиной из твердого сплава: Резец 2120-0066 Т15К6 ГОСТ 18881-73 (обработка поверхности);

Глубина резания: $t = 0,415$ мм;

Подача: $S' = 0,25$ мм/об;

Стойкость: $T = 40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

где $C_V = 420$, $m = 0,2$, $x = 0,15$, $y = 0,2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}],$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}]$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 0,415^{0,15}} = 394,596 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{490}{750} \right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,415^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 394,596^{-0,15} \cdot 0,704 = 126,408 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{490}{750} \right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,415^{0,9} \cdot 0,25^{0,6} \cdot 394.596^{-0,3} \cdot 0,504 = 40,197 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,415^1 \cdot 0,25^{0,5} \cdot 394,596^{-0,4} \cdot 1,18 = 70,969 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{126.408 \cdot 394.596}{1020 \cdot 60} = 0,815 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 394.596}{3,14 \cdot 180} = 698,153 \text{ об/мин.}$$

Чистовое точение в размер: A_{11}

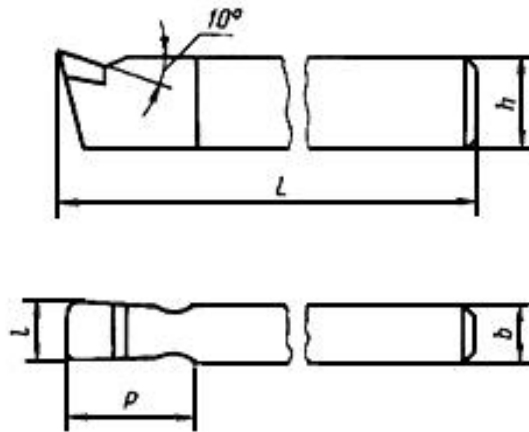


Рисунок 2.10.2 – Резец 2120-0066

Широкий чистовой токарный резец с пластиной из твердого сплава: Резец 2120-0053 Т15К6 ГОСТ 18881-66 (обработка поверхности);

Глубина резания: $t = 0,3716$ мм [2, с. 265]

Подача: $S' = 0,25$ мм/об;

Стойкость: $T=40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x},$$

где $C_V=420$, $m=0,2$, $x=0,15$, $y=0,2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}],$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}]$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 0,3716^{0,15}} = 401,188 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3716^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 401,188^{-0,15} \cdot 0,704 = 112,907 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$Cp = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,3716^{0,9} \cdot 0,25^{0,6} \cdot 401.188^{-0,3} \cdot 0,504 = 36.213 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{ стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{ стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{ стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{ стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$Cp = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,3716^1 \cdot 0,25^{0,5} \cdot 401.188^{-0,4} \cdot 1,18 = 67,575 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{112.907 \cdot 401,118}{1020 \cdot 60} = 0,74 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 401.188}{3,14 \cdot 175} = 730,096 \text{ об/мин.}$$

Тонкое точение в размер: А32

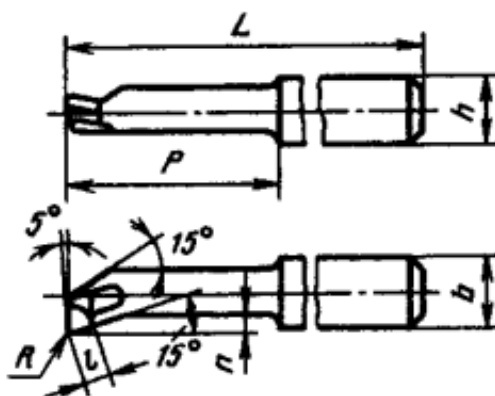


Рисунок 2.10.3 – Резец 2141-0010

ГОСТ 18883-73 Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава для обработки глухих отверстий. Резец 2141-0010 Т15К6

Глубина резания: $t = 0.1151$ мм [2, с. 265];

Подача: $S' = 0,1$ мм/об [2, с. 268, табл. 14];

Стойкость: $T = 40$ мин.

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

где $C_V=420$, $m=0.2$, $x=0.15$, $y=0.2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV},$$

$$K_{mV} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{nV} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 \text{ [2, стр.262 табл.2 - 3],}$$

$$K_{nV} = 0,9 \text{ [2, стр.263 табл.5],}$$

$$K_{иV} = 1 \text{ [2, стр.263 табл.6]}$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,1151^{0,15}} = 574,495 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p,$$

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,1151^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 574,495^{-0,15} \cdot 0,704 = 16,668 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,1151^{0,9} \cdot 0,1^{0,6} \cdot 574.495^{-0,3} \cdot 0,504 = 6,535 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,1151^1 \cdot 0,1^{0,5} \cdot 574.495^{-0,4} \cdot 1,18 = 11.467 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{16.668 \cdot 574.495}{1020 \cdot 60} = 0,156 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя

По приведенной формуле проводится расчет частоты вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 574.495}{3,14 \cdot 110} = 1663 \text{ об/мин.}$$

Рассчитать режимы резания и выбрать режущий инструмент необходимо для диаметральных размеров детали «Крышка».

Черновое точение в размер: D₀₁

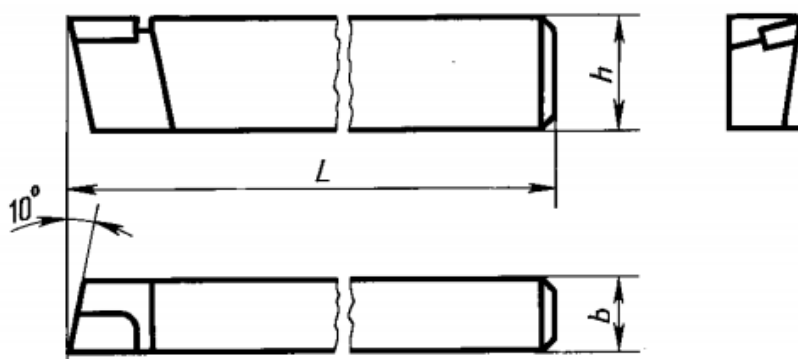


Рисунок 2.10.4 – Резец 2101-0057

Резец токарный проходной упорный ГОСТ 18879-73 с напайными твердосплавными пластинами: Резец 2101-0057 Т15К6 ГОСТ 18879-73(обработка поверхности);

Глубина резания: $t = 4,095$ мм;

Подача: $S' = 0,95$ мм/об;

Стойкость: $T = 40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

где $C_V = 340$, $m = 0,2$, $x = 0,15$, $y = 0,45$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}];$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}];$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305;$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{340 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,95^{0,45} \cdot 4,095^{0,15}} = 175,737 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4,095^1 \cdot 0,95^{0,75} \cdot 175,737^{-0,15} \cdot 0,704 = 3833 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 4,095^{0,9} \cdot 0,95^{0,6} \cdot 175,737^{-0,3} \cdot 0,504 = 895,861 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 4,095^1 \cdot 0,95^{0,5} \cdot 175,737^{-0,4} \cdot 1,18 = 2020 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{3833 \cdot 175,737}{1020 \cdot 60} = 11,007 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 175,737}{3,14 \cdot 180} = 310,929 \text{ об/мин.}$$

Чистовое точение в размер: D_{з1}

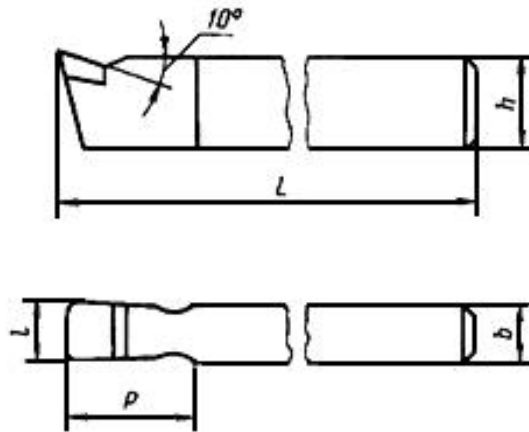


Рисунок 2.10.5 – Резец 2120-0066

Широкий чистовой токарный резец с пластиной из твердого сплава: Резец 2120-0066 Т15К6 ГОСТ 18881-73 (обработка поверхности);

Глубина резания: $t = 0,908$ мм [2, с. 265]

Подача: $S' = 0,25$ мм/об;

Стойкость: $T=40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x},$$

где $C_V=420$, $m=0,2$, $x=0,15$, $y=0,2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}],$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}]$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,25^{0,2} \cdot 0,908^{0,15}} = 350,871 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,3716^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 401,188^{-0,15} \cdot 0,704 = 281,49 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,908^{0,9} \cdot 0,25^{0,6} \cdot 350.871^{-0,3} \cdot 0,504 = 84.243 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,908^1 \cdot 0,25^{0,5} \cdot 350.871^{-0,4} \cdot 1,18 = 174,212 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{281.49 \cdot 350.871}{1020 \cdot 60} = 1.614 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 350.871}{3,14 \cdot 175} = 638,528 \text{ об/мин.}$$

Тонкое точение в размер: D_{32}

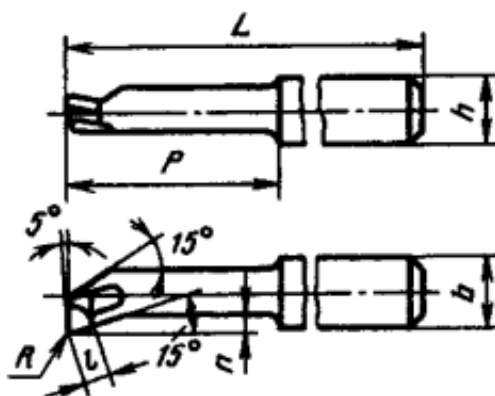


Рисунок 2.10.6 – Резец 2141-0010

ГОСТ 18883-73 Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава для обработки глухих отверстий. Резец 2141-0010 Т15К6

Глубина резания: $t = 0,427$ мм [2, с. 265]

Подача: $S' = 0,1$ мм/об;

Стойкость: $T = 40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

где $C_V = 420$, $m = 0,2$, $x = 0,15$, $y = 0,2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}],$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}]$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,427^{0,15}} = 471,937 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,89 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,704$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,427^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 471,937^{-0,15} \cdot 0,704 = 63,685 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,5 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,504.$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,427^{0,9} \cdot 0,1^{0,6} \cdot 471.937^{-0,3} \cdot 0,504 = 22.556 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,17 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,18.$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,427^1 \cdot 0,1^{0,5} \cdot 471.937^{-0,4} \cdot 1,18 = 46.021 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{63.685 \cdot 471.937}{1020 \cdot 60} = 0.491 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 471.937}{3,14 \cdot 175} = 858,848 \text{ об/мин.}$$

Тонкое точение в размер: D₂₃

Исполнение 1

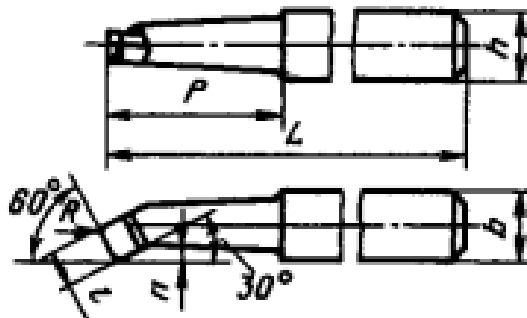


Рисунок 2.10.7 – Резец 2140-0009

ГОСТ 18882-73 Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава для обработки сквозных отверстий. Резец 2140-0009 Т15К6

Глубина резания: $t = 0,492$ мм [2, с. 265]

Подача: $S' = 0,1$ мм/об;

Стойкость: $T=40$ мин;

Определение скорости резания:

Расчет скорости резания при точении вдоль проводится по формуле [2]:

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x}$$

где $C_V=420$, $m=0,2$, $x=0,15$, $y=0,2$.

K_V – коэффициент поправочный [2]:

$$K_V = K_{mV} \cdot K_{nV} \cdot K_{иV};$$

$$K_{mV} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} = 0,95 \cdot \left(\frac{750}{490} \right)^1 = 1,45 [2],$$

$$K_{nV} = 0,9 [2, \text{стр.263 табл.5}],$$

$$K_{иV} = 1 [2, \text{стр.263 табл.6}]$$

$$K_V = 1,45 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,305$$

$$v = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} = \frac{420 \cdot 1,305}{40^{0,2} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,492^{0,15}} = 462.012 \text{ м/мин},$$

Определение силы резания:

Части составляющие силу резания при продольном и поперечном обтачивании определяются по формуле [2, стр.271]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p;$$

Где:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}.$$

Определяем часть силы – P_z :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,94 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,94 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,744$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,492^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 462.012^{-0,15} \cdot 0,744 = 77.797 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_y :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 0,77 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}];$$

$$K_p = 0,72 \cdot 0,77 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,776.$$

$$Cp = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,492^{0,9} \cdot 0,1^{0,6} \cdot 462.012^{-0,3} \cdot 0,776 = 39.705 \text{ Н}$$

Определяем часть силы – P_x :

$$K_{Mp} [2, \text{стр.264, табл. 9}], \quad K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{490}{750}\right)^{0,75} = 0,72$$

$$K_{\varphi p} = 1,11 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\gamma p} = 1,4 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_{\lambda p} = 1 [2, \text{стр.275, табл. 23}],$$

$$K_p = 0,72 \cdot 1,11 \cdot 1,4 \cdot 1 = 1,12.$$

$$Cp = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,492^1 \cdot 0,1^{0,5} \cdot 462.012^{-0,4} \cdot 1,12 = 50.76 \text{ Н}$$

Определение мощности резания:

Мощность резания определяется по формуле [2, с. 271]:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{77.797 \cdot 462.012}{1020 \cdot 60} = 0.587 \text{ кВт.}$$

Определение частоты вращения шпинделя:

Частота вращения шпинделя определяется согласно формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 462.012}{3,14 \cdot 175} = 840.786 \text{ об/мин.}$$

Точение фаски

Резец проходной отогнутый из твердого сплава: Резец 2102-1117 T15K6 ГОСТ 18868-73 Так как при точении фасок показатели требуемой мощности очень малы, расчет режима резания не производится.

В результате проведенного расчета режимов резания, было установлено, что наибольшая требуемая мощность для обработки равна 3,25 кВт. Основываясь на полученной величине, производим подбор оборудования.

2.11. Выбор оборудования

Токарный обрабатывающий центр SMEC SL 2500



Таблица 2.11.1 – Характеристики станка SMEC SL 2500

Максимальный диаметр обработки над станиной, мм	650
Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм	430
Максимальная длина обработки, мм	570
Мощность электродвигателя шпинделя, кВт	15
Скорость вращения шпинделя, об/мин	4500
Сечение резца, мм	25x25

Число инструментальных позиций, шт.	12
-------------------------------------	----

Вертикально-сверлильный станок Z5030



Таблица 2.11.2 – Характеристики станка Z5030

Наибольший диаметр сверления, мм	30
Перемещение шпинделя, мм	250
Макс. мощность двигателя, кВт	1
Макс. расстояние от шпинделя до рабочего стола, мм	550
Диапазон оборотов шпинделя, об/мин	62 – 2600
Размеры стола, мм	500x440

2.12. Выбор измерительного инструмента

Для произведения технического контроля осуществляем выбор контрольно-измерительного инструмента. Доступ к измеряемым частям поверхностей изделия, необходимая точность измерений, тип производства – все это учитывается при подборе инструмента.

Исходя, из вышперечисленных факторов, подбираем:

- Штангенциркуль ШЦ – П – 250 – 0,05 ГОСТ 166-89 для измерения линейных размеров, с точностью 0,05 мм
- Микрометр ГОСТ 6507–90 типа МВМ для измерения диаметральных размеров, с точностью 0,01 мм;
- Индикаторы часового типа ИЧ-05, цена деления 0,01 мм.

2.13. Нормирование

Норма времени выполнения операций на станках с ЧПУ, при условии использования одного станка, включает в себя подготовительно – заключительное время, т.е. время, затраченное на подготовку к выполнению работы и действий, связанных с ее окончанием и штучное время, время, отводимое на изготовление единицы продукции [4, с. 4, формула 1.1]:

$$N_{вр} = T_{пз} + T_{шт}$$

$T_{шт}$ – определяется из формулы [4, с.5, формула 1.2]:

$$T_{шт} = T_{оп} \left(1 + \frac{T_{обс} + T_{отл}}{100} \right)$$

где $T_{оп}$ – оперативное время, мин; $T_{обс}$ и $T_{отл}$ – время на обслуживание рабочего места и время на отдых и личные нужды соответственно, % от $T_{оп}$ (4-8%).

$$T_{оп} = T_a + T_b,$$

здесь T_a – время автоматической работы станка, мин; T_b – время вспомогательной ручной работы, мин.

Производим расчет времени автоматической работы, представляющего собой совокупность основного и вспомогательного времени работы станка:

$$T_a = T_{oa} + T_{ва},$$

где T_{oa} – основное время автоматической работы, мин; $T_{ва}$ – вспомогательное время автоматической работы, мин.

Расчет основного времени автоматической работы станка:

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_{Mi}},$$

где L_i – длина пройденного пути инструментом, при обработке заготовки, мм

S_{Mi} – рабочая минутная подача, на обрабатываемом участке, мм/мин.

Обработка инструментом ПИ1:

$$l_1 = 40,3716 \text{ мм}$$

$$S_{M1} = n \cdot s = 310,929 \cdot 0,95 = 295,38 \text{ мм/мин};$$

$$T_{oa1.1} = \frac{40,3716}{295,38} = 0,14 \text{ мин}$$

Обработка инструментом ПИ2:

$$l_2 = 0,415 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 698,153 \cdot 0,25 = 174,54 \text{ мм/мин};$$

$$T_{oa2.1} = \frac{0,415}{174,54} = 0,0023 \text{ мин}$$

$$l_3 = 0,3716 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 730,096 \cdot 0,25 = 182,52 \text{ мм/мин};$$

$$T_{oa2.2} = \frac{0,3716}{182,52} = 0,002 \text{ мин}$$

$$l_4 = 17 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 638,528 \cdot 0,25 = 159,63 \text{ мм/мин ;}$$

$$T_{\text{оа2.3}} = \frac{17}{159,63} = 0,11 \text{ мин}$$

$$T_{\text{оа2}} = 0,1143$$

Обработка инструментом ПИЗ:

$$l_4 = 10 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 840,786 \cdot 0,1 = 84,08 \text{ мм/мин ;}$$

$$T_{\text{оа3.1}} = \frac{10}{84,08} = 0,12 \text{ мин}$$

Обработка инструментом ПИ4:

$$l_5 = 6,8849 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 858,848 \cdot 0,1 = 85,88 \text{ мм/мин ;}$$

$$T_{\text{оа4.1}} = \frac{6,8849}{85,88} = 0,08 \text{ мин}$$

$$l_5 = 0,1151 \text{ мм}$$

$$S_{M2} = n \cdot s = 1663 \cdot 0,1 = 166,3 \text{ мм/мин ;}$$

$$T_{\text{оа4.1}} = \frac{0,1151}{166,3} = 0,0007 \text{ мин}$$

$$T_{\text{оа4}} = 0,0807 \text{ мин}$$

$$T_{\text{оа}} = 0,1143 + 0,0807 + 0,12 + 0,14 = 0,455 \text{ мин}$$

Расчет времени автоматической вспомогательной работы станка:

$$T_{\text{ва}} = T_{\text{вха}} + T_{\text{ост}};$$

Где $T_{\text{вха}}$ – время автоматических вспомогательных ходов, мин; $T_{\text{ост}}$ – время технологических пауз, мин.

$$T_{\text{вха}} = \frac{L_{\text{xx}}}{S_{\text{ум}}};$$

Где L_{xx} – длина пути, проходимого на холостом ходу, мм; $S_{\text{ум}}$ – ускоренная минутная подача, мм/мин.

Для определения величины пути, проходимого на холостом ходу, используется материал, указанный выше

$$L_{\text{xx}} = \sum_{i=1}^n L_{\text{xxпипи}}$$

$$L_{\text{xx}} = 75.16$$

$$T_{\text{вха}} = \frac{75.16}{175} = 0.43$$

$$T_{\text{ост}} = 0$$

$$T_{\text{ва}} = 0,43$$

Расчет времени автоматической работы:

$$T_a = 0,43 + 0,455 = 0,885 \text{ мин}$$

Производим расчет времени вспомогательной ручной работы, представляющего собой совокупность времени на снятие и установку ($T_{\text{ву}}$), времени на выполнение операций ($T_{\text{во}}$) и времени на контрольные измерения ($T_{\text{ви}}$):

$$T_{\text{в}} = T_{\text{ву}} + T_{\text{во}} + T_{\text{ви}}$$

$$T_{\text{ву}} = 2 \text{ мин}$$

$$T_{\text{во}} = 0 \text{ мин}$$

$$T_{\text{ви}} = 2,5 \text{ мин}$$

Расчет операционного времени:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{а}} + T_{\text{в}} = 0,885 + 4,5 = 5,385 \text{ мин}$$

Расчет штучного времени:

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{отл}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08$$

$$T_{\text{шт}} = 5,385 \cdot (1 + 0,08) = 5,82 \text{ мин}$$

Производим расчет нормы времени:

$$T_{\text{пз}} = 5,385$$

$$H_{\text{вр}} = 5,385 + 5,82 = 11,205 \text{ мин}$$

Вывод

Итогом создания данного раздела является разработка технологического процесса изготовления детали типа «Крышка». В процессе проектирования были осуществлены дальнейшие шаги: выбор заготовки и оценка технологичности детали в общем, моделирование маршрута обработки в среде мелкосерийного производства. Рассчитаны продольные и диаметральные припуски на механическую обработку и режимы резания. Вследствие полученных значений режимов резания, проведен подбор оборудования и режущего инструмента, создана расчетная технологическая и операционная карта, в том числе карта наладки. Решена норма времени выполнения операций на станках с ЧПУ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4А7В	Савенкову Вячеславу Сергеевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.05.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	к. э. н.		01.05.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А7В	Савенков Вячеслав Сергеевич		01.05.2021

Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной эффективности исследования.

Конструирование гравировального станка с ЧПУ есть цель текущей ВКР. В программном обеспечении «КОМПАС-3D» реализуется исследуемый метод конструирования.

3.1. Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений помогает внести коррективы в проект, чтобы успешнее противостоять соперникам. При проведении данного анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны конкурентов. Для этого составлена оценочная карта.

Объектом анализа являются параметры гравировальных станков различных фирм. В процессе работы рассматривались три варианта реализации данного устройства:

Проект (п) – гравировальный станок;

Конкурент 1 (К1) – фрезерно-гравировальный станок WOODTEC MH 6090;

Конкурент 2 (К2) – фрезерно-гравировальный станок Alfa 3040.

Таблица 3.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бп	Бк1	Бк2	Кп	Кк1	Кк2
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство в эксплуатации	0,115	4	4	4	0,460	0,460	0,460
Энергоэкономичность	0,106	4	3	3	0,424	0,318	0,318
Уровень шума	0,086	3	3	3	0,258	0,258	0,258
Безопасность	0,125	5	4	4	0,625	0,500	0,500
Функциональная мощность	0,115	5	4	3	0,575	0,460	0,345
Простота эксплуатации и ремонтпригодность	0,115	4	5	3	0,460	0,575	0,345
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,115	5	4	3	0,575	0,460	0,345
Предполагаемый срок эксплуатации	0,115	4	4	4	0,460	0,460	0,460
Затраты на ремонт	0,115	5	4	3	0,575	0,460	0,345
Итог	1	39	35	30	4,412	3,951	3,376

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле 1 [30].

$$K = \sum B_i \times \text{Б}_i \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

Следовательно, можно сделать вывод, что разрабатываемый гравировальный станок является конкурентоспособным. Также по результатам оценочной карты можно сказать, что основным конкурентом разрабатываемого станка является фрезерно-гравировальный станок WOODTEC MH 6090.

3.2. SWOT-анализ

SWOT – это комплексный анализ проекта гравировального станка. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – SWOT-анализ

	<p align="center">Сильные стороны</p> <p>S1. Энергоэффективность S2. Простота изготовления S3. Технологичность сборки S4. Уникальность продукта S5. Простота конструкции и ремонтпригодность S6. Предполагаемый долгий срок эксплуатации</p>	<p align="center">Слабые стороны</p> <p>W1. Более высокая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. W2. Сложность изготовления некоторых комплектующих деталей. W3. Не квалифицированность рабочих. W4.</p>
<p align="center">Возможности</p> <p>O1. Расширение рынка сбыта O2. Возможность использовать более дешевые компоненты. O3. Отсутствие конкурентоспособных моделей на рынке. O4. Сотрудничество с новыми компаниями.</p>	<p>O1O3O4S1S4S6- использование современных материалоемких технологий в изготовлении данного станка способствует увеличению спроса и позволяет стать конкурентоспособным станком на рынке сбыта.</p> <p>O2S2S3S5-за счет использования более простых технологий и унификации деталей, можно</p>	<p>O1O4W4 – за счет разработки различных маркетинговых ходов, возможно увеличить продажи.</p>

	достичь удешевление компонентов станка.	
<p style="text-align: center;">Угрозы</p> <p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Ограничения на экспорт</p> <p>T3. Нестабильность изготовления деталей для станка</p> <p>T4. Введение дополнительных государственных</p>	<p>T3S5- снизить сроки изготовления за счет простоты компонентов</p>	<p>T1W1 – заинтересовать компании уникальностью продукта</p> <p>T1T3W4 – использовать рекламу и маркетинговые предложения</p>

Второй этап SWOT-анализа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта гравировального станка внешним условиям окружающей среды [30]. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» –если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Примеры интерактивных матриц представлены в таблицах:

Таблица 3.2.2 – Связь сильных сторон с возможностями

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		S1	S2	S3	S4	S5	S6
	O1	+	-	-	-	-	+
	O2	-	+	+	-	+	-
	O3	+	-	-	+	-	+
	O4	+	-	-	+	-	+

Таблица 3.2.3 – Связь слабых сторон с возможностями

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		W1	W2	W3	W4
	-	-	-	-	+
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	+

Таблица 3.2.4 – Связь сильных сторон с угрозами

Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		S1	S2	S3	S4	S5	S6
	T1	-	-	-	-	-	-
	T2	-	-	-	-	-	-
	T3	-	-	-	-	+	-

Таблица 3.2.5 – Связь слабых сторон с угрозами

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		W1	W2	W3	W4
	T1	+	-	-	+
	T2	-	-	-	-
	T3	-	-	-	+

В результате проведенных оценки конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что проект имеет как сильные, так и слабые стороны, однако преимущества текущих и дальнейших возможностей разработки значительно больше, следовательно, работать имеет смысл над проектом.

3.3. Планирование научно-исследовательских работ

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках исследования;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного исследования формируется рабочая группа, в которую входят: научный руководитель, конструктор, технолог, менеджер проекта, маркетолог.

Разработанный список задач и производимых работ, в рамках проектирования, а также распределение исполнителей по этим работам, представлен в виде таблицы 3.3.1

Таблица 3.3.1 – Список производимых задач, работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель
Теоретические исследования	5	Анализ аналогов установки, выбор режущего инструмента	Инженер
	6	Разработка конструкции станка	
Обобщение и оценка результатов	7	Подведение итогов, оценка полученных результатов	Руководитель
			Инженер
Контроль и координация проекта	8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель

Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка конструкторской документации	Инженер
	10	Технико-экономические расчеты	Инженер
	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер

Трудоемкость выполнения научно-исследовательской работы оценивается экспертным путем в человеко-днях. Она носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется формула [30]:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{min i} + 2 \cdot t_{max i}}{5}, \quad (2)$$

Где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.

После определения ожидаемой трудоёмкости работ необходимо рассчитать продолжительность каждой из работ в рабочих днях T_p . Величина T_p учитывает параллельность выполнения этих работ несколькими исполнителями [30]:

$$T_{p i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

Где $T_{p i}$ – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 3.4.1.

3.4. Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле (5):

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5)$$

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5)$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Произведём расчёт представленных ранее параметров для первого этапа работ (составление и утверждение технического задания):

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}i} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел. - дн.}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{3,8}{1} = 3,8 \text{ раб. дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи (Выбор направления исследований):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,56 \approx 6 \text{ дней}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи (Выбор направления исследований):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 3,8 \cdot 1,28 = 5,93 \text{ дней}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 3.4.1

Таблица 3.4.1 – Временные показатели проектирования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		T_{pi}		T_{ki}	
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	9	-
Выбор направления исследований	5	3	7	5	5,8	4,2	2,9	2,1	4	3
Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
Календарное планирование работ по проекту	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	-	12	-	14	-	12,8	-	12,8	-	20
Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	8
Оценка эффективности полученных результатов	4	1	6	5	4,8	2,6	2,4	1,3	4	2
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	8	-
Разработка принципиальной схемы	5	3	7	5	5,8	3,8	5,8	3,8	8	6
Технико-экономические расчеты	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	6

Составление пояснительной записки	-	6	-	8	-	6,8	-	6,8	-	11
-----------------------------------	---	---	---	---	---	-----	---	-----	---	----

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кп} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февр.		март			апрель			май			июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	9	■														
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	7		■	▨												
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			▨												
4	Календарное планирование работ по проекту	Руководитель	8			■												
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	20				▨											
6	Разработка стенда в соответствии с выбранным исполнением и проведение испытаний	Инженер	8						▨									
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	6							■	▨							
8	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель	8								■							
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер, Руководитель	14									■						
10	Технико-экономические расчеты	Инженер	6										▨					
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	11														▨	

Таблица 3.4.2 – Диаграмма Ганта для руководителя и инженера

▨ - Инженер; ■ - Руководитель;

Таблица 3.4.3 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	105
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	60
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	45

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.5. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В данном пункте будет рассмотрена стоимость всех материалов и их количество используемых при разработке проекта.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 3.5.1.

Таблица 3.5.1 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лист 20 мм (Сталь 10)	1	44 200	44 200
Лист 10 мм (Сталь 10)	1	39 000	39 000
Лист 30 мм (Ст3сп)	1	34 200	34 200
Лист 20 мм (Ст3сп)	2	34 200	68 400

Лист 10 мм (Ст3сп)	1	33 435	33 435
направляющая HIWIN HGR20H (20 мм)	5	5 400	27 000
каретка HIWIN HGH20CAZH (20 мм)	12	2 766	33 192
Кронштейн шпинделя	1	1 400	1 400
Детали, изготовленные на заказ	1	25 000	25 000
Двигатель шаговый SL86STH65-5904A (Nema 34)	4	3 500	14 000
Виброопора ОВ-70	4	550	2 200
Шпиндель	1	35 600	35 600
Электронные компоненты для ЧПУ	1	37 000	37 000
Итого		394 627	

Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 3.5.2 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Электронные компоненты для ЧПУ	1	10	37000	37000
2	Двигатель шаговый SL86STH65-5904A (Nema 34)	4	7	3 500	14 000
3	Шпиндель	1	7	35 600	35 600
4	направляющая HIWIN HGR20H (20 мм)	5	12	5 400	27 000

5	Виброопора ОВ-70	4	10	550	2200
---	------------------	---	----	-----	------

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (6)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_a \cdot И}{12} \cdot m, \quad (7)$$

Где $И$ – итоговая сумма, тысяч руб.;

m – время использования.

Рассчитаем амортизацию для специальных компонентов, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1;$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электронные компоненты:

$$A = \frac{0,1 \cdot 37\,000}{12} \cdot 4 = 1233,3 \text{ руб.}$$

Двигатель:

$$A = \frac{0,14 \cdot 14\,000}{12} \cdot 4 = 653,3 \text{ руб.}$$

Шпиндель:

$$A = \frac{0,14 \cdot 35\,600}{12} \cdot 4 = 1661,3 \text{ руб.}$$

Направляющая:

$$A = \frac{0,08 \cdot 27\,000}{12} \cdot 4 = 720 \text{ руб.}$$

Виброопора:

$$A = \frac{0,1 \cdot 2\,200}{12} \cdot 4 = 73,3 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1233,3 + 653,3 + 1661,3 + 720 + 73,3 = 4341,2 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (8)$$

Где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле: при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{39000 \cdot 11,2}{233} = 1875 \text{ руб.} \quad (9)$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 28 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (Таблица 3.5.3)

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб.} \quad (10)$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.} \quad (10)$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 3.5.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни -праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени -отпуск -невыходы по болезни	56/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	270

Таблица 3.5.4 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	З _{тс} , руб	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб	T _р , раб.дн.	З _{осн} , руб
Руководитель	20000	0,3	0,2	1,3	39000	1875	38	71250
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1294	30	38820
Итого								101100

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 71250 = 10690 \text{ руб.} \quad (11)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 38820 = 5823 \quad (11)$$

Где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,15.

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления на социальные нужды составляет 30 % ($k_{\text{вне б.}} = 0,3$) от суммы заработной платы всех сотрудников, из которых 22 % составляют отчисления в пенсионный фонд, 2,9 % –на социальное страхование, 5,1 % –на медицинское страхование. Рассчитываем затраты на отчисление на социальные нужды по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{о.с.н.}} = 0,3 \cdot (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}) = 0,3 \cdot (71250 + 10690) = 24580 \quad (12)$$

Для инженера:

$$Z_{\text{о.с.н.}} = 0,3 \cdot (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}) = 0,3 \cdot (38820 + 5823) = 13390 \quad (12)$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по формуле [30]:

$$Z_{\text{накл.}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5) \quad (13)$$

Где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, принимаем в размере 20%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,2 \cdot (Z_{\text{мат}} + A_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}),$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл испол.1}} &= 0,2 \cdot (4341,2 + 394627 + 101100 + 16513 + 37970) \\ &= 110910,24 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Таблица 3.5.5 – Группировка затрат по статьям

Амортизация, руб.	Сырье, материалы, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления на социальные нужды, руб.	Итого без накладных расходов, руб.	Накладные расходы, руб.	Итого бюджетная стоимость, руб.
4341,2	394627	101100	16513	37970	554551,2	110910,24	665461,44

3.6. Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

1. фрезерно-гравировальный станок WOODTEC MH 6090;
2. фрезерно-гравировальный станок Alfa 3040;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (14)$$

Где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{649000}{665461,44} = 0,98$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{630000}{665461,44} = 0,95$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования рассчитывают по формуле [30]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (15)$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 15.

Таблица 3.6.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка станка «WOODTEC MH 6090»	Бальная оценка станка «Alfa 3040»
1. Безопасность при использовании станка	0,3	5	5	4
2. Стабильность работы	0,3	4	3	5
3. Технические характеристики	0,1	5	3	4
4. Ремонтопригодность	0,2	4	4	3
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4
Итого	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p \text{ исп}1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 4,5$$

$$I_{p \text{ исп}2} = 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 3,9$$

$$I_{p \text{ исп}3} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 4,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{исп}i}$) определяется исходя из интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя [30]:

$$I_{\text{исп}i} = \frac{I_{\text{р исп}i}}{I_{\text{финр}}} \quad (16)$$

Сравнительная эффективность проекта определяется путем сравнения различных интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки. Данный показатель позволяет выделить наиболее оптимальный вариант из предложенных вариантов. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$) [30]:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп}1}}{I_{\text{исп}2}} \quad (17)$$

Результаты расчета эффективности разработки представлены в таблице 16.

Таблица 3.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исполнение 1	Исполнение 2	Исполнение 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,98	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,5	3,9	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	4	4,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,88	0,95

Вывод

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 101 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 41 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 60;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 665461,44 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР является финансово не выгодной, по сравнению с аналогами;
- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 4,1 и 3,9;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 4 и 4,3, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4А7В	Савенкову Вячеславу Сергеевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Проектирование гравировального станка	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Гравировальный станок. Область применения: создание декоративных изделий, рисунков, орнаментов, надписей.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. – ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. – ГОСТ 21889-76 Кресло человека-оператора. – ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 30.04.2021)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень вибрации. – Повышенный уровень шума. – Недостаточная освещенность. – Электрический ток. – Отклонение показателей микроклимата от нормы.
3. Экологическая безопасность:	Влияние на <ul style="list-style-type: none"> – атмосферу: загрязнение газами; – гидросферу: захоронение остатков сырья; – литосферу: загрязнение мелкой стружкой.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожары, взрывы, обрушение сооружения, затопление территории вследствие паводка. Наиболее типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.05.2021
--	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД	Черемискина Мария Сергеевна	Ассистент		01.05.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А7В	Савенков Вячеслав Сергеевич		01.05.2021

Введение

В текущей части обозреваются опасные и вредные факторы, которые оказывают пагубное влияние на человека в ходе проектирования, производства и работы с гравировальным станком. В свою очередь просматриваются меры по предупреждению и ликвидации чрезвычайных происшествий, методы уменьшения пагубных воздействий на человека и окружающую среду.

В этой работе описывается разработка гравировального станка с ЧПУ. Гравировальный станок – это оборудование, используемое для создания рисунков и надписей на поверхностях из древесины, камня и металла, на плоскости и в объеме. Проект данного станка найдет широкое применение в сфере малого и среднего бизнеса различных видов производств. Под небольшой типоразмер данного оборудования отлично подойдет помещение малых размеров, что является преимуществом для малых предприятий. Кроме того, данный гравировальный станок годится для индивидуального использования в гараже или небольшой мастерской, поскольку он отлично подойдет для ведения небольшого бизнеса или хобби.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Для того, чтобы осуществить практическую деятельность в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, которые позволяют их обеспечить. В связи с тем, что проектирование гравировального станка производится при помощи ЭВМ, необходимо рассмотреть требования к рабочей зоне оператора и самой ЭВМ.

В соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации работодатель обязан обеспечить нормальные условия для выполнения работниками норм выработки. К таким условиям, в частности, относятся:

- исправное состояние помещений, сооружений, машин, технологической оснастки и оборудования;
- своевременное обеспечение технической и иной необходимой для работы документацией;
- надлежащее качество материалов, инструментов, иных средств и предметов, необходимых для выполнения работы, их своевременное предоставление работнику;
- условия труда, соответствующие требованиям охраны труда и безопасности производства.

В соответствии со статьей 14 федерального закона № 426 при проектировании гравировального станка по классификации условий труда – оптимальные. Воздействие неблагоприятных факторов отсутствует и влияния на организм не происходит.

В соответствии со статьей 109 ТК РФ перерывы для приема пищи, отдыха и обогрева общей продолжительностью один час, которые входят в рабочее время. Внутрисменный перерыв для отдыха: первая пауза – 10 мин., через 2 часа после начала работ; вторая пауза – 20 мин., через 4 часа работы; третья пауза – 10 мин., через 6 часов работы; четвертая пауза – 20 мин., через 8 часов работы; пятая пауза – 12 мин, за 2 часа до окончания работы.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Требования к помещениям для работы с ПК:

Помещение, где расположено рабочее место, имеет как естественное, так и искусственное освещение. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [6] окна преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток, в реальном помещении данное требование выполняется.

Рабочее место находится в офисном помещении, площадь которого составляет 12 м² (длина А = 3 м, ширина В = 4 м), объем составляет 30 м³ (высота

C = 2,5 м). Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [6] площадь на одно рабочее место пользователей ПК составляет 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [2] при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают женщины и мужчины - общие средние показатели женщин и мужчин.

Рабочее кресло в соответствии с ГОСТ 21889-76 [4] при проектировании должно иметь следующие параметры, представленные в таблице.

Таблица 4.1.1 – Основные размеры кресла, мм:

ширина поверхности сиденья, не менее	400
глубина поверхности сиденья	400-420
высота спинки, не менее	500
ширина опорной поверхности спинки, не менее	400
регулируемая высота поверхности сиденья от уровня установки ног	360-450
горизонтальное (продольное) регулирование, не менее	100
высота подлокотников, мм	200-240
ширина подлокотников, не менее, мм	50
длина подлокотников, мм	250-300

4.2. Производственная безопасность

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации проектируемого гравировального станка. Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [7]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 4.2.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) [23]	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1.Повышенный уровень вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь.
2.Превышение уровня шума		+	+	Общие требования. [8]
3.Неправильная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности.» [9]
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [10]
5. Отклонение показателей микроклимата от нормы	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [11] ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно- гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [12]

1. Повышенный уровень вибрации

а) При изготовлении

При изготовлении не стандартных деталей конструкции, возникает вибрация, которая появляется в процессе работы производственного оборудования, такого как: токарный, фрезерный, шлифовальный станки и станок с ЧПУ.

При достаточно долгом действии общей вибрации возникают механические повреждения тканей, а также органов человеческого организма.

В соответствии с ГОСТ 12.1.012-2004 [8], амплитуда вибрации в помещении должна составлять не более $0,0072 \cdot 10^{-3}$ м при частотах от 31,5 Гц до 63 Гц. На производстве станки работают в диапазонах близких к 60 Гц. Соответственно, не возникает пагубного влияния на организм человека.

Для того, чтобы снизить уровень вибрации до требуемого уровня используются методы защиты оператора от вибрации. Существуют следующие методы, такие как: правильное размещение специального оборудования устройства и оптимальные режимы работы установки.

Чтобы снизить уровень вибрации в цехе, необходимо своевременно осуществлять ремонт оборудования и вовремя смазывать трущиеся поверхности деталей. При работе с оборудованием используются индивидуальные средства защиты: обувь с амортизирующими подошвами, рукавицы и перчатки с мягкими наладонниками.

б) При эксплуатации;

В сущности, мероприятия по защите оператора от вибрации используются те же, что и при изготовлении, поскольку станок будет эксплуатироваться в цеху.

2. Повышенный уровень шума

Во время эксплуатации оборудование является источником шума. При изготовлении деталей для гравировального станка необходимо предусмотреть, чтобы уровень шума в цехе не превышал допустимого уровня. Все это необходимо для того, чтобы предотвратить вредное влияние шума на организм человека. Повышенный уровень шума приводит к быстрой утомляемости

человека и является общебиологическим раздражителем. В последствии продолжительного влияния шума падает производительность физического труда на 10%, а умственного – более чем на 40%.

Разумеется, что эксплуатация гравировального станка сопровождается повышенным уровнем шума. Но ожидается, что шум, возникающий от проектируемого станка, не превышает требуемого уровня, кроме того, данный шум будет непродолжительным.

По ГОСТ 23337 – 2014 [13] максимально допустимый уровень шума в цехе не должен превышать 80 дБ (широкополосный шум). Общий уровень шума измеряется в пределах 65 дБ. Данный показатель уровня шума соответствует допустимому.

В соответствии с ГОСТ 23337 – 2014 [13] при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест необходимо обеспечить меры по снижению уровня шума, воздействующего на человека, до требуемого уровня, не превышающего допустимого.

Существуют следующие методы и средства коллективной защиты, которые подразделяются в зависимости от способа реализации на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

- изменение направленности излучения шума;
- рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
- применение звукоизоляции.

3. Неправильная освещенность рабочей зоны

В соответствии с СП 52.13330.2016 [10] неправильную освещенность рабочей зоны можно отнести к вредным факторам, при этом организм рабочего может утомляться и это может повлиять на качество работы. Утомляемость человека может возникать из-за чрезмерной или недостаточной освещенности, а также из-за неправильного направления света.

Освещенность рабочего помещения при использовании искусственных источников света должна быть от ламп накаливания не менее 100 лк, от люминесцентных ламп - не менее 150 лк. в соответствии с ГОСТ 55710-2013 [14]. Светильники следует устанавливать так, чтобы исключалось их слепящее действие. Аварийное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 10 % указанной.

При недостаточной освещенности необходимо установить дополнительные источники света.

4. Опасность получения удара электрическим током

В связи с тем, что в гравировальном станке имеется такой элемент, как электродвигатель, то в процессе эксплуатации гравировального станка оператор может получить удар электрическим током. Удар электрическим током может привести к летальному исходу.

Во время эксплуатации самого гравировального станка вероятность получения удара электрическим током очень мала, но нельзя исключать чрезвычайные ситуации. Поэтому важно, чтобы оператор соблюдал правила электробезопасности.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [11] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;
- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;

- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

5. Микроклимат

Необходимо соответствие состояния микроклимата на механическом участке допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88 [12]. Метеорологические условия в производственных условиях определяются такими параметрами, как:

- температура воздуха t , °С;
- относительная влажность воздуха φ , %;
- скорость движения воздуха на рабочем месте v , м/с.

Существенным фактором в помещениях является движение воздуха, воздействующим на тепловое самочувствие человека. В случае жаркого помещения, движение воздуха содействует повышению отдачи теплоты организмом и благоприятно влияет на его состояние, но также оказывает негативное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года.

По тяжести работ оператор относится к категории 2б. Параметры микроклимата не должны выходить за рамки допустимых значений, указанных в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Значение микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, С°	Влажность, %	Скорость воздуха, м/с
Теплый	2б	18-27	65	0,2
Холодный	2б	17-23	<75	0,2

На проектируемом участке показания, зарегистрированные замерами микроклимата, не превосходят допустимых границ и обеспечивается это за счет следующего:

- в теплый период года – использование искусственной вентиляции.
- в холодный период года – применение водяного отопления;

4.3. Экологическая безопасность

1. Атмосфера

Механическая металлообработка на станках сопровождается выделением пыли, стружки, туманов масел и эмульсий, которые через вентиляционную систему выбрасываются из помещений, чем отрицательно влияют на состояние атмосферы.

На предприятии в соответствии с требованиями Федерального закона от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 29.07.2018) «Об охране атмосферного воздуха» [15] должен быть разработан проект нормативов предельно-допустимых выбросов, который устанавливает нормы выброса в атмосферу для каждого стационарного источника.

Методы защиты атмосферы при наличии загрязнений:

- очистка загрязненного воздуха в специальных аппаратах и его возврат в производственное или бытовое помещение, если воздух после очистки в аппарате соответствует нормативным требованиям к приточному воздуху;
- локализация токсичных веществ в зоне их формирования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специальных аппаратах, выброс и рассеивание в атмосфере.

2. Гидросфера

Загрязнителями гидросферы на производственных участках являются различные масла, отработанные СОЖ, органические растворители и т.д. В соответствии с ГОСТ 17.1.3.06-82 [16], на промышленных предприятиях при соответствующем технико-экономическом обосновании должны создаваться замкнутые системы водоснабжения.

Методы защиты: смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала.

3. Литосфера

Загрязнителем литосферы будут считаться захоронения промышленных и бытовых отходов. К промышленным отходам относятся микростружка, опилки металлов, демпферный лом. Каждый отход должен быть включен в проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР).

Разработанный станок оказывает непосредственное влияние на литосферу, воздействуя на нее вибрационными нагрузками. Прочность некоторых земных пород, таких как пески, торф, заметно снижается из-за их уплотнения, структурные связи нарушаются, возможно, внезапное разжижение и образование оползней, отвалов, плывущих выбросов и других неблагоприятных процессов.

Методы защиты:

В ходе металлообработки снимается слой металлической стружки, которая должна правильно утилизироваться для переработки (переплавки). Стружку необходимо разделить на цветной и черный лом, спрессовать, упаковать и отправить на переплавку. Ртутные лампы сдать в соответствующую фирму на утилизацию.

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При разработке, изготовлении и эксплуатации гравировального станка возможно возникновение некоторых ЧС техногенного характера. Наиболее высокая вероятность ЧС для данных работ - пожар. Так как на рабочем месте имеется электрическая проводка под напряжением, питающая оборудование. Так же источником пожара может быть нагретое оборудование. Несоблюдение техники безопасности чревато возникновением пожара.

Для исключения возможности возникновения пожара, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- Проведение противопожарного инструктажа с персоналом;
- Обучение технике безопасности при работе с оборудованием;
- Размещение инструкций по предотвращению и борьбе с пожаром, а также размещение на видном месте плана эвакуации;
- Обеспечение свободного прохода;
- Содержание оборудования в исправном состоянии;
- Оснащение помещения средствами пожаротушения. Для помещения с электрооборудованием рекомендованы огнетушители порошкового типа ГОСТ Р 51017- 2009 [17].

Для уменьшения опасности возникновения и распространения пожаров большое значение имеет грамотное устройство и расположение помещений и выходов из них. Обязательным является наличие вентиляции, так как при ее отсутствии в случае возгорания будет сильное задымление помещений, что затруднит борьбу с пожаром. Обязательно наличие оповещающей пожарной сигнализации в производственном помещении. Производственный участок также должен быть оснащен средствами пожаротушения. В здании должна обеспечиваться быстрая безопасная эвакуация людей в случае возникновения пожара. Пожарную опасность представляют электрические устройства в случае перегрузки или короткого замыкания. Для предотвращения этого должен быть проведен правильный монтаж сетей и агрегатов, а их

эксплуатация должна обеспечиваться в соответствии с правилами их эксплуатации.

Для предупреждения рабочих об опасности поражения электрическим током используют знаки: "Стой - опасно для жизни", "Не влезай - убьёт".

При выявлении очага загорания или каких-либо признаков горения (задымление, запах гари и т. п.) рабочий должен: сразу же сообщить об этом, позвонив по телефону «01» или «010» (для мобильной связи). При этом необходимо назвать оператору наименование объекта, место взрыва, пожара, а также представиться, назвав свою фамилию; принять меры по эвакуации людей и совместно с этим приступить к устранению очага пожара и по возможности сохранению имущества, обладающего материальной или какой-либо другой значимой ценностью, устранение очага возгорания нужно осуществлять с помощью первичными средств пожаротушения (огнетушитель ОУ-5ВСЕ, пожарный рукав). При невозможности – покинуть опасную зону [СП 12.13130.2009 – Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [18]].

Вывод

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации гравировального станка, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях проектирования, изготовления и эксплуатации данного станка.

Заключение

В процессе написания данной квалификационной работы был разработан гравировальный станок, в соответствии с техническим заданием. Техническое задание имело отдельное задание на каждую главу.

В конструкторском разделе были рассмотрены существующие типы гравировальных станков, их конструкции и особенности. Различные виды и конструкции оборудования гравировальных станков, изучены минусы и плюсы каждого типа узла. Создана принципиальная кинематическая схема, в соответствии с которой, создана 3D-модель гравировального станка и сборочный чертеж после проведенных необходимых расчетов. Окончательно выбран материал и тип конструкции, подобрано оборудование для данного станка.

В технологическом разделе в соответствии с техническим заданием проанализирована технологичность детали «Крышка». В свою очередь, создан маршрут обработки и граф-дерево, вместе с размерной схемой производства детали. Рассчитаны: технологические размеры для обработки детали, режимы резания. Выбрано оборудования для обработки и проведен расчет норм времени на обработки.

В главе финансового менеджмента проведено планирование проанализирована конкурентоспособность проекта. Подсчитан бюджет для воплощения проекта и рассмотрена эффективность реализации объекта.

В разделе социальной ответственности исследованы вероятные вредные и опасные риск-факторы во время проектирования, эксплуатации и изготовления гравировального станка, и описаны способы по их предупреждению и ликвидации.

Список литературы

1. Гравировальные станки // metobr-expo.ru URL: <https://www.metobr-expo.ru/ru/ui/17166/> (Дата обращения: 26.04.2021).
2. Фрезерно-гравировальные станки с ЧПУ: виды, возможности, конструкционные особенности // vseostankah.com URL: <https://vseostankah.com/frezernye-stanki/frezerno-gravirovalnyj-s-chpu.html#i-2> (Дата обращения 26.04.2021).
3. Шпиндель для фрезерного станка с ЧПУ // top3dshop.ru URL: <https://top3dshop.ru/blog/shpindel-frezerniy-standok.html#kakimi-kachestvami-dolzhen-obladat-horoshiy-shpindelnyy-uzel-frezernogo-standka-s-chpu> (Дата обращения 27.04.2021).
4. Шарико-винтовая передача движения // stankiexpert.ru URL: <https://stankiexpert.ru/tehnologii/shariko-vintovaya-peredacha-dvizheniya.html> (Дата обращения 27.04.2021).
5. Реечная передача // stankiexpert.ru URL: <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/zapchasti/rechnaya-peredacha.html> (Дата обращения 27.04.2021).
6. ЧПУ станок своими руками. Часть 3. Выбор конструкции станины // darxton.ru URL: <https://darxton.ru/wiki-article/chpu-standok-svoimi-rukami-chast-3-vybor-konstruktsii-standiny/> (Дата обращения 28.04.2021).
7. Сервоприводы: подключение, управление, примеры работы // wiki.amperka.ru/ URL: <http://wiki.amperka.ru/articles:servo> (Дата обращения 28.04.2021).
8. Описание основных узлов фрезерного станка с ЧПУ // dominik-chel.ru URL: <http://www.dominik-chel.ru/statja-4-opisanie-osnovnyh-uzlov-frezernogo-standka-s-chpu> (Дата обращения 28.04.2021).

9. Выбор направляющих для станка с ЧПУ // purelogic.ru URL: https://purelogic.ru/article/vybor_napravlyayuschikh_dlya_stanka_s_chpu/ (Дата обращения 28.04.2021).

10. Фрезерно-гравировальные станки с ЧПУ: полный обзор // lasercut.ru URL: <https://lasercut.ru/blog/frezerno-gravirovalnyie-stanki-s-chpu-polnyij-obzor/> (Дата обращения 28.04.2021).

11. Ничков А.Г. «Фрезерные станки» – Москва, 1997 г. – 184 с.

12. Фрезерно-гравировальный станок Cutter HD // cnc-tehnologi.ru URL: <https://cnc-tehnologi.ru/stanki-khobbi-klassa/frezerno-gravirovalnyj-standok-cutter-hd> (Дата обращения 29.04.2021).

13. Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ WoodTec MH 6090 // woodtec.com.ru URL: https://woodtec.com.ru/catalog/product/frezerno_gravirovalnyy_standok_s_chpu_woodtec_mh_6090/ (Дата обращения 29.04.2021).

14. Фрезерно-гравировальный станок Alfa 3040 // sign-service.ru URL: <https://sign-service.ru/catalog/nastolnye/00000002132.html> (Дата обращения 30.04.2021).

15. Бобровский А.В. Резание цветных металлов: Справочник / А. В. Бобровский, О. И. Драчев, А. В. Рыбьяков. – СПб.: Политехника, 2001. – 200с.: ил.

16. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х томах. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

17. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1985 г., 496 с., ил.

18. Кочергин А.И. Конструирование и расчет станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов.-Мн.: Выш.шк.,1991.-382 с.

19. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов. Под ред. В.Э. Пуша. - М: Машиностроение,1985.-256 с.

20. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 100 с.

21. "Марочник сталей и сплавов" Под общ. ред. А.С.Зубченко 2-е издание доп. и испр. М.: Машиностроение 2003г. 784 стр. с ил.

22.Общемашиностроительные нормативы времени и режимы резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: справочник / Центральное бюро нормативов комитета СССР по труду и социальным вопросам – М.:Экономика, 1990. – 207 с.

23.Анализ технологичности детали. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/7/36979.html>

24.Проектирование и расчет станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие / И.Н. Аверьянов, А. Н. Болотеин, М. А. Прокофьев – Рыбинск: РГАТА, 2010. – 220 с.

25.Атаманов С.А. Выбор средств измерения и контроля размеров в машиностроении: учеб, пособие / С.А.Атаманов, В. Ф. Гнидо, И.Г. Панков. – Рязань: РИ (ф) МГОУ, 2012.

26.Рогов В.А. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / В.А. Рогов. – 2-е изд., испр. и доп., 2016.

27. Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирования технологических процессов: учеб. пособие / С.К. Сысоев, А.С. Сысоева, В.А. Левко. – СПб.: Лань. 2011.

28. Схиртладзе А.Г. Резание материалов. Режущий инструмент: учебник для академического бакалавриата / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. Ред. Н.А. Чемборисова., 2016.

29. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для вузов / А.А. Маталин – 3-е изд., стер. – СПб: Лань. 2010.

30. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. –36 с.

31. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 30.04.2021).

32. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ – Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

33. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ – Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

34. ГОСТ 21889-76 – Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.

35. ГОСТ 22269-76 – Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.

36. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы.

37. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ – Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

38. ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ – Вибрационная безопасность. Общие требования.

39. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ – Шум. Общие требования безопасности.

40. СП 52.13330.2016 – Естественное и искусственное освещение.

41. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ – Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

42. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

43. ГОСТ 23337-2014 – Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.

44. ГОСТ 55710-2013 – Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

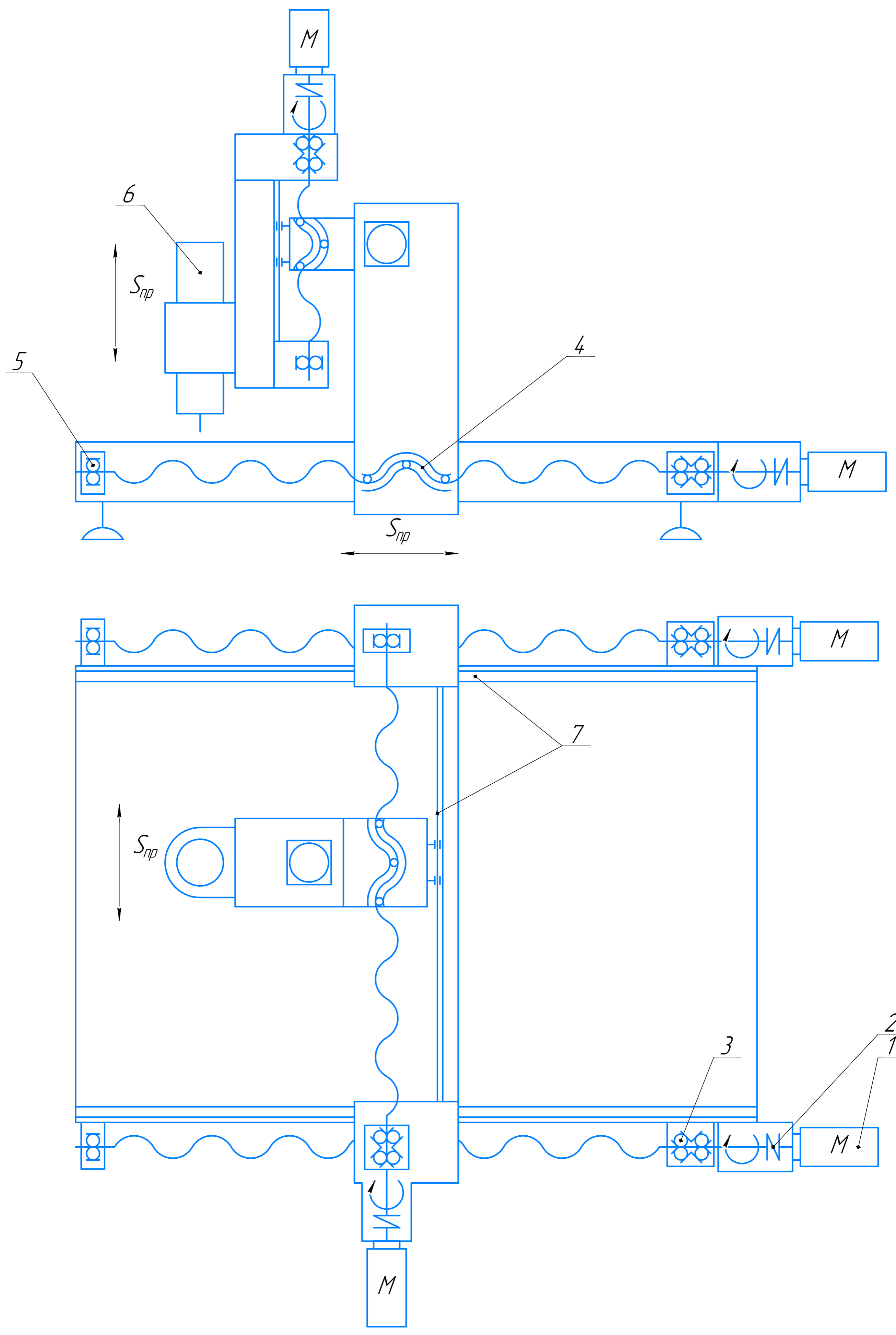
45. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 29.07.2018) «Об охране атмосферного воздуха».

46. ГОСТ 17.1.3.06-82 – Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

47. ГОСТ Р 51017-2009 Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний.

48. СП 12.13130.2009 – Определение категории помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

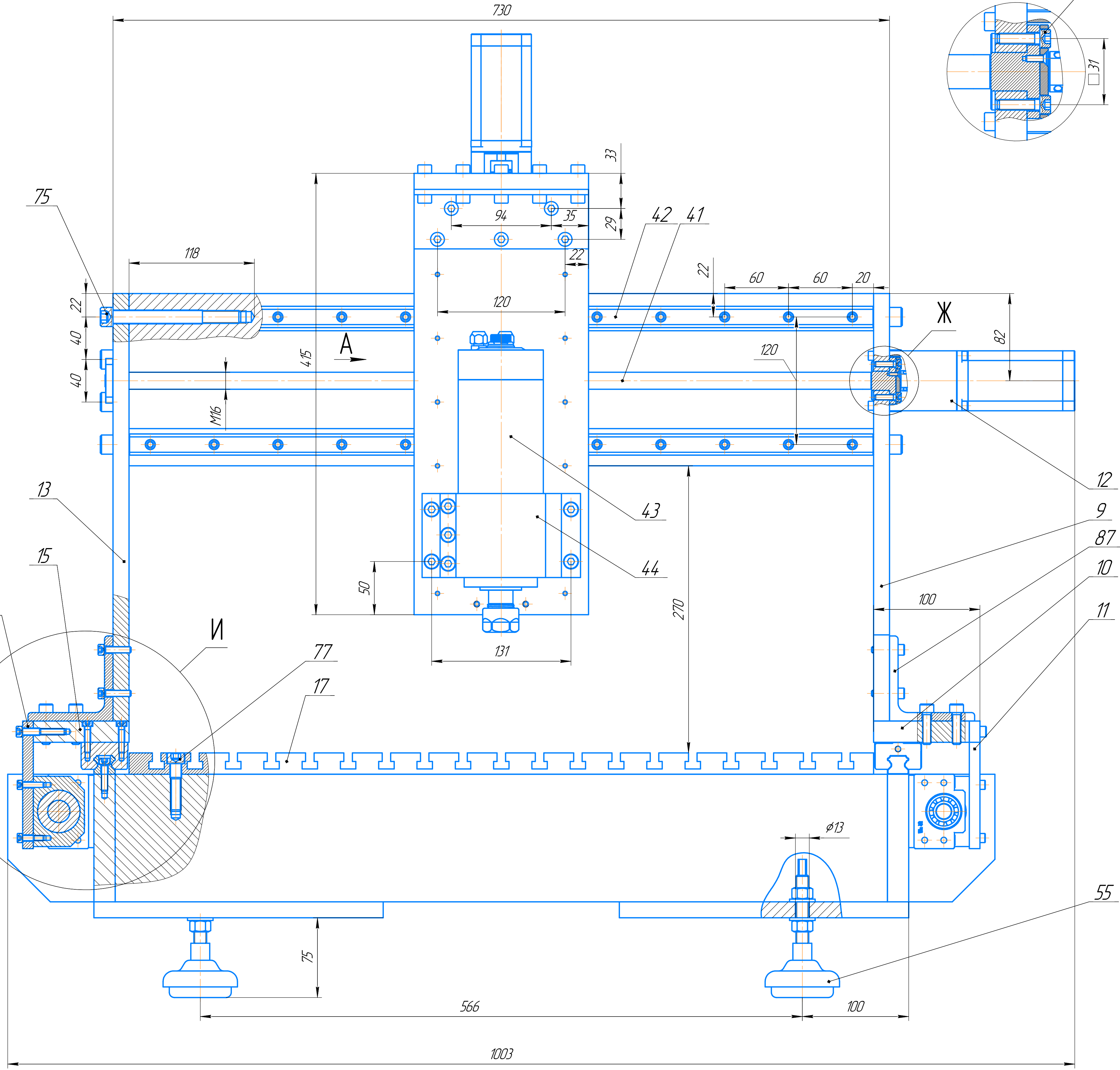
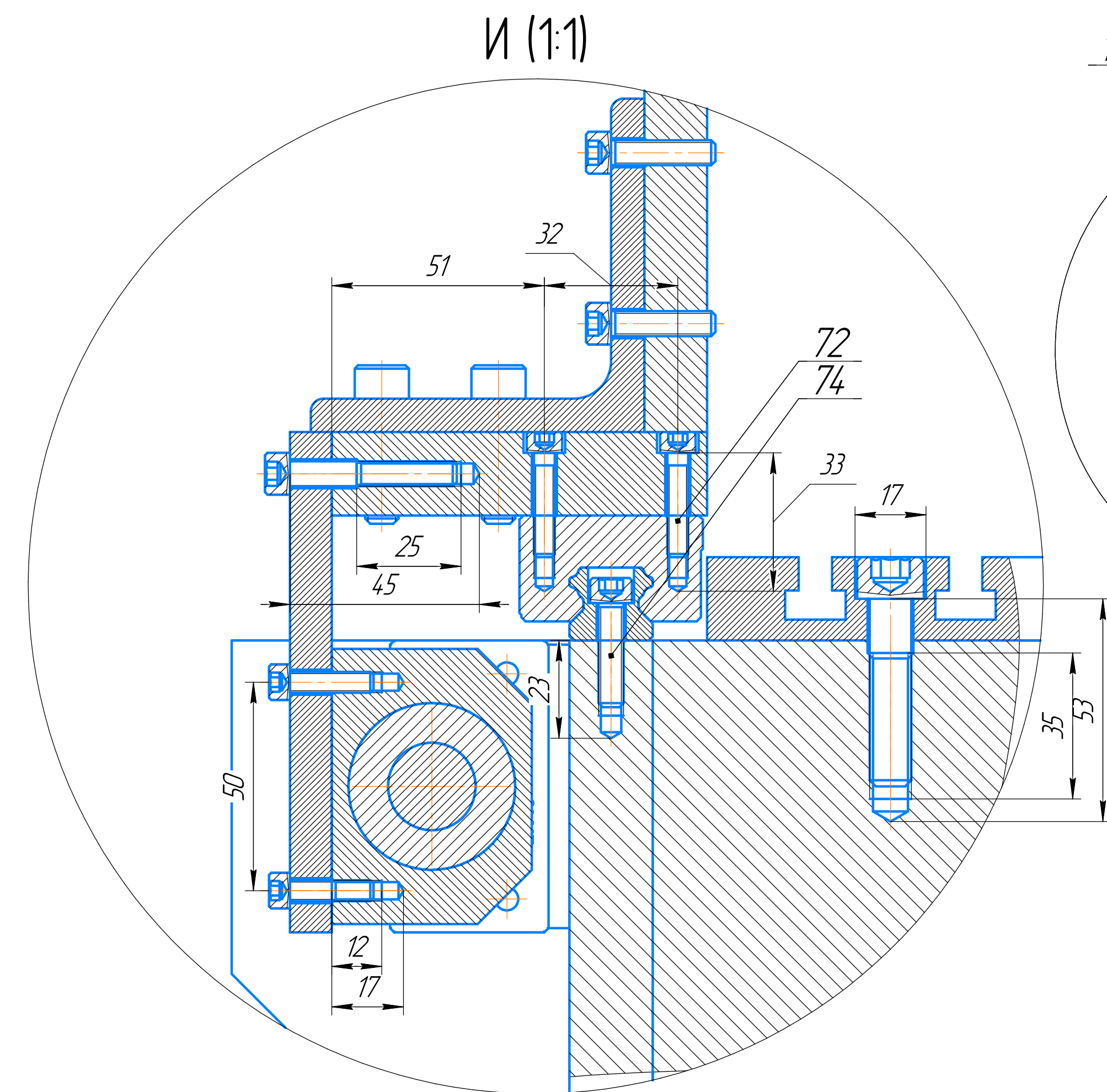
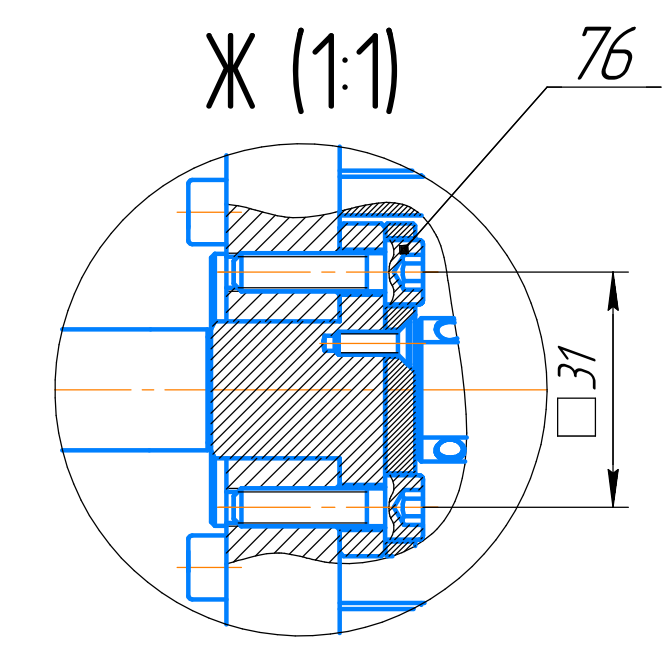
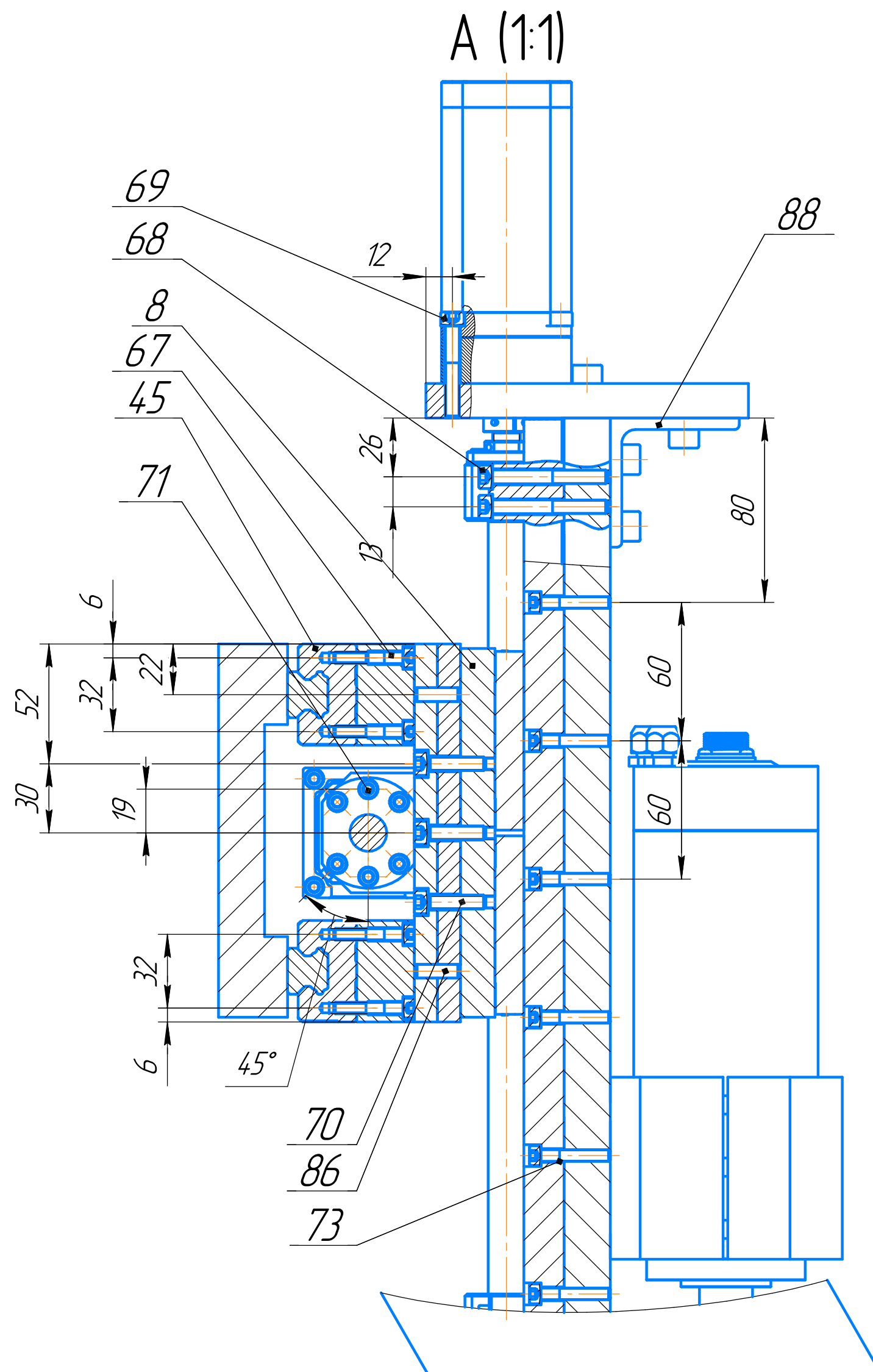
Приложение А – Кинематическая схема



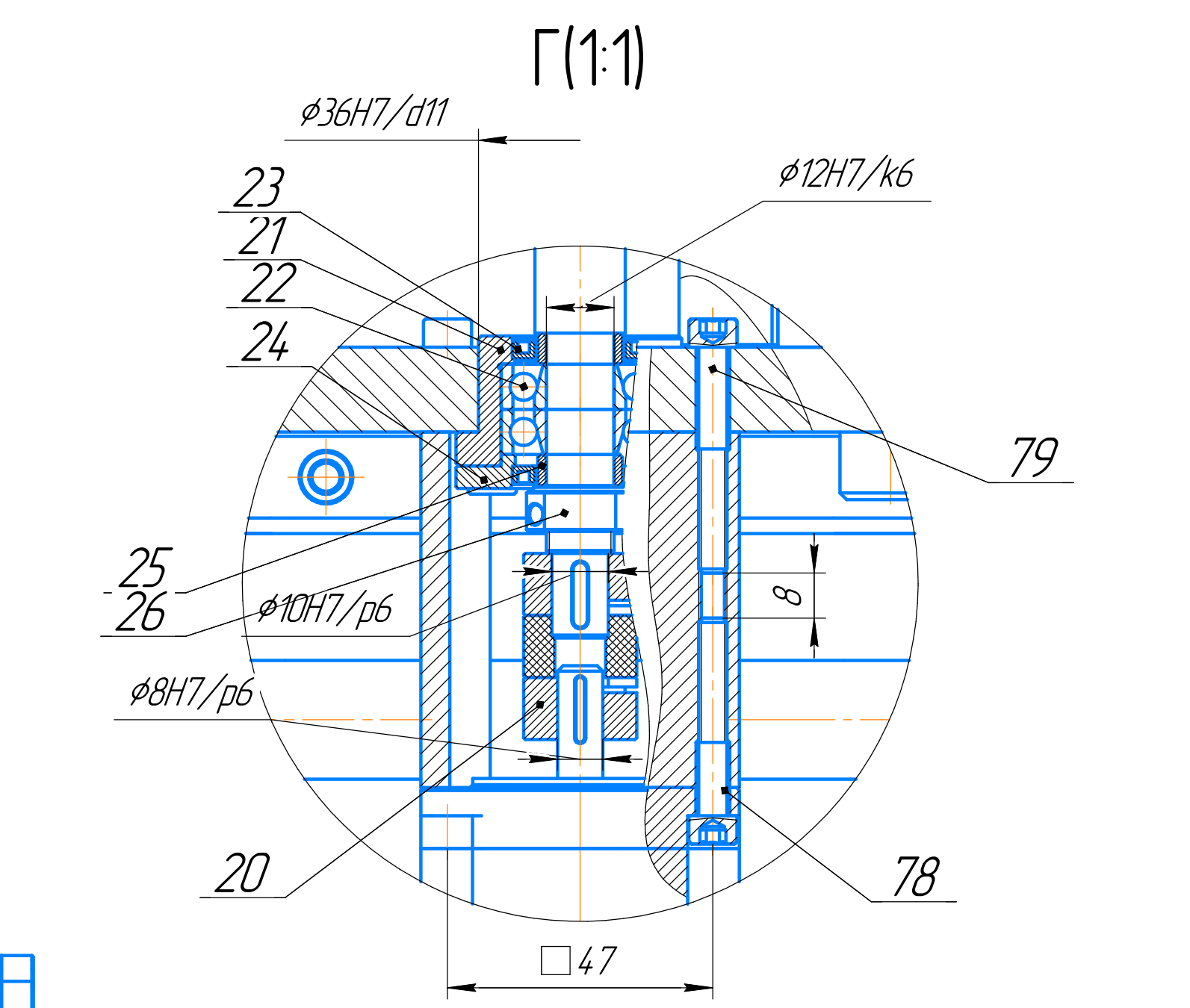
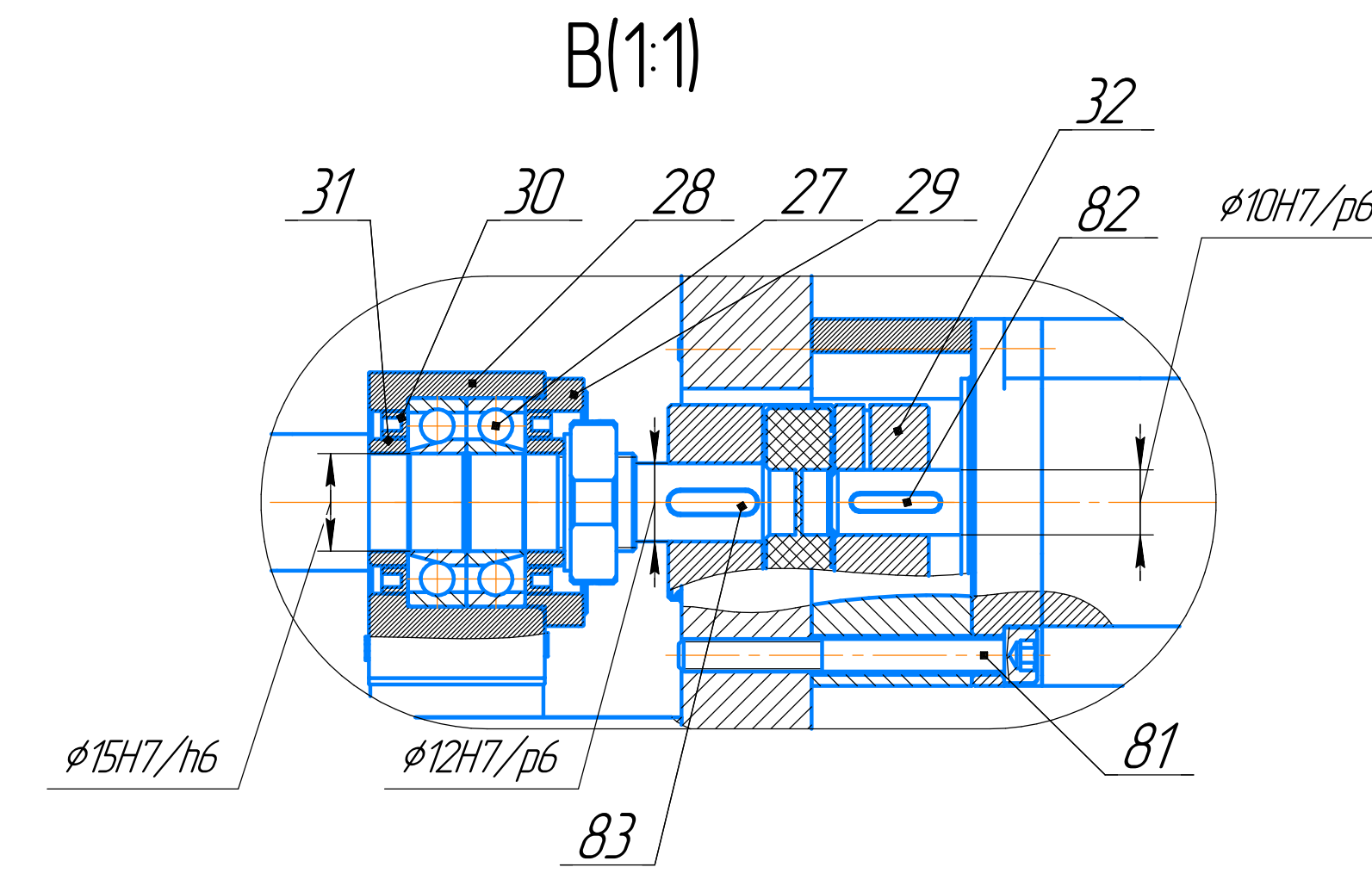
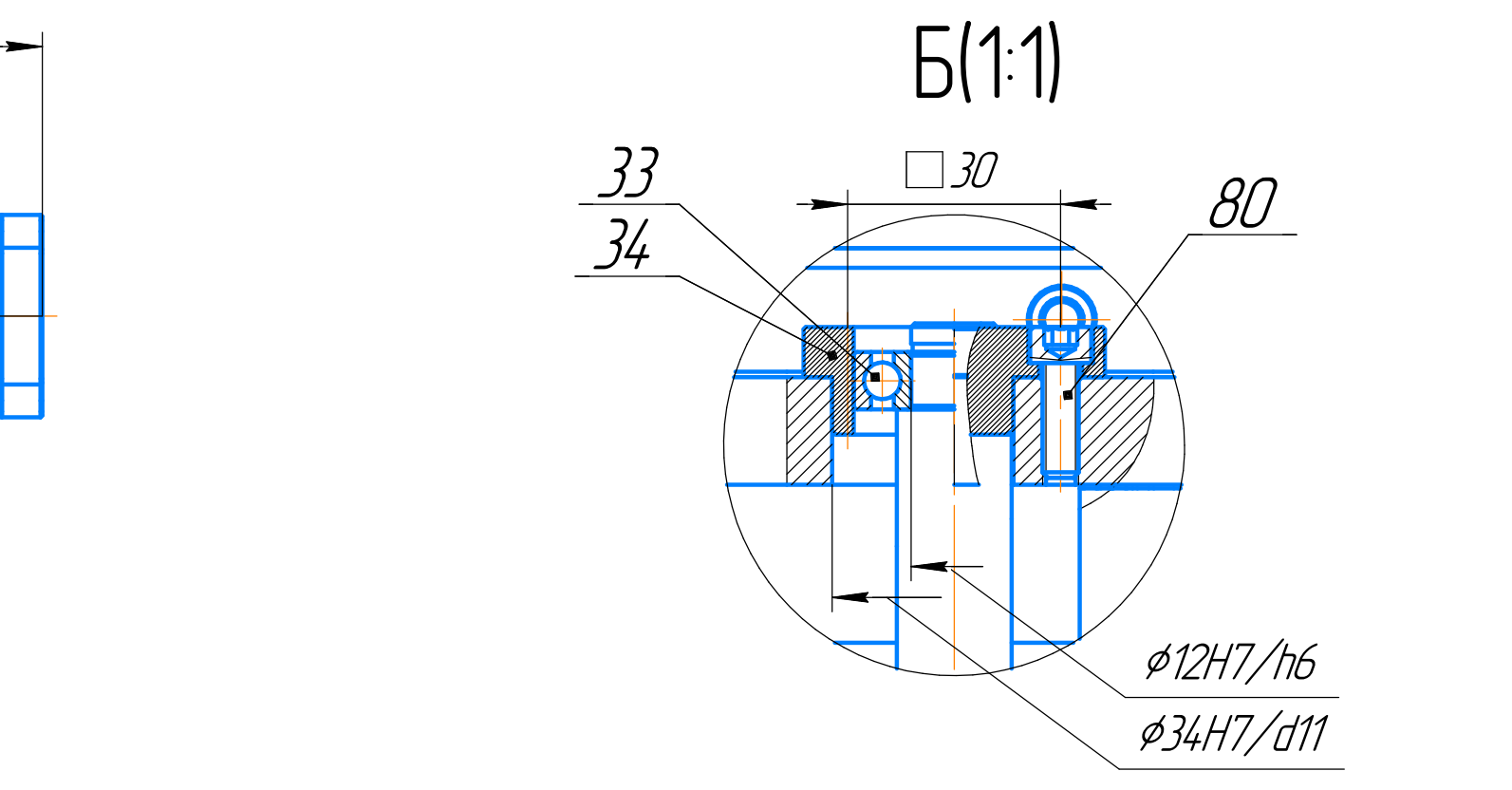
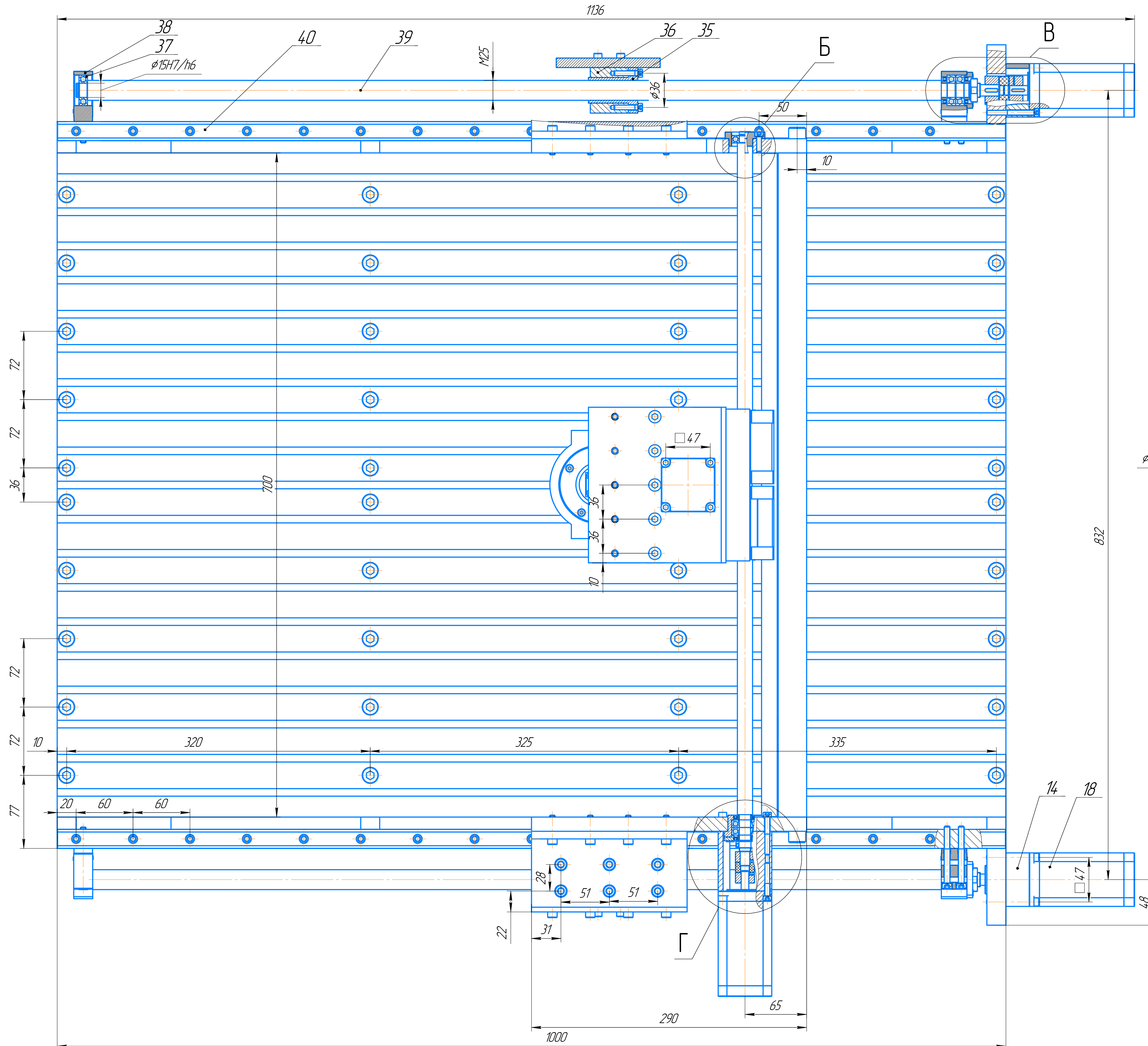
Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инд. №	Инд. № дѣл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

ИШНПТ.8/162150.ПС						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Малогабаритный гравировальный станок	
Разраб.	Саденков					
Проб.	Козарь					
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						
				Лит.	Масса	Масштаб
						1:1
				Лист	Листов	1
				ТПУ	ИШНПТ	
				Группа	4А7В	
				Формат	A2	

Приложение Б – Сборочный чертеж



ИИИПТ.8/162150.СБ
Лист № 2
ИИИПТ.8/162150.СБ
Лист № 2
ИИИПТ.8/162150.СБ
Лист № 2



ИШНПТ.8/162150.СБ
Лист № 3
Имя Лист № докум. Лист 3
Лист № 3

Приложение В – Спецификация

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A4			ИШНПТ.8Л62150.ПЗ	Пояснительная записка		
A4			ИШНПТ.8Л62150.ПС	Принципиальная схема		
A1			ИШНПТ.8Л62150.СБ	Сборочный чертеж		
<i>Сборочные единицы</i>						
		1	ИШНПТ.8Л62.150.00.01.00	Станина	1	
<i>Детали</i>						
		2	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.01	Полка каретки	1	
		3	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.02	Планка	1	
		4	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.03	Панель портала	1	
		5	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.04	Платик большой подшипника	2	
		6	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.05-01	Плита суппорта	1	
		7	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.06-02	Плита суппорта	1	
		8	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.07	Платик маленький подшипника	2	
		9	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.08-01	Стойка портала	1	
		10	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.09-01	Опора портала	1	
		11	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.10-01	Кронштейн держателя гайки ШВП	2	
		12	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.11	Планка портала	1	
		13	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.12-02	Стойка портала	1	
		14	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.13	Планка станины	1	
		15	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.14-02	Опора портала	1	
		16	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.15-02	Кронштейн держателя гайки ШВП	1	
		17	ИШНПТ.8Л62.150.00.00.16	Стол станка	1	
ИШНПТ.8Л62150.СП						
Изм. Лист		№ докум.		Подп.	Дата	
Разраб. Савенков						
Пров. Козарь						
Н.контр.						
Утв.						
Малозабаритный гравировальный станок				Лит.	Лист	Листов
					1	4
				ТПУ ИШНПТ		
				Группа 4А7В		
				Формат А4		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		50	ИШНПТ.8/162.150.00.00.49	Втулка опоры bk12	2	
		51	ИШНПТ.8/162.150.00.00.50	Корпус опоры bf12	1	
		52	ИШНПТ.8/162.150.00.00.51	Винт 16 мм	1	
		53	ИШНПТ.8/162.150.00.00.52	Гайка ШВП	2	
		54	ИШНПТ.8/162.150.00.00.53	Держатель гайки ШВП	2	
		55	ИШНПТ.8/162.150.00.00.55	Опора ВО-31М	4	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		3		Винт М6х25 ГОСТ 11738-84	16	
		57		Винт М8х30 ГОСТ 11738-84	12	
		58		Винт М6х40 ГОСТ 11738-84	8	
		59		Винт М5х20 ГОСТ 11738-84	8	
		60		Винт М6х60 ГОСТ 11738-84	12	
		61		Винт М8х25 ГОСТ 11738-84	4	
		62		Винт М6х20 ГОСТ 11738-84	24	
		63		Винт М6х35 ГОСТ 11738-84	6	
		64		Винт М8х25 ГОСТ 11738-84	5	
		65		Винт М8х20 ГОСТ 11738-84	5	
		66		Винт М8х45 ГОСТ 11738-84	5	
		67		Винт М5х30 ГОСТ 11738-84	16	
		68		Винт М6х50 ГОСТ 11738-84	6	
		69		Винт М6х40 ГОСТ 11738-84	4	
		70		Винт М6х25 ГОСТ 11738-84	6	
		71		Винт М5х25 ГОСТ 11738-84	24	
		72		Винт М5х25 ГОСТ 11738-84	16	
		73		Винт М5х30 ГОСТ 11738-84	14	
		74		Винт М6х25 ГОСТ 11738-84	32	
		75		Винт М12х120 ГОСТ 11738-84	8	
		76		Винт М5х20 ГОСТ 11738-84	4	
		77		Винт М10х45 ГОСТ 11738-84	40	
		78		Винт М5х35 ГОСТ 11738-84	4	

Иш. № подл.	Подп. и дата
	Иш. № докл.
Иш. № подл.	Взам. иш. №
	Подп. и дата
Иш. № подл.	Подп. и дата
	Иш. № докл.

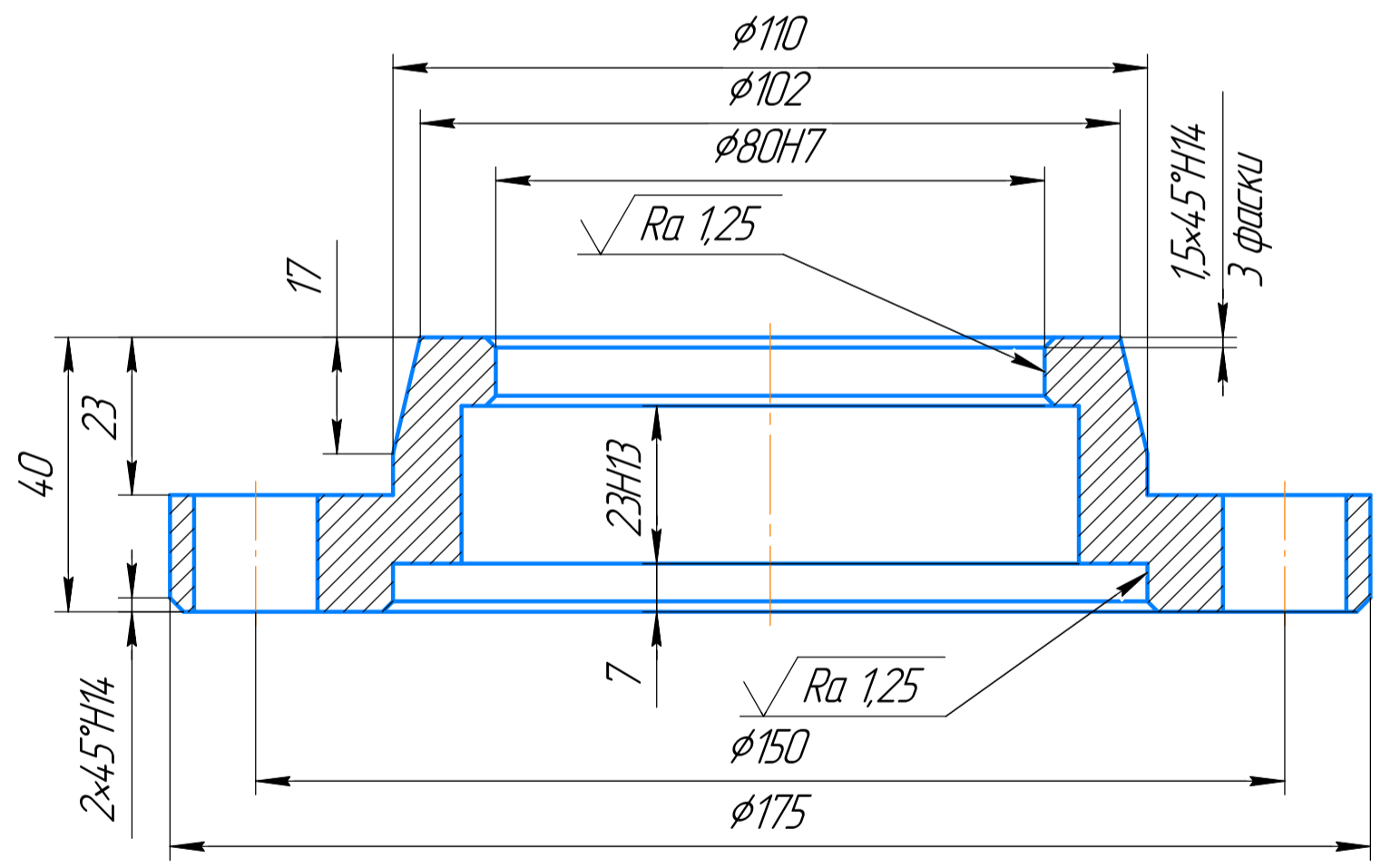
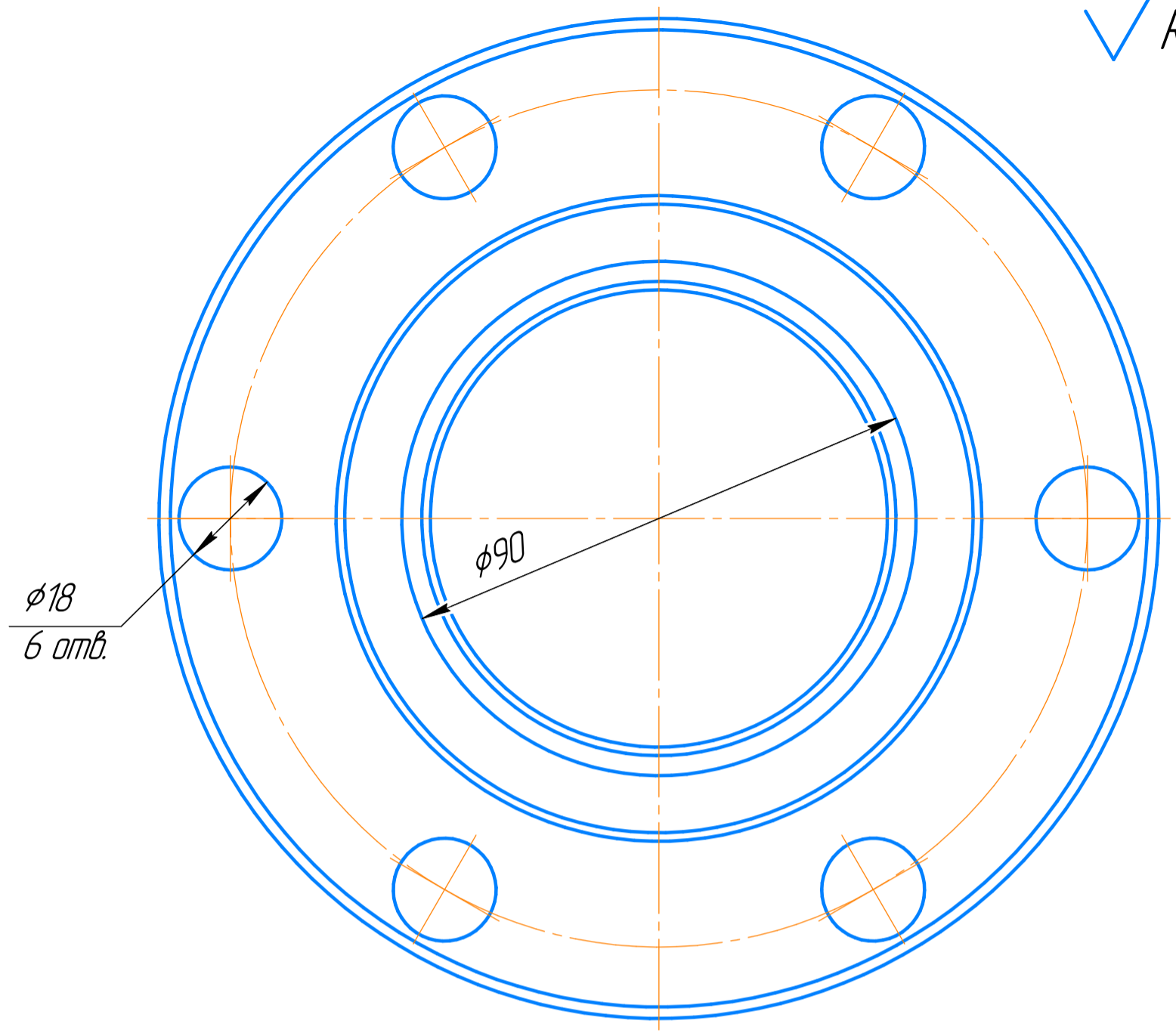
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ИШНПТ.8/162150.СП

Лист
3

Приложение Г – Чертеж детали

√ Ra 6.3 (√)



1. HRC 42...47.
2. Неуказанные предельные отклонения размеров H12, h12, ±IT12/2.

Перв. примен.
Справ. №

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

<h1>Крышка</h1>			Лит.	Масса	Масштаб
			у		1:1
<h2>Ст 45 ГОСТ 1050-88</h2>			Лист	Листов	1