

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения УДК 620.178.5:621.822.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А8В	Курпиев Максим Александрович		06.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Буханченко Сергей Евгеньевич	к.т.н. доцент		06.06.2022

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н. доцент		06.06.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		06.06.2022

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.03.01 Машиностроение	Ефременков Егор Алексеевич	к.т.н. доцент		06.06.2022

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Умеет использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Осознает сущности и значения информации в развитии современного общества
ОПК(У)-3	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации
ОПК(У)-4	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ДОПК(У)-1	Способен разрабатывать и оформлять конструкторскую документацию в соответствии со стандартами и с учетом технических и эксплуатационных характеристик деталей и узлов изделий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обеспечивать технологичность изделий и процессов их изготовления; умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий
ПК(У)-2	Способен разрабатывать технологическую и производственную документацию с использованием современных инструментальных средств
ПК(У)-3	Способен обеспечивать техническое оснащение рабочих мест с размещением технологического оборудования; умением осваивать вводимое

	оборудование
ПК(У)-4	Способен участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции
ПК(У)-5	Умеет проверять техническое состояние и остаточный ресурс технологического оборудования, организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт оборудования
ПК(У)-6	Умеет проводить мероприятия по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, контролировать соблюдение экологической безопасности проводимых работ
ПК(У)-7	Умеет выбирать основные и вспомогательные материалы и способы реализации основных технологических процессов и применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения
ПК(У)-8	Умеет применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ПК(У)-9	Способен к метрологическому обеспечению технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции
ПК(У)-10	Умеет учитывать технические и эксплуатационные параметры деталей и узлов изделий машиностроения при их проектировании
ПК(У)-11	Умеет использовать стандартные средства автоматизации при проектировании деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями
ПК(У)-12	Способен оформлять законченные проектно-конструкторские работы с проверкой соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-13	Умеет проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений
ПК(У)-14	Умеет проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и их патентоспособности с определением показателей технического уровня проектируемых изделий
ПК(У)-15	Умеет применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности, проводить анализ причин нарушений технологических процессов в машиностроении и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
ПК(У)-17	Умеет обеспечивать моделирование технических объектов и технологических процессов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов

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 машиностроение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Е.А. Ефременков
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4А8В	Курпиев Максим Александрович

Тема работы:

Разработка стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2022 №34-78/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2022
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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>Объект исследования: технические средства контроля состояния подшипников качения;</p> <p>Внутренний посадочный диаметр диагностируемого подшипника: 30...220 мм;</p> <p>Наружный диаметр диагностируемого подшипника: 42...420 мм;</p> <p>Ширина диагностируемого подшипника: не более 140 мм;</p> <p>Максимальная масса диагностируемого подшипника: 65 кг;</p> <p>Габаритные размеры (ДхШхВ): не более 1200x800x1600 мм;</p> <p>Масса: не более 650 кг;</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	Рабочий чертеж детали «шків»; Тип производства – мелкосерийное; Количество деталей в партии – 6 шт.
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>	Литературный обзор технических средств для контроля состояния подшипников качения: классификация, сравнительный анализ, анализ достоинств и недостатков прототипов; разработка принципиальной схемы Установки; разработка Установки; создание концепта и 3D модели установки; составление технологического процесса изготовления детали «шків»; расчет режимов резания; расчет припусков на обработку отверстия; подбор оборудования, режущего и мерительного инструмента; нормирование; расчет приспособления; разработка раздела финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения; разработка раздела социальной ответственности; заключение по работе.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж Установки; 2. Чертеж общего вида Установки; 3. Рабочий чертеж детали; 4. Карта наладки; 5. Расчетно-технологическая карта; 6. Операционные карты.
---------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кацук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.12.2021
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Буханченко Сергей Евгеньевич	к.т.н. доцент		13.12.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А8В	Курпиев Максим Александрович		13.12.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 161 с., 28 рис., 34 таблиц, 25 источников, 14 приложений.

Ключевые слова: вибрация, вибродиагностика, средства контроля вибрации, подшипники качения, проектирование.

Объектом исследования являются технические средства контроля состояния подшипников качения.

Цель работы - анализ технических средств вибрационного контроля состояния подшипников качения, разработка конструкторской и технологической документации проектируемого стенда. Разработка мероприятий по социальной ответственности в проекте.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ технических средств для контроля состояния подшипников качения. В результате проведенного анализа были выявлены достоинства и недостатки тех или иных систем. Была разработана принципиальная схема работы Установки. На основании которой был построен концепт вариант разрабатываемой Установки. Опираясь на концепт была смоделирована Установка в 3D. Также был разработан технологический маршрут изготовления детали «шків», подобрано оборудование, режущий и мерительный инструмент.

При выполнении раздела финансового менеджмента проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проводимого исследования, проведен SWOT – анализ и планирование исследования. Доказана эффективность реализации проекта.

В ходе выполнения раздела социальной ответственности были рассмотрены возможные опасные и вредные факторы, которые действуют на оператора данной Установки, приведены правовые и организационные нормы обеспечения безопасности, рассмотрена экологическая безопасность.

Оглавление

Введение	9
1. Основная часть	10
1.1 Аналитическая часть	10
1.2 Конструкторская часть	29
1.2.1 Описание принципиальной схемы станда	29
1.2.2 Расчет мощности электродвигателя	31
1.2.3 Расчет плоскоременной передачи	35
1.2.4 Прочностной расчет вала шпинделя	39
1.2.5 Расчет подшипников скольжения	49
1.2.6 Разработка концепта СВКСПК	53
Заключение	54
2. Технологическая часть	55
Введение	55
2.1 Анализ технологичности конструкции детали	56
2.2 Выбор вида и способа получения заготовки	63
2.3 Разработка технологического маршрута изготовления детали «шків»	65
2.4 Размерный анализ	71
2.5 Расчет режимов резания	79
2.6 Выбор оборудования	88
2.7 Нормирование	90
2.8 Выбор режущего инструмента	97
2.9 Выбор средств технического контроля	98
2.10 Расчет приспособления	98
Заключение	99
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	102
Введение	102
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	102
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	102
3.1.2 SWOT-анализ	103
3.2 Планирование проекта по разработке установки	107
3.2.1 Структура работ в рамках проекта	107
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	108

3.3 Бюджет проектной разработки.....	113
3.3.1 Расчет материальных затрат проекта.....	113
3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	114
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	115
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	117
3.3.5 Накладные расходы	117
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	119
Выводы по разделу	121
4. Социальная ответственность.....	125
Введение	125
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации.....	125
4.2 Производственная безопасность	127
4.3 Экологическая безопасность.....	134
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	136
Вывод по разделу.....	136
Заключение.....	137
Список источников.....	138
Приложение А - принципиальная схема Установки.....	141
Приложение Б - чертеж общего вида	143
Приложение В – сборочный чертеж.....	145
Приложение Г – спецификация.....	147
Приложение Д – чертеж детали «шків»	150
Приложение Е – технологическая документация	152

Введение

В процессе работы любого механизма случается момент, когда происходит отказ. Это такое событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния оборудования. Одной из основных причин по которым может произойти отказ является поломка подшипников.

Причин, по которым подшипник может выйти из строя множество: это и недостаточная смазка, и неправильный монтаж подшипника, и посадка подшипника с чрезмерным натягом, либо попадание абразивных частиц на дорожки качения или банальное усталостное разрушение вследствие переменных напряжений сдвига. Итогом этих напряжений является образование трещин, которые с течением времени всё ближе распространяются к поверхности, по которым перекатываются тела качения. Перекатываясь, они отделяют часть материала, впоследствии образуя усталостные раковины, которые в свою очередь являются дефектами поверхности колец подшипника.

Все вышеописанные причины являются первоисточниками дефектов подшипников. В свою очередь дефекты в подшипниках можно выявить не только, когда произошла непосредственная поломка, но и на ранней стадии. Для этого проводят замер шума и вибрации. Технические средства для измерения уровня вибраций могут быть разного типа, но суть измерений практически идентичная, это замер интегральных параметров вибрации в фиксированном частотном диапазоне, таком как виброперемещение, виброскорость, либо чаще - виброускорение.

Виброускорение – величина вибрации, которая характеризуется силовым динамическим взаимодействием элементов механизма, вызывающей непосредственную вибрацию подшипника. На графике отображается амплитудой (Пик-Пик), замер проводится пьезодатчиком, который без последующего преобразования выдаёт результат об исправности подшипника.

1. Основная часть

1.1 Аналитическая часть

Подшипник (англ. bearing)(от слова шип) — изделие, являющееся частью опоры или упора, которое поддерживает вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью. Фиксирует положение в пространстве, обеспечивает вращение, качение или линейное перемещение (для линейных подшипников) с наименьшим сопротивлением, воспринимает и передаёт нагрузку от подвижного узла на другие части конструкции. Основные разновидности подшипников представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 - Разновидности подшипников

Подшипники качения являются основным видом подшипников, используемых во вращающемся оборудовании. Они имеют следующие достоинства и недостатки в сравнении с подшипниками скольжения:

Достоинства:

- меньшие моменты трения при пуске;
- меньшие осевые габаритные размеры;
- простота обслуживания и малый расход смазочного материала;
- полная взаимозаменяемость;
- малая стоимость в связи с массовым производством;
- меньший расход цветных металлов;

Недостатки:

- повышенные диаметральные габариты;
- высокие контактные напряжения и поэтому ограниченный срок службы при большом его рассеянии;

- высокая стоимость уникальных подшипников при мелкосерийном производстве;

- меньшая способность демпфировать колебания;
- повышенный шум при высоких частотах вращения.

Классификация подшипников качения представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Классификация подшипников качения

Контроль подшипников осуществляют на всех этапах существования подшипника, от их сборки до конечной поломки. Контролируются такие параметры как состав и свойства материала и смазки, геометрия элементов подшипника, величина и форма зазоров в подшипнике, электромеханические свойства, температура, вибрация. Результирующая оценка состояния подшипника в сборе и установленного в контролируемом оборудовании чаще всего производится по его вибрации, температуре и, в частности, подшипников с принудительной смазкой, по количеству продуктов износа в смазке.

Наилучшим образом себя проявляют вибрационные методы контроля состояния подшипников качения, они дают возможность контроля вибрации при непосредственном контакте датчика с неподвижными элементами подшипника. Важнейшей проблемой, вибрационной диагностики подшипников становится разделение составляющих вибрации, возбуждаемых контролируемым подшипником и другими элементами установки, в составе которой работает этот подшипник.

В зависимости от задач, решаемых с помощью приборов или систем измерения и анализа вибрации, к ним предъявляются различные технические требования. Существующие технические средства можно классифицировать так, как показано на рисунке 3. [1, с.83]

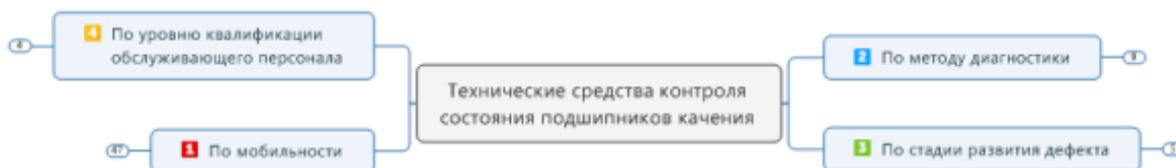


Рисунок 3 - Классификация технических средств контроля состояния подшипников качения

Общая структура систем измерения и анализа вибрации, будь то технические средства вибрационного контроля и защиты, вибрационного мониторинга или диагностики, включает в себя первичные измерительные преобразователи, согласующие устройства, линии связи, собственно средства анализа, базу данных (в простейшем случае - пороговые устройства) и средства (программы) обработки информации. На рисунке 4 представлена схема системы измерения и анализа вибрации. [1, с.83]

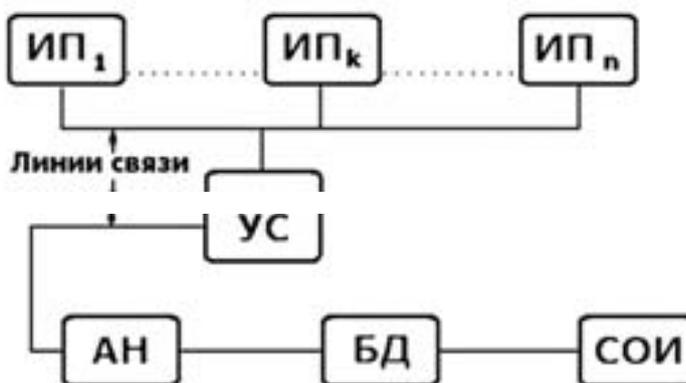


Рисунок 4 - структурная схема системы измерения и анализа вибрации где ИП - измерительные преобразователи; УС - устройства согласования; АН - анализатор; БД - база данных; СОИ – средства обработки информации.

В настоящее время все вибродиагностические комплексы принято делить на два типа - портативные и стационарные. Портативные, в свою

очередь, можно условно разделить на следующие виды: виброметры, сборщики данных, виброанализаторы, структурная схема представлена на рисунке 5. [1, с.81]

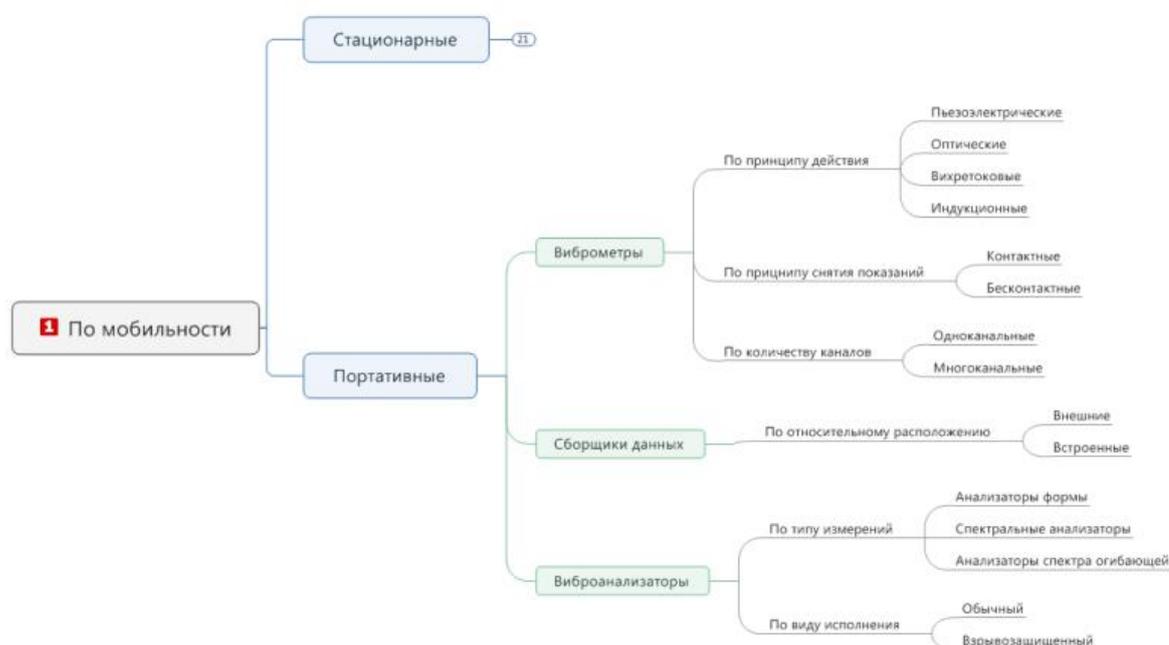


Рисунок 5 - Классификация технических средств вибродиагностики по мобильности

Виброметры - приборы со встроенным или выносным датчиком, позволяющие измерять какой-либо интегральный параметр вибрации СКЗ, ПИК или ПИК-ПИК в фиксированном частотном диапазоне (как правило, СКЗ виброскорости). Пользователь такого прибора может оценить исправность того или иного узла контролируемого оборудования, плотно прижав металлический щуп прибора к поверхности контролируемой машины и сравнив полученный результат измерений с допустимым уровнем вибрации, приведенным в эксплуатационной документации на агрегат. На основании периодических измерений составляются графики изменения параметров по каждой точке. Эти графики позволяют наглядно продемонстрировать изменения и отфильтровать "выпадающие" измерения, с достаточно высокой точностью прогнозировать дальнейшее изменение интегрального состояния контролируемого оборудования. Использование

приборов типа виброметров не требует специальной подготовки персонала.
[1, с.81]

Сборщики данных - более сложные приборы со встроенной памятью. Они имеют возможность сбора данных (СКЗ и временной реализации длиной от 8192 до 65536 отсчетов) с большого числа точек в соответствии с заданными при помощи ПЭВМ маршрутами измерений и способны передавать результаты измерений в ПЭВМ для хранения в базе данных и дальнейшего анализа с помощью специализированного программного обеспечения. Программное обеспечение такого рода позволяет давать не только интегральную оценку состояния оборудования, но и выявлять причины изменений этого состояния на основе спектрального анализа, различных видов фильтрации и другой математической обработки, в том числе спектр, огибающая и т.д. [1, с.81]

Виброанализаторы - приборы, имеющие более широкие возможности, а именно: [1, с.82]

- более одного канала измерений;
- возможность загрузки специализированного программного обеспечения непосредственно в прибор;
- возможность редактирования маршрута измерений;
- возможность обработки данных;
- наличие встроенного аппарата спектрального анализа;
- возможность составления отчетов;
- возможность распечатки отчетов;
- возможность проведения балансировки роторов в собственных опорах.

Стационарные системы бывают также нескольких видов: системы виброзащиты, системы мониторинга, системы диагностики и анализа. Структурная схема технических средств по мобильности представлена на рисунке 6.

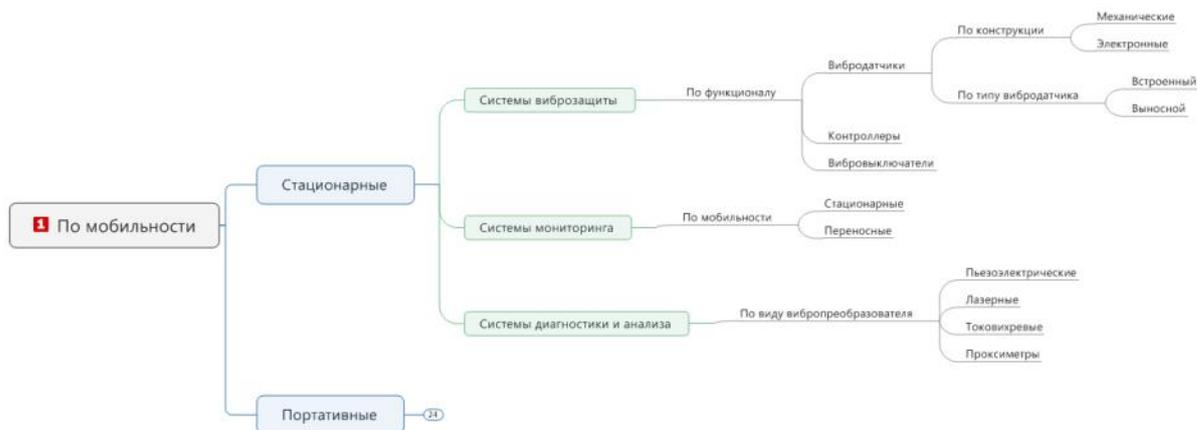


Рисунок 6 - Классификация технических средств вибродиагностики по мобильности

Системы виброзащиты выполняют функцию выдачи предупредительной сигнализации и аварийной остановки оборудования в случае превышения в какой-либо из точек измерения максимально допустимого уровня вибрации. [1, с.82]

Системы мониторинга, кроме функции виброзащиты, выполняют следующие функции: [1, с.82]

- протоколирование событий, связанных со срабатыванием сигнализаций;
- автоматический контроль тенденции изменения параметров;
- архивирование собранных данных и событий;
- отображение текущих значений параметров в типовом виде;
- создание специальных алгоритмов обработки данных.

Системы диагностики и анализа по сравнению с системами мониторинга, имеют более мощное аппаратное и программное обеспечение, позволяющее дополнительно проводить глубокий анализ собранных данных и на его основе делать выводы о состоянии оборудования и его остаточном ресурсе.

Аккуратное и последовательное применение вышеперечисленных методов позволяет в значительной степени окупить затраты на их введение. Однако эффективность выполнения программ технического обслуживания в

значительной степени зависит от квалификации персонала, выполняющего сбор и анализ данных. ГОСТ Р ИСО 18436-2-2015 «Контроль состояния и диагностика машин. Требования к квалификации и оценке персонала. Часть 2. Вибрационный контроль состояния и диагностика». Стандарт устанавливает четыре категории сертификации, при этом каждой категории соответствует свой уровень знаний, приведенный на рисунке 7.



Рисунок 7 - Классификация технических средств вибродиагностики по уровню квалификации обслуживающего персонала

За весь период службы подшипника какое-либо изменение его состояния в виде появления и развития дефектов можно разделить на 5 основных этапов. Этапы формирования и развития дефектов схематически показаны на рисунке 8. На этом рисунке по вертикали отложен уровень вибрации в размерности виброскорости (мм/сек), а по горизонтальной оси отложено относительное время эксплуатации подшипника.

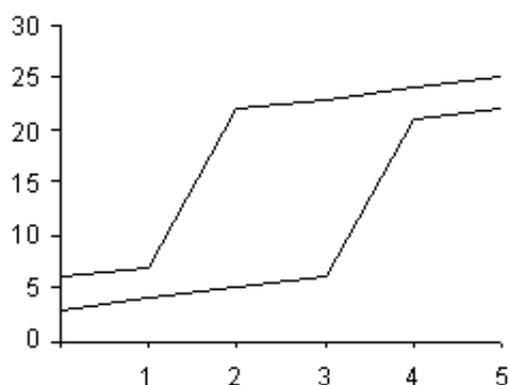


Рисунок 8 - Этапы развития дефектов подшипника качения

Обобщенное техническое состояние подшипника, на каждом этапе его эксплуатации, определяется зоной между двумя линиями вибрационных уровней. Нижняя линия соответствует значению фонового уровня вибрации, определенному в размерности СКЗ виброскорости, а верхняя линия соответствует усредненной амплитуде ударных импульсов, возникающих при работе подшипника качения.

Первый этап характеризует техническое состояние подшипника как идеальное, это зона до границы «1». Она характеризуется как зоной возникновения дефектов, а не их наличия. Сами дефекты не оказывают никакого влияния на общую вибрацию подшипника. Всё, что возникает «сверх» вибрации связано с естественным износом поверхностей качения. На этом этапе пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам «фоновый уровень» вибрации, в данном случае это СКЗ виброскорости, значительно меньше нормируемых значений.

Зона «1-2» на рисунке 8 . Данная зона характеризуется дефектами, которые сопровождаются ударными вибрационными импульсами, амплитуда которых растет по величине. Энергия, которая образуется во время «углубления» тел качения в поверхности подшипника, инициирует еще большее увеличение энергии импульсов. Уровень фона вибрации остаётся в рамках допустимого, из-за того, что дефект носит локальный характер и на общее состояние подшипника не сказывается.

Зона «2-3». В этой зоне ударные импульсы достигают практически максимального значения. Количественное значение максимума энергии импульсов определяется типом подшипника и условиями его эксплуатации. Энергия, которая образуется в подшипнике уже столь велика, что её хватает не только на «углубление», но и дальнейшее распространение по поверхностям подшипника. Тут процесс саморазвития дефекта начинает идти более быстро. Одновременно с этим и уровень фона тоже растет достаточно монотонно.

Зона «3-4». Это зона перехода дефекта подшипника от стадии «сильный дефект» к полной деградации. Зона развития дефекта здесь уже столь велика, что подшипник начинает «терять» свое основное назначение - обеспечивать вращение поддерживаемого вала с минимальным трением. Возрастают потери в подшипнике на вращение ротора и, как результат, увеличивается энергия, выделяющаяся в подшипнике, растет уровень фона. Это уже этап саморазрушения подшипника.

Зона «4-5». Это заключительный этап развития дефекта, когда работа подшипника практически невозможна. На данном этапе вибрационный сигнал состоит из одних пиков.

Все эти вышеперечисленные этапы ухудшения состояния подшипника свойственны практически всем видам дефектов, которые бывают во всех разновидностях подшипников. В зависимости от ряда конструктивных и эксплуатационных параметров подшипников могут наблюдаться различия в длительности описанных этапов, в интенсивности вибрационных процессов в них, но общая картина развития дефектов не меняется.

Методы диагностики дефектов (рисунок 9) подшипников качения различаются не только теоретически, но и типом используемого диагностического оборудования, его стоимостью, необходимой подготовкой персонала и конечно своей эффективностью. Практически всегда справедливо простое правило - чем на более ранней стадии, и чем более достоверно необходимо обнаруживать дефекты подшипников, тем дороже это стоит.

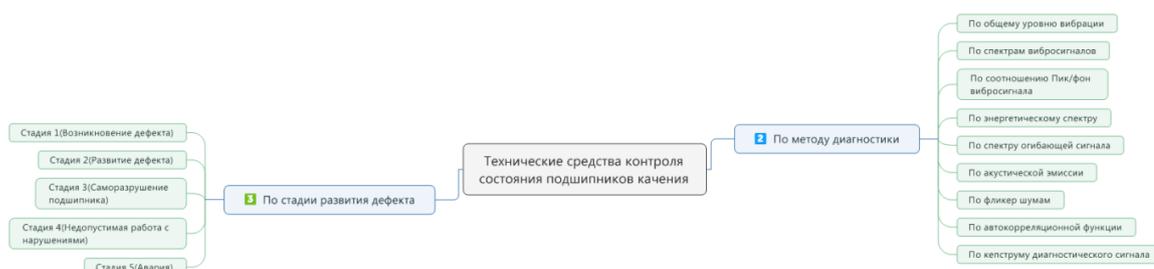


Рисунок 9 – Классификация технических средств контроля состояния подшипников качения по методу диагностики и стадии развития дефекта

При выборе базового прототипа необходимо провести сравнительный анализ существующих стендов для вибрационного контроля состояния подшипников качения. Для этого классифицируем стенды по странам и производителям, что представлено на рисунке 10.

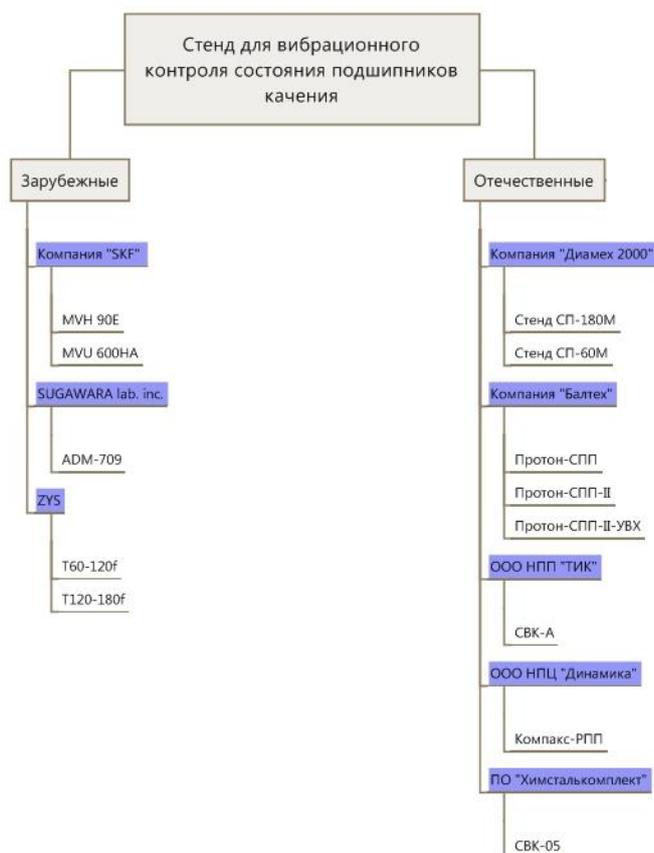


Рисунок 10 - Классификация стендов по странам и производителям

В мировой практике долгое время используются стенды для вибрационного контроля состояния подшипников качения. Некоторые из них пришли на рынок совсем недавно, но большая часть зарекомендовала себя как высокоточные и технологичные средства диагностики. Стоит заметить, что практическая цель стендов хоть и одинаковая, но конструктивно они разноплановые. Конкуренция не даёт остановиться разработчикам стендов в постоянном улучшении и модификация стендов. Улучшение экстерьера стенда, модификация технических механизмов и т.п. На рисунке 11 приведена классификация стендов для вибрационного контроля подшипников качения с учетом различных признаков.



Рисунок 11 - Классификация стендов по конструктивным признакам

Наиболее распространенным конструкторским решением для вибродиагностических стендов, согласно рисунку 11 является:

- По типу расположения – напольный;
- По типу ориентации оси вращения – горизонтальная;
- По типу исполнительных механизмов радиального и осевого нагружения – пневматические;
 - По типу основания – сварное;
 - По виду модуля управления – мультиблок.

Также к конструктивным решениям можно отнести механизм передачи вращательного движения от электродвигателя к внутренней обойме подшипника, будь то это муфта или ременная передача, расположение пневмоштока радиального нагружения, наличие кожуха-маслоотбойника и встроенный в основание инструментальный шкаф.

Стенды для вибрационного контроля состояния подшипников качения должны обеспечивать регламентируемые ГОСТ Р 52545.1 требования к конструктивному исполнению приводных установок для обеспечения

необходимой точности и правильности измерений. Выполним сравнительный анализ прототипов стенда и занесем данные в таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ прототипов стенда

Характеристика/ производитель	Диамех 2000 мод. СП- 180М	Балтех мод. Протон- СПП	НПП «ТИК» мод. СВК-А	НПЦ «Динамика» мод. Компакс- РПП	SKF мод. MVH 90E
Внутренний посадочный диаметр контролируемого подшипника, мм	25-220	7-70	35-150 20-180	40-120	5-45
Наружный диаметр контролируемых подшипников, мм	до 420	30-140	42-320	до 310	10-90
Ширина контролируемого подшипника, мм	до 145	до 55	7-106	до 110	до 28
Частотный диапазон датчика вибрации, Гц	5-10000	5-10000	5-5000	5-10000	0-10000
Диапазон рабочих частот при измерении виброускорения, Гц	20-10000	25-10000	20-10000	22-11200	20-10000
Диапазон нагрузок на диагностируемый подшипник: Радиальная нагрузка, Н Осевая нагрузка, Н	0-2800 0-2800	10-500 60-600	0-2000 0-2000	0-2000 0-2000	80-350 30-200
Усилие прижатия датчика вибрации, Н	5-100	5-120	до 90	-	-
Пневмосеть, кг/см ²	4-8	0-8	-	3-6	5,5-6
Диапазон частот вращения исследуемого подшипника, об/мин	900, 1800, 0-3000	900, 1800	900, 1800	30-3000	1800
Время проведения диагностики 1 подшипника, сек	10-120	6-60	до 90	до 120	До 60
Электродвигатель, кВт	1,5	1,5	1,6	1,5	0,75
Тип стенда/компоновочное решение ПУ	Напольный/цельное	Напольный / раздельное	Настольный/раздельное	Напольный/ раздельное	Напольный/цельное
Габариты стенда (ДхШхВ), мм	1300х690 х1450	1100х680х1 460	830х620х 560(привод) 300х450х 240(шкаф)	1820х670х16 40	1780- 780-816
Масса, кг	400	400	200	700	230

Проанализируем основные характеристики, выделим достоинства и недостатки изложенных в таблице 1 параметров.

1. Внутренний посадочный диаметр контролируемого подшипника:

Достоинства:

- Чем больше диапазон размеров, тем больше различных подшипников возможно проверить на стенде;
- Возможность использования большего количества различной оснастки.

Недостатки:

- Указан в пункте 2.

2. Наружный диаметр контролируемых подшипников:

Достоинства:

- Чем больше возможный наружный диаметр, тем больше различных подшипников возможно проверить на стенде;

Недостатки:

- При большом разбросе размеров контролируемого внутреннего диаметра, уменьшается точность вибродиагностики, так как диапазон чувствительности датчика становится больше;
- Увеличиваются габариты рабочей зоны, соответственно и всего стенда.

3. Ширина контролируемого подшипника:

Достоинства:

- Чем больше ширина подшипника, тем больше различных подшипников можно проверить на стенде.

Недостатки:

- Направление оси чувствительности датчика должно быть перпендикулярно оси вращения, тем самым, необходимо обеспечить осевое перемещения модуля радиального нагружения, куда встроен датчик, что экономически затратно.

4. Частотный диапазон датчика вибрации и частотный диапазон измерения виброускорения:

Достоинства:

- Чем шире диапазон, тем больше возможностей датчику уловить вибрации от дефектов, возникающих в подшипниках.

Недостатки:

- Увеличение стоимости оборудования, за счет большой стоимости датчиков, способных улавливать вибрации;
- Меньшая точность датчиков.

5. Диапазон нагрузок на диагностируемый подшипник, усилие прижатия датчика вибрации:

Достоинства:

- Увеличенный диапазон нагрузок даёт возможность использовать стенд в исследовательских целях.

Недостатки:

- Для проведения диагностики обычно используют усилие прижатие датчика вибрации в 25Н, соответственно расширенный диапазон становится не нужным.

6. Габариты стенда:

Достоинства:

- Меньшие габариты занимают меньше рабочего пространства;
- Визуально стенд, имеющий меньшие габариты выглядит аккуратнее.

Недостатки:

- Трудоёмкость компоновки стенда, тяжелее подобрать необходимое оборудование и правильно его расположив.

7. Масса стенда:

Достоинства:

- Чем больше масса станда, тем меньшие вибрации возникают в самой конструкции от работы электродвигателя и механизмов передачи вращательного движения от электродвигателя на подшипник;

- Устойчивость конструкции.

Недостатки:

- Большая масса = большие затраты на материал = увеличение стоимости;

- Тяжелее подобрать виброгасящие ножки.

Исходя из анализа основных характеристик, проектное техническое задание следующее:

- внутренний посадочный диаметр диагностируемых подшипников: 30...220 мм;

- наружный диаметр диагностируемого подшипника: 42...420 мм;

- ширина диагностируемого подшипника: не более 140 мм;

- максимальная масса диагностируемого подшипника: 65 кг;

- температура окружающей среды: +5...+40°C;

- габаритные размеры (Д×Ш×В): не более 1200×800×1600 мм.

- масса: не более 650 кг.

Наиболее подходящим прототипом разрабатываемого станда является станд СП-180М. Данный станд служит для контроля виброакустических характеристик подшипников качения при приложении заданной осевой и/или радиальной нагрузки и частоте вращения и предназначен для применения на предприятиях-изготовителях и предприятиях-потребителях подшипников.

Измерение вибрационных характеристик подшипников на станке производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52545.1-2006 (ИСО 15242-1:2004) «Подшипники качения. Методы измерения вибрации».

Предельно допускаемые значения вибрационных характеристик подшипников устанавливаются на основе обязательных норм вибрации подшипников, имеющих специальное обозначение Ш, а также на основе

рекомендуемых норм для подшипников, не имеющих этого условного обозначения и классов точности не ниже нормального.

Стенд позволяет производить контроль виброакустических характеристик следующих типов подшипников, (в том числе с одной и или двумя защитными шайбами и уплотнениями) и комплекты подшипников:

- Радиальный шарикоподшипник однорядный и двухрядный;
- Самоустанавливающийся шарикоподшипник;
- Радиально-упорный шарикоподшипник;
- Роликоподшипник с цилиндрическими роликами однорядный и двухрядный;
- Сферический роликоподшипник;
- Роликоподшипник с коническими роликами.

Принцип работы станка:

Станок моделирует работу подшипника, его механизмы подачи радиальной и осевой нагрузок прикладывают к подшипнику усилия, которые могут возникать в реальном механизме при вращении внутреннего кольца, и при этом датчик измеряет уровень вибрации (шумности) в децибелах, а виброизмерительный прибор «ЯШМА» сравнивает ее со значениями, регламентируемыми нормативными документами.

На основе этого сравнения и делается вывод о пригодности того или иного подшипника для использования его по назначению.

К наружному кольцу подшипника подводятся призма механизма подачи радиальной нагрузки и прижим механизма подачи осевой нагрузки.

В пневмоцилиндры механизмов подачи нагрузок подается сжатый воздух с давлением, создающим необходимое усилие на штоках цилиндров, после чего подшипник приходит во вращение.

Датчик, находящийся внутри призмы механизма подачи радиального усилия измеряет вибрацию подшипника, которая в виде электрического сигнала поступает в измерительный блок прибора «ЯШМА».

На основании их сравнения фактических параметров вибрации с

нормативными данными делается вывод о степени пригодности подшипника для использования его в тех или иных целях.

Для диагностирования различных типов подшипников в силу их конструкции требуются приложение либо комбинированной нагрузки (радиальной и осевой одновременно), либо только одного из этих видов нагрузки.

Устройство станка:

Специальный вибродиагностический стенд модели СП-180М, показанный на рисунке 12, состоит из следующих основных узлов:

- Основание;
- Шпиндельный узел;
- Ременный электропривод;
- Механизмы подачи радиальной и осевой нагрузки;
- Виброизмерительный прибор «ЯШМА»;
- Электрооборудование;
- Пневматическая система;
- Комплект приспособлений для установки диагностируемых подшипников.

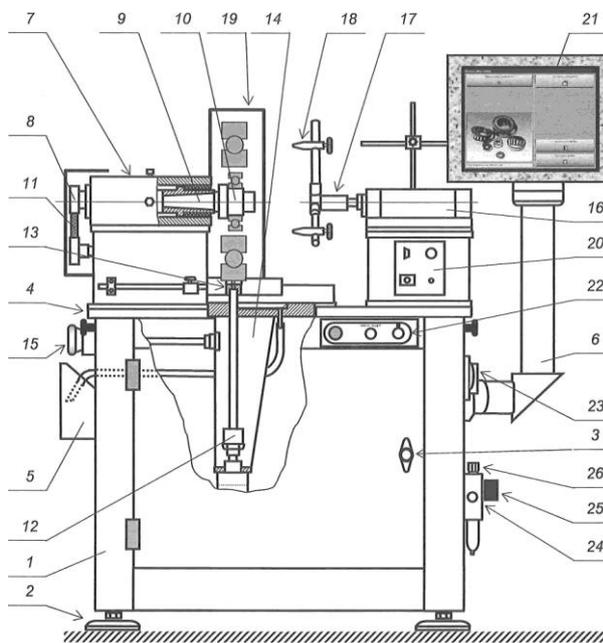


Рисунок 12 - Специальный вибродиагностический стенд СП-180М
(вид с рабочего места оператора)

где, 1-основание, 2- опоры, 3- запирающиеся замки, 4- столешница, 5- лоток, 6-консоль «ЯШМА», 7- корпус шпинделя, 8.11- ременный электропривод, 12- пневмоцилиндр, механизма подачи радиальной нагрузки, 13- призма, 14- каретка, 15- ходовой винт, 16- пневмоцилиндр, механизма подачи осевой нагрузки, 17- трехлучевой кронштейн, 18- бобышка, 19- кожух маслоотбойника, 20- панель разъемов, 21- системный блок, 22- панель, 23- розетка 220В, 24- фильтр регулятор, 25- манометр, 26- вентиль.

Необходимо определить достоинства и недостатки выбранного прототипа, результирующие факторы занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Анализ достоинств и недостатков

Прототип	Особенности	Достоинства	Недостатки
СП-180М	<ul style="list-style-type: none"> • Привод на ременной передаче; • ПУ встроена в стенд; • Кожух маслоотбойника задвижной; • Радиальная нагрузка располагается снизу, в неё же встроены вибродатчик; • Возможность опционально расширить номенклатуру контролируемых подшипников; • Встроенная база данных подшипников с возможностью пополнения; • Автоматическое определение вида дефекта подшипника (встроенный экспертный модуль). • Расширенный диапазон частот вращения 0 - 3000 об/мин. 	<ul style="list-style-type: none"> • Мобильность; • Система управления не занимает много пространства из-за своего расположения; • Кожух маслоотбойник имеет округлую форму и сочетается с назначением работы стенда; • Ременная передача производит меньше вибраций, которые негативно сказываются на точности измерений; 	<ul style="list-style-type: none"> • Станина оснащена с боковых сторон одной дверцей; • Экран системы управления статичен, не имеет функции поворота и регулирования положения экрана; • Неудобное хранение и вытекание масла, так же емкость для масла не имеет крышки.

При рассмотрении достоинств и недостатков, можно сделать вывод что:

1. Электродвигатель передаёт вращение на внутреннюю обойму подшипника через ременную передачу, что положительно сказывается на

уменьшение общей вибрации, за счет безударной работы и плавного хода.

2. ПУ встроена в стенд, тем самым уменьшая общие габариты стенда. Стоит отметить, что варианты расположения ПУ на стенде могут быть различны, например: расположение неподвижной конструкции сбоку (как в СП-180М), либо ПУ интегрирована в основание стенда и расположена над рабочей областью, также возможен вариант расположения ПУ в подвижном кожухе-маслоотбойнике.

3. Недостатком будет являться дизайн и эргономика. Устройство стенда не имеет цельного внешнего вида, присутствует рубленая архитектура;

1.2 Конструкторская часть

1.2.1 Описание принципиальной схемы стенда

Согласно рисунку 13, стенд состоит из шести основных частей: основание 1, модуль вращения внутреннего кольца подшипника 2 (МВВКП), модуль радиального нагружения подшипника 3 (МРНП), модуль осевого нагружения подшипника 4 (МОНП), модуль измерительный 5 (МИ), модуль управления 6 (МУ).

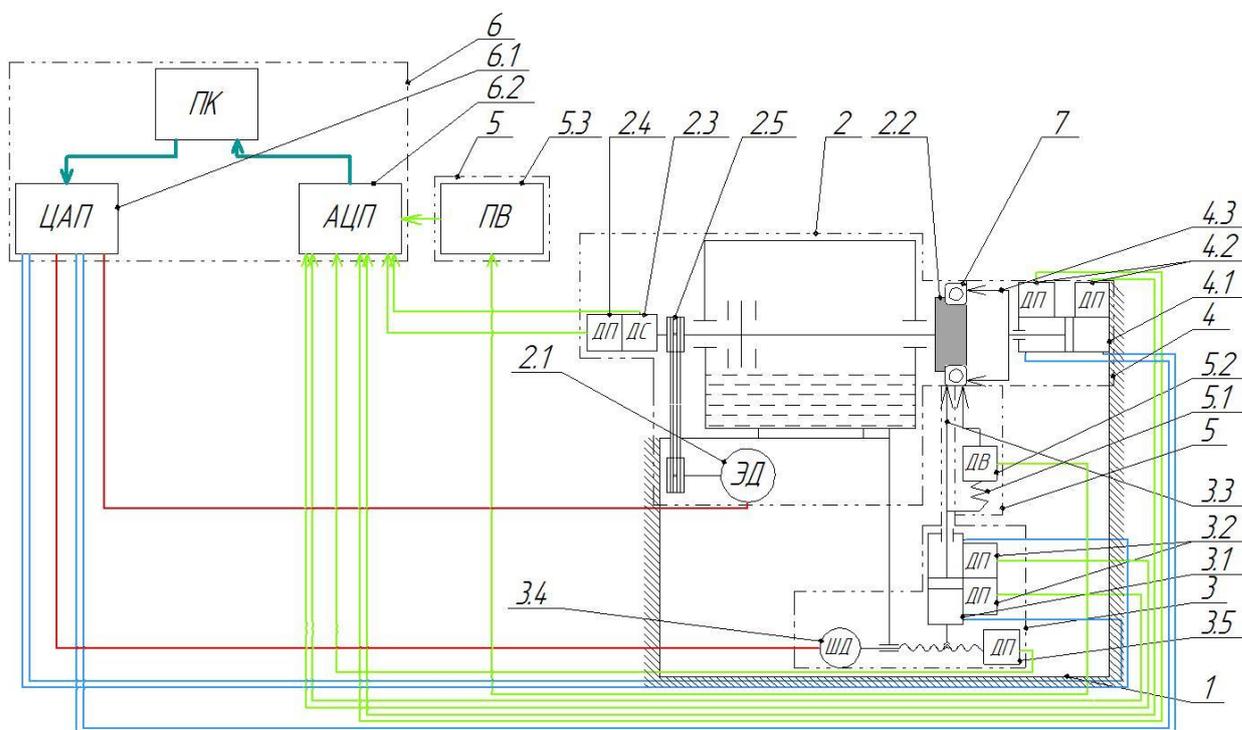


Рисунок 13 – СВКСПК

МВВКП 2 состоит из электродвигателя 2.1, приводящего в движение через ременную передачу 2.5 и оправку 2.2 внутренне кольцо подшипника 7. Частота вращения контролируется датчиком скорости 2.3. Положение контролируется датчиком положения 2.4.

МРНП 3 и МОНП 4 состоят из пневмоцилиндров 3.1 и 4.1, оказывающее радиальное/осевое воздействие через переходник 3.3 и 4.3 (призму/упор) на наружное кольцо подшипника 7. Положение пневмоцилиндров контролируется датчиками положения 3.2 и 4.2. Взаимное положение МРНП 3 и наружного кольца подшипника 7 настраивается шаговым двигателем 3.4 с датчиком положения 3.5.

МИ 5 состоит из пружины 5.1, закрепленной на штоке пневмоцилиндра 3.1, которая прижимает к наружному кольцу подшипника 7 датчик вибрации 5.2. Вибрационный сигнал обрабатывается прибором виброизмерительным 5.3.

Модуль управления 6 состоит из персонального компьютера 6.1 (ПК), который с помощью сигналов связывается с цифро-аналоговым преобразователем 6.2 (ЦАП) и аналого-цифровым преобразователем 6.3 (АЦП).

Установка работает следующим образом:

Модуль радиального нагружения подшипника 3 располагается внутри станины и представляет собой пневмоцилиндр 3.1, шток которого толкает штангу, вверху которой расположена призма 3.3, которая в процессе диагностирования упирается в наружное кольцо подшипника 7. Перед проведением измерения, благодаря шаговому двигателю 3.4 и винтовой передаче, производится автоматическая настройка взаимного положения подшипника 7 и датчика вибрации 5.2, исходя из введенных параметров испытуемого подшипника 7.

Внутри призмы 3.3 расположен датчик вибрации 5.2, крепление которого выполнено таким образом, чтобы на него независимо от величины испытательной нагрузки постоянно действовало усилие, не превышающее 25 Н, что необходимо для обеспечения точности измерения вибрации.

Модуль осевого нагружения подшипника 4 приводится в действие пневмоцилиндром 4.1, который в свою очередь толкает кронштейн 4.3, прижимаясь при этом с определенным усилием к подшипнику 7, который находится на оправке 2.2.

Конструкция модуля вращения внутреннего кольца подшипников 2 выполнена таким образом, чтобы он кроме передачи вращательного движения, представлял собой жёсткую базовую систему для оси внутреннего кольца испытуемого подшипника, что согласуется с требованиями ГОСТ Р 52545.1-2006. Это достигается за счёт применения в качестве опор шпинделя

двух подшипников скольжения. Шпинделю сообщается вращение от электродвигателя 2.1 через ременную передачу 2.5.

Щуп акселерометра 5.2 опирается на пружину и закреплен гайкой. Внешний край пружины прикреплен к корпусу датчикодержателя. Акселерометр при помощи шпильки жестко соединен с щупом. При подъеме призмы модуля осевого нагружения подшипника 3 щуп прижимается к поверхности наружного кольца подшипника 7.

Основными достоинствами приведенной принципиальной схемы являются:

- автоматическая настройка взаимного положения диагностируемого подшипника и датчика вибрации;
- упрощение конструкции за счет применения пружины вместо мембранного пневмоцилиндра для прижима датчика вибрации.
- соответствие методике проверки подшипников.

Наряду с достоинствами данной схемы присутствуют следующие недостатки:

- сниженная жесткость базовой системы для оси внутреннего кольца испытуемого подшипника;
- увеличенный осевой размер У установки (осевой размер – размер вдоль оси диагностируемого подшипника, места его установки);
- усложнение установки диагностируемого подшипника.

1.2.2 Расчет мощности электродвигателя

Расчет мощности электродвигателя необходимо проводить с целью выявления соответствия подобранного электродвигателя требуемым выходным данным установки. Исходные данные к выбору электродвигателя показаны в таблице 3:

Таблица 3 – Исходные данные к выбору электродвигателя

Обозначение	Определение	Значение	Размерность
k	Кратность пускового момента для стандартных двигателей	2,8..3,6	-
$f_{тп}$	Коэффициент трения покоя сталь-сталь со смазкой	0,05...0,1	-
F_{max}	Усилие, действующее на диагностируемый подшипник	3000	Н
D_{max}	Диаметр поверхности наружного кольца, по которому катятся тела качения диагностируемого подшипника	380	мм
$n_{вых}$	Скорость вращения внутреннего кольца диагностируемого подшипника	3000	об/мин
$\eta_{пс}$	КПД подшипников скольжения	0,95....0,96	-
$\eta_{рп}$	КПД ременной передачи	0,96....0,98	-
$u_{рп}$	Передаточное отношение ременной передачи	1,4	-

Определим угловую скорость вращения внутреннего кольца диагностируемого подшипника ω : [2]

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (1.1)$$

где n – скорость вращения внутреннего кольца диагностируемого подшипника, об/мин

$$\omega_{вых} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ рад/с}$$

Определим номинальную скорость вращения вала электродвигателя

$n_{ном}$:

$$n_{ном} = n_{вых} \cdot u_{рп} \quad (1.2)$$

где $u_{рп}$ – передаточное отношение ременной передачи.

$$n_{ном} = 3000 \cdot 1,4 = 4200 \text{ об/мин}$$

Определим угловую скорость вращения вала электродвигателя $\omega_{\text{ном}}$ по формуле (1.1):

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 4200}{60} = 440 \text{ рад/с}$$

Примем наименьшую кратность пускового момента:

$$\frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{ном}}} = 2,8$$

Тогда

$$T_{\text{ном}} = \frac{T_{\text{пуск}}}{2,8} \quad (1.3)$$

Примем коэффициент трения $f_{\text{трени}}$ по минимальному значению коэффициента трения покоя $f_{\text{тп}}$ из приведенного значения в таблице 1:

$$f_{\text{трени}} = 0,05$$

Примем КПД:

$$\eta_{\text{пс}} = 0,95;$$

$$\eta_{\text{рп}} = 0,96.$$

Определим силу трения $F_{\text{трени}}$ в диагностируемом подшипнике по формуле:

$$F_{\text{трени}} = F_{\text{max}} \cdot f_{\text{трени}} \quad (1.4)$$

где F_{max} – усилие, действующее на диагностируемый подшипник, Н;

$f_{\text{трени}}$ – коэффициент трения качения сталь – сталь

$$F_{\text{трени}} = 3000 \cdot 0,05 = 150 \text{ Н}$$

Определим момент силы трения $T_{\text{трени}}$ по формуле:

$$T_{\text{трени}} = F_{\text{трени}} \cdot \frac{D_{\text{max}}}{2} \quad (1.5)$$

где $F_{\text{трени}}$ – сила трения на диагностируемом подшипнике, Н;

D_{max} – диаметр поверхности наружного кольца, по которому катятся тела качения.

$$T_{\text{трени}} = 150 \cdot \frac{380}{2} = 28500 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 28,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим момент трения на входном валу:

$$T_{\text{тр.вх.}} = \frac{T_{\text{тр.}}}{u_{\text{р.п.}}} \quad (1.7)$$
$$T_{\text{тр.вх.}} = \frac{28,5}{1,4} = 20,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим пусковой момент двигателя $T_{\text{пуск}}$ по формуле:

$$T_{\text{пуск}} = \frac{T_{\text{тр.}}}{\eta_{\text{пс}} \cdot \eta_{\text{рп}}} \quad (1.8)$$

где $\eta_{\text{пс}}$ – КПД подшипников качения;

$\eta_{\text{рп}}$ – КПД ременной передачи.

$$T_{\text{пуск}} = \frac{20,36}{0,95 \cdot 0,96} = 22,32 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим номинальный момент двигателя $T_{\text{ном}}$ по формуле (1.3)

$$T_{\text{ном}} = \frac{22,32}{2,8} = 7,97 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим мощность электродвигателя $P_{\text{расч}}$: [2, с.9]

$$P_{\text{расч}} = \frac{\omega \cdot T_{\text{ном}}}{1000} \quad (1.9)$$
$$P_{\text{расч}} = \frac{314 \cdot 7,97}{1000} = 2,5 \text{ кВт}$$

Принимаем мощность электродвигателя ближайшую по стандартному ряду мощностей:

$$P_{\text{ном}} = 3 \text{ кВт}$$

Принимая во внимания тот факт, что по техническому заданию есть ограничения на габариты и массу Установки, более выгодным как экономически так и технически будет использование электродвигателя в совокупности с частотным преобразователем Веспер Е4-8400, который позволит без потери момента увеличить частоту оборотов вала электродвигателя.

Тогда мощность, образуемая на выходном валу будет равна:

$$P_{\text{вых}} = \frac{\omega_{\text{вых}} \cdot T_{\text{вых}}}{1000} \quad (1.10)$$

где $T_{\text{вых}}$ – постоянный момент на выходном валу;

$$T_{\text{вых}} = T_{\text{ном}} \cdot u_{\text{р.п.}} \quad (1.11)$$

$$T_{\text{вых}} = 7,97 \cdot 1,4 = 11,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда, согласно формуле (1.10):

$$P_{\text{вых}} = \frac{314 \cdot 11,16}{1000} = 3,5 \text{ кВт}$$

1.2.3 Расчет плоскоременной передачи

Для определения силы давления ремня на вал $F_{\text{оп}}$ необходимо провести расчет плоскоременной передачи.

Плоскоременная передача выбрана по той причине, что она способствует гашению вибрации от электродвигателя, дабы избежать неточность измерения вибраций у испытуемых подшипников. Входные данные для расчета плоскоременной передачи приведены в таблице 4. Размеры ведущего и ведомого шкива выбраны с аналога стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения СП-180М.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета плоскоременной передачи

Обозначение	Определение	Значение	Размерность
d_1	Диаметр ведущего шкива ременной передачи	74	мм
d_2	Диаметр ведомого шкива ременной передачи	104	мм
b	Ширина ремня	26	мм
B	Ширина шкива	34	мм
n_1	Частота вращения вала электродвигателя	4200	об/мин

1. Определим толщину ремня δ , мм по формуле:

$$\delta = \frac{d_1}{(35 \dots 70)} \quad (1.12)$$

где d_1 - диаметр ведущего шкива ременной передачи, мм;

$$\delta = \frac{74}{35} = 2,1 \text{ мм}$$

2. Определим ориентировочное межосевое расстояние a , мм:[3, с.81]

$$a \geq 1,5 \cdot (d_1 + d_2) \quad (1.13)$$

где d_2 - диаметр ведомого шкива ременной передачи, мм;

$$a \geq 1,5 \cdot (74 + 104) = 267 \text{ мм}$$

3. Определим расчетную длину ремня l , мм:[3, с.81]

$$l = 2a + \frac{\pi}{2} \cdot (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4a} \quad (1.14)$$

$$l = 2 \cdot 267 + \frac{3,14}{2} \cdot (104 + 74) + \frac{(104 + 74)^2}{4 \cdot 267} = 814,3 \text{ мм}$$

Полученное значение l , мм, принимаем по стандарту из ряда чисел, тогда:

$$l = 850 \text{ мм}$$

4. Уточнить значение межосевого расстояния a по стандартной длине l :[3, с.81]

$$a = \frac{1}{8} (2 \cdot l - \pi \cdot (d_2 + d_1) + \sqrt{((2 \cdot l - \pi \cdot (d_2 + d_1))^2 - 8 \cdot (d_2 - d_1)^2)} \quad (1.15)$$

$$a = \frac{1}{8} (2 \cdot 850 - 3,14 \cdot (104 + 74)$$

$$+ \sqrt{((2 \cdot 850 - 3,14 \cdot (104 + 74))^2 - 8 \cdot (104 - 74)^2)} = 285 \text{ мм}$$

5. Определим угол обхвата ремнем ведущего шкива α_1 , град:[3, с.81]

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{d_2 - d_1}{a} \quad (1.16)$$

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \frac{104 - 74}{285} = 174^\circ$$

Угол α_1 должен быть $\geq 150^\circ$

6. Определить скорость ремня v , м/с:[3, с.81]

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3} \leq [v] \quad (1.17)$$

где n_1 – частота вращения вала электродвигателя, об/мин;

$[v]$ – допускаемая скорость, $[v] = 35$ м/с

$$v = \frac{3,14 \cdot 74 \cdot 4200}{60 \cdot 10^3} = 16,26 \text{ м/с}$$

Условие выполнено.

7. Определим частоту пробегов ремня U, c^{-1} : [3, с.81]

$$U = \frac{l}{v} \leq [U] \quad (1.18)$$

где $[U]$ – допускаемая частота пробегов = $15 c^{-1}$;

l – стандартная длина ремня, м

$$U = \frac{0,85}{16,26} = 0,05 c^{-1}$$

Условие выполнено.

8. Определим окружную силу $F_t, Н$, передаваемую ремнём: [3, с.83]

$$F_t = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{v} \quad (1.19)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

$$F_t = \frac{3 \cdot 10^3}{16,26} = 184,5 Н$$

9. Определим допускаемую удельную окружную силу $[k_{п}], \frac{Н}{мм^2}$: [3, с.83]

$$[k_{п}] = [k_0] \cdot C_{\theta} \cdot C_{\alpha} \cdot C_v \cdot C_p \cdot C_d \cdot C_F \quad (1.20)$$

где $[k_0]$ – допускаемая приведенная удельная окружная сила, $\frac{Н}{мм^2}$;

C_{θ} – коэффициент угла наклона линии центров шкивов к горизонте, при угле наклона в 90° , $C_{\theta} = 0,8$; [3, с.83, таб.5.2]

C_{α} – коэффициент угла обхвата α_1 на меньшем шкиве, при угле обхвата $\alpha_1 = 174^{\circ}$, $C_{\alpha} = 0,97$; [3, с.83, таб.5.2]

C_v – коэффициент влияния натяжения от центробежной силы, при $v = 16,26$ м/с, $C_v = 0,93$; [3, с.83, таб.5.2]

C_p – коэффициент динамической нагрузки и длительности работы, при спокойной нагрузке, $C_p = 1$; [3, с.83, таб.5.2]

C_d – коэффициент влияния диаметра меньшего шкива, при $d_1 = 74$ мм, $C_d = 1$; [3, с.83, таб.5.2]

C_F – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между кордшнурами и уточными нитями плоского ремня, принимается $C_F = 0,85$;

$$[k_{\text{п}}] = 5,51 \cdot 0,8 \cdot 0,97 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 = 3,38 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

10. Определим ширину ремня b , мм:[3, с.83]

$$b = \frac{F_t}{\delta \cdot [k_{\text{п}}]} \quad (1.21)$$

$$b = \frac{184,5}{2,1 \cdot 3,38} = 26 \text{ мм}$$

11. Определим площадь поперечного сечения ремня A , мм²:[3, с.84]

$$A = \delta \cdot b \quad (1.22)$$

$$A = 2,1 \cdot 26 = 54,6 \text{ мм}^2$$

12. Определим силу предварительного натяжения ремня F_0 , Н:[3, с.84]

$$F_0 = A \cdot \sigma_0 \quad (1.23)$$

где σ_0 – предварительное напряжение, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$:[3, с.80, таб.5.1]

$$F_0 = 54,6 \cdot 2 = 109,2 \text{ Н}$$

13. Определим силы натяжения ведущей F_1 и ведомой F_2 ветвей ремня, Н:[3, с.84]

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2}; \quad F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2}; \quad (1.24)$$

$$F_1 = 109,2 + \frac{184,5}{2} = 202 \text{ Н}; \quad F_2 = 109,2 - \frac{184,5}{2} = 17 \text{ Н};$$

14. Определим силу давления ремня на вал $F_{\text{оп}}$, Н:[3, с.84]

$$F_{\text{оп}} = 2 \cdot F_0 \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \quad (1.25)$$

$$F_{\text{оп}} = 2 \cdot 109,2 \cdot \sin\left(\frac{174^\circ}{2}\right) = 218 \text{ Н}$$

Проверка:

15. Проверить прочность ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви σ_{max} , $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$:[3, с.84]

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_1 + \sigma_{\text{и}} + \sigma_{\text{v}} \leq [\sigma]_p; \quad (1.26)$$

где а) σ_1 – напряжение растяжения, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ для плоского и поликлинового ремня рассчитывается по формуле:[3, с.84]

$$\sigma_1 = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2 \cdot A} \quad (1.27)$$

$$\sigma_1 = \frac{109,2}{54,6} + \frac{184,5}{2 \cdot 54,6} = 3,68 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

б) $\sigma_{\text{И}}$ – напряжение изгиба, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ для плоского ремня рассчитывается по формуле: [3, с.84]

$$\sigma_{\text{И}} = E_{\text{И}} \cdot \frac{\delta}{d_1} \quad (1.28)$$

где $E_{\text{И}}$ – модуль продольной упругости при изгибе для прорезиненных ремней, $E_{\text{И}} = 80 \dots 100 \text{ мм}^2$

$$\sigma_{\text{И}} = 80 \cdot \frac{2,1}{74} = 2,27 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

в) σ_v – напряжение от центробежных сил, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, рассчитывается по формуле: [3, с.85]

$$\sigma_v = p \cdot v^2 \cdot 10^{-6} \quad (1.29)$$

где p – плотность материала ремня, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $p = 1000 \dots 1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$$\sigma_v = 1000 \cdot 16,26^2 \cdot 10^{-6} = 0,26 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

г) $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение растяжения, $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$, $[\sigma]_p = 8 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

$$\sigma_{\text{max}} = 3,68 + 2,27 + 0,26 = 6,21 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Проверка пройдена.

1.2.4 Прочностной расчет вала шпинделя

Проверочный расчет валов на прочность выполняют на совместное действие изгиба и кручения. Такой случай называют сложным сопротивлением. Вал скручивается и одновременно изгибается собственным весом, весом подшипника, натяжением ремня. В сечениях возникают нормальные напряжения σ от изгибающего момента и касательные напряжения τ от крутящего момента. Наибольшие значения σ и τ достигаются на поверхности вала. В этих точках достигается плоское напряженное состояние.

В первую очередь необходимо построить силовую схему нагружения вала. Она необходима для определения направления сил, который действуют на вал, реакций в подшипниках, а также направление вращающих моментов и угловых скоростей валов. Рассчитав реакции в опорах и изгибающие моменты в наиболее нагруженных участках, далее возможно проанализировать с помощью САЕ систем величину эквивалентных перемещений и коэффициент запаса прочности вала. Схема нагружения вала показана на рисунке 14.

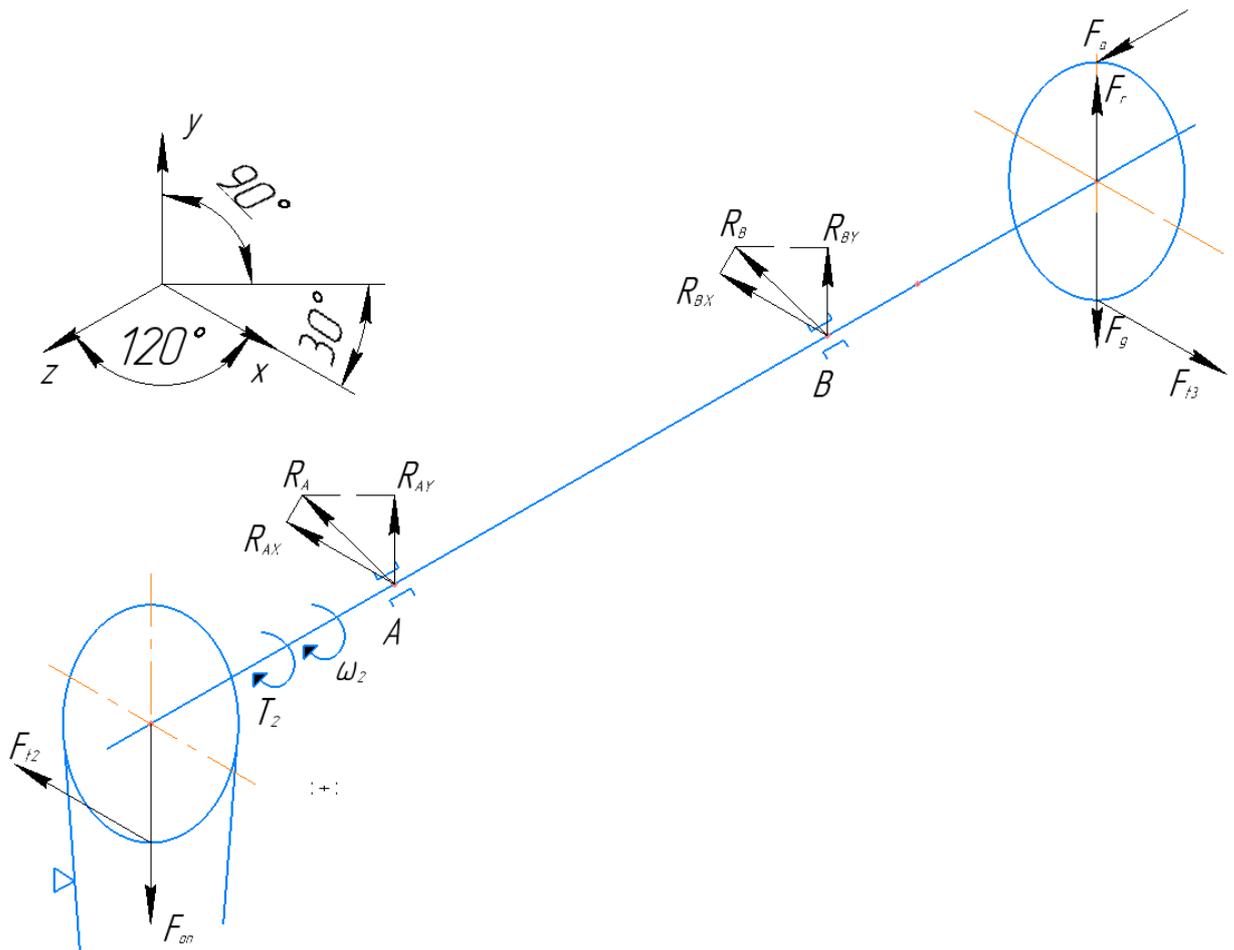


Рисунок 14 – Силовая схема нагружения вала шпинделя

Исходными данные для прочностного расчета вала представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для прочностного расчета вала

Обозначение	Определение	Значение	Размерность
$F_{оп}$	Сила давления ремня на вал	218	Н
T_2	Крутящий момент на валу	11,16	Н · м
ω_2	Угловая скорость на валу	314	Рад/с
F_g	Сила, действующая от веса подшипника с оправкой	735,4	Н
F_r	Сила, действующая от механизма радиального нагружения, по ТЗ	3000	Н
F_a	Сила, действующая от механизма осевого нагружения, по ТЗ	3000	Н
F_{t2}	Окружная сила на шкиве	184,5	Н
l_1	Расстояние от центра шкива до опоры А	81	мм
l_2	Расстояние от опоры А до опоры В	238	мм
l_3	Расстояние от опоры В до диагностируемого подшипника	137,5	мм
D	Диаметр наружного кольца диагностируемого подшипника	420	мм

Определим реакции опор в вертикальной и горизонтальной плоскости, для этого построим схему нагружения, которая показана на рисунке 15.

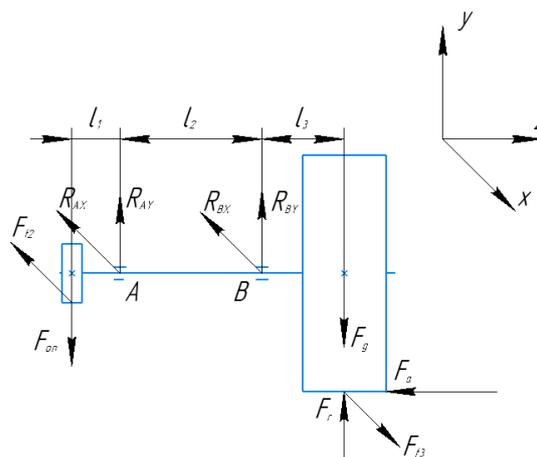


Рисунок 15 - Схема нагружения вала

Определение реакций в вертикальной плоскости

Определим реакцию в опоре В:

$$\sum M_A = F_{оп} \cdot l_1 + R_{ВY} \cdot l_2 - F_g \cdot (l_2 + l_3) + F_r \cdot (l_2 + l_3) - F_a \cdot \frac{D}{2} \quad (1.30)$$

отсюда

$$R_{ВY} = \frac{-F_{оп} \cdot l_1 + F_g \cdot (l_2 + l_3) - F_r \cdot (l_2 + l_3) + F_a \cdot \frac{D}{2}}{l_2}$$

$$(1.31)$$

$$R_{ВY} = \frac{-218 \cdot 81 + 735,4 \cdot (238 + 137,5) - 3000 \cdot (238 + 137,5) + 3000 \cdot 210}{238} = -1000 \text{ Н}$$

Определим реакцию в опоре А:

$$\sum M_B = F_{оп} \cdot (l_1 + l_2) - R_{AY} \cdot l_2 - F_g \cdot (l_3) + F_r \cdot (l_3) - F_a \cdot \frac{D}{2} \quad (1.32)$$

$$R_{AY} = \frac{F_{оп} \cdot (l_1 + l_2) - F_g \cdot (l_3) + F_r \cdot (l_3) - F_a \cdot \frac{D}{2}}{l_2} \quad (1.33)$$

$$R_{AY} = \frac{218 \cdot (81 + 238) - 735,4 \cdot 137,5 + 3000 \cdot 137,5 - 3000 \cdot 210}{238} = -1046 \text{ Н}$$

Проверка:

$$\sum F_Y = -F_{оп} + R_{AY} + R_{ВY} - F_g + F_r \quad (1.34)$$

$$\sum F_Y = -218 - 1000 - 1046 - 735,4 + 3000 = 0$$

Строим эпюры изгибающих моментов (рисунок 16);

Выделим силовые участки: КА; АВ; ВJ;

Участок КА ($0 \leq y_1 \leq l_1$);

$$M_{y1} = F_{оп} \cdot y_1 \quad (1.35)$$

$$M_{y1=0} = -218 \cdot 0 = 0$$

$$M_{y1=l_1} = -218 \cdot 0,081 = -17,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок АВ ($0 \leq y_2 \leq l_2$);

$$M_{y2} = R_{AY} \cdot y_2 - F_{оп} \cdot (l_1 + y_2) \quad (1.36)$$

$$M_{y2=0} = R_{AY} \cdot 0 - F_{оп} \cdot (l_1 + 0) = -1046 \cdot 0 - 218 \cdot 0,081 = -17,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\begin{aligned} M_{y2=l_2} &= R_{AY} \cdot l_2 - F_{оп} \cdot (l_1 + l_2) = -1046 \cdot 0,238 - 218 \cdot (0,081 + 0,238) \\ &= -318,49 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Участок ВJ ($0 \leq y_3 \leq l_3$);

$$M_{y_3} = R_{AY} \cdot (l_2 + y_3) - F_{0П} \cdot (l_1 + l_2 + y_3) + R_{BY} \cdot y_3 \quad (1.37)$$

$$\begin{aligned} M_{y_3=0} &= R_{AY} \cdot (l_2 + 0) - F_{0П} \cdot (l_1 + l_2 + 0) + R_{BY} \cdot 0 \\ &= -1046 \cdot 0,238 - 218 \cdot (0,081 + 0,238) = -318,49 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y_3=l_3} &= R_{AY} \cdot (l_2 + l_3) - F_{0П} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + R_{BY} \cdot l_3 + F_a \cdot \frac{D}{2} \\ &= -1046 \cdot (0,238 + 0,1375) - 218 \cdot (0,081 + 0,238 + 0,1375) \\ &\quad - 1000 \cdot 0,1375 + 3000 \cdot 0,21 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Определение реакции в горизонтальной плоскости

Определим окружную скорость на диагностируемом подшипнике:

$$F_{t3} = \frac{2T_2}{D_n} \quad (1.38)$$

$$F_{t3} = \frac{2 \cdot 11,16 \cdot 10^3}{420} = 53 \text{ Н}$$

Определим реакцию в опоре В:

$$\sum M_A = -F_{t_2} \cdot l_1 + R_{BX} \cdot l_2 - F_{t_3} \cdot (l_2 + l_3) \quad (1.39)$$

$$R_{BX} = \frac{F_{t_2} \cdot l_1 + F_{t_3} \cdot (l_2 + l_3)}{l_2} \quad (1.40)$$

$$R_{BX} = \frac{184,5 \cdot 81 + 53 \cdot (238 + 137,5)}{238} = 146,4 \text{ Н}$$

Определим реакцию в опоре А:

$$\sum M_B = -F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2) - R_{AX} \cdot l_2 - F_{t_3} \cdot l_3 \quad (1.41)$$

$$\begin{aligned} R_{AX} &= \frac{-F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2) - F_{t_3} \cdot l_3}{l_2} \quad (1.42) \\ &= \frac{-184,5 \cdot (81 + 238) - 53 \cdot 137,5}{238} = -278 \text{ Н} \end{aligned}$$

Проверка:

$$\sum F_X = F_{t_2} + R_{AX} + R_{BX} - F_{t_3} \quad (1.43)$$

$$\sum F_X = 184,5 - 278 + 146,4 - 53 = 0$$

Построение эпюры изгибающих моментов (рисунок 16);

Выделим силовые участки: КА; АВ; ВJ;

Участок КА ($0 \leq x_1 \leq l_1$);

$$M_{x1} = F_{t_2} \cdot x_1 \quad (1.44)$$

$$M_{x1=0} = F_{t_2} \cdot 0 = 0$$

$$M_{x1=l_1} = F_{t_2} \cdot l_1 = 184,5 \cdot 0,081 = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Участок АВ ($0 \leq x_2 \leq l_2$);

$$M_{x_2} = R_{AX} \cdot x_2 + F_{t_2} \cdot (l_1 + x_2) \quad (1.45)$$

$$M_{x_2=0} = R_{AX} \cdot 0 + F_{t_2} \cdot (l_1 + 0) = 184,5 \cdot 0,081 = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\begin{aligned} M_{x_2=l_2} &= R_{AX} \cdot l_2 + F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2) = -278 \cdot 0,238 + 184,5 \cdot (0,081 + 0,238) \\ &= -7,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Участок ВJ ($0 \leq x_3 \leq l_3$);

$$M_{x_3} = R_{AX} \cdot (l_2 + x_3) + F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2 + x_3) + R_{BX} \cdot x_3 \quad (1.46)$$

$$\begin{aligned} M_{x_3=0} &= R_{AX} \cdot (l_2 + 0) + F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2 + 0) + R_{BX} \cdot 0 \\ &= -278 \cdot 0,238 + 184,5 \cdot (0,081 + 0,238) = -7,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x_3=l_3} &= R_{AX} \cdot (l_2 + l_3) + F_{t_2} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + R_{BX} \cdot l_3 \\ &= -278 \cdot (0,238 + 0,1375) + 184,5 \cdot (0,081 + 0,238 + 0,1375) \\ &\quad + 146,4 \cdot 0,1375 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Определим суммарные изгибающие моменты в наиболее нагруженных сечениях, Н · м

$$M_{\text{И}} = \sqrt{M_y^2 + M_x^2} \quad (1.47)$$

$$M_{\text{И}} = \sqrt{(-17,66)^2 + 14,9^2} = 23,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{И}} = \sqrt{(-318,49)^2 + (-7,3)^2} = 318,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

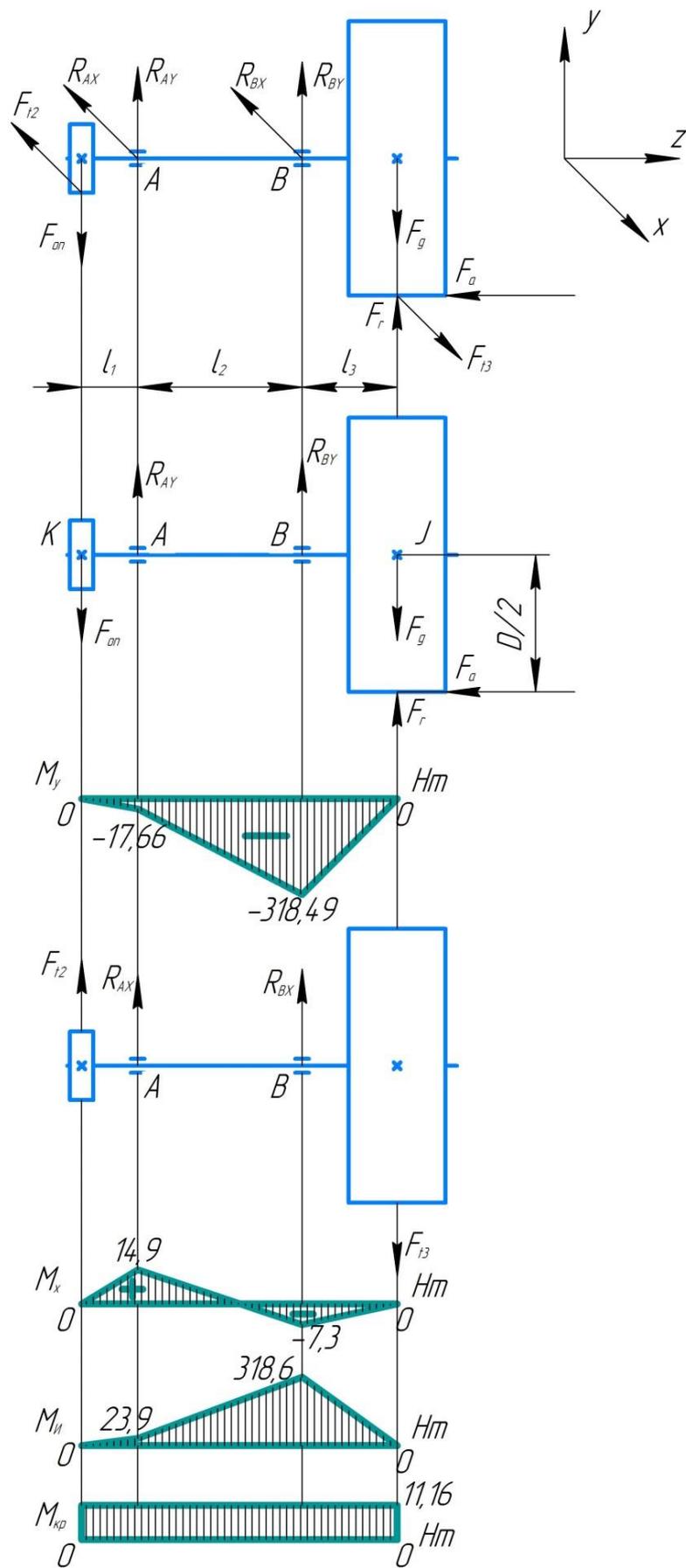


Рисунок 16 - Изгибающие моменты на валу шпинделя

Проверочный расчет вала на прочность выполняют на совместное действие изгиба и кручения. При расчете учитываются разновидности цикла напряжений изгиба и кручения, усталостные характеристики материала, размеры, формы и состояние поверхностей вала.

Проверочный расчет проводится после завершения конструктивной компоновки шпинделя и установления окончательного размера вала. При этом определяются коэффициенты запаса прочности в опасных сечениях вала, и проводится сравнение их с допускаемыми значениями:

$$s \geq [s]$$

При высокой достоверности расчета $[s] = 1,3 \dots 1,5$; при менее точной расчетной схеме $[s] = 1,6 \dots 2,1$. [4, с.311]

Материал вала тот же, что и для ступицы колеса т.е. сталь 40Х, среднее значение $\sigma_B = 900$ МПа.

Предел выносливости при симметричном цикле изгиба:

$$\sigma_{-1} = 0,35\sigma_B + (70 \dots 120) \text{ МПа} \quad (1.48)$$

$$\sigma_{-1} = 0,35 \cdot 900 + 70 = 385 \text{ МПа}$$

Предел выносливости при симметричном цикле касательных напряжений:

$$\tau_{-1} = 0,58\sigma_{-1} \quad (1.49)$$

$$\tau_{-1} = 0,58 \cdot 385 = 224,46 \text{ МПа}$$

Сечение А-А. Это сечение при передаче вращающего момента от ведомого шкива ременной передачи к валу шпинделя рассчитываем на кручение. Концентрацию напряжений вызывает наличие шпоночной канавки.

Коэффициент запаса прочности s_τ находится по формуле: [4, с.311]

$$s = s_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_v + \psi_\tau \tau_m} \quad (1.50)$$

где амплитуда τ_v и среднее напряжение от нулевого цикла τ_m : [4, с.311]

$$\tau_v = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2} = \frac{T_2}{2W_{кнетто}} \quad (1.51)$$

При $d = 32$ мм, $b = 8$ мм, $t_1 = 4$ мм;

Момент сопротивления кручению $W_{\text{кнетто}}$: [4, с.311]

$$W_{\text{кнетто}} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt_1(d-t_1)^2}{2d} \quad (1.52)$$
$$W_{\text{кнетто}} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{16} - \frac{8 \cdot 4 \cdot (32 - 4)^2}{2 \cdot 32} = 6 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$$

Тогда согласно формуле (1.51):

$$\tau_v = \tau_m = \frac{11,16 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 10^3} = 0,93 \text{ Мпа}$$

Принимаем: $k_\tau = 1,9$; [4, с. 165, таб.8.5]

$$\varepsilon_\tau = 0,77; [4, с. 166, таб.8.8]$$

$$\psi_\tau = 0,1 [4, с. 166]$$

Получаем, согласно формуле (1.50):

$$s = s_\tau = \frac{224,46}{\frac{1,9}{0,7} \cdot 0,97 + 0,1 \cdot 0,97} = 82,2$$

ГОСТ 16162-78 указывает на то, чтобы конструкция предусматривала возможность восприятия радиальной консольной нагрузки, приложенной в середине посадочной части вала.

Приняв u ведущего вала длину посадочной части под цепную передачу равной длине $l = 42$ мм (ширина ступицы ведомого шкива ременной передачи), получим изгибающий момент в сечении А-А от консольной нагрузки:

$$M = 2,5\sqrt{T_2} \cdot \frac{l}{2} \quad (1.53)$$

$$M = 2,5\sqrt{11,16 \cdot 10^3} \cdot \frac{42}{2} = 5,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям: [4, с. 312]

$$s_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \sigma_v + \psi_\sigma \sigma_m} \quad (1.54)$$

Амплитуда нормальных напряжений изгиба: [4, с.314]

$$\sigma_v = \frac{M_{E-E}}{W_{\text{нетто}}} \quad (1.55)$$

Момент сопротивления изгибу $W_{\text{нетто}}$: [4, с. 313]

$$W_{\text{нетто}} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt_1(d-t_1)^2}{2d} \quad (1.56)$$
$$W_{\text{нетто}} = \frac{3,14 \cdot 32^3}{32} - \frac{8 \cdot 4 \cdot (32 - 4)^2}{2 \cdot 32} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$$

Тогда согласно формуле (1.46):

Среднее напряжение цикла нормальных напряжений σ_m : [4, с. 163]

$$\sigma_m = \frac{F_a}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (1.57)$$
$$\sigma_m = \frac{3000}{\frac{3,14 \cdot 32^2}{4}} = 3,73$$

Тогда согласно формуле (1.55):

$$\sigma_v = \frac{5,5 \cdot 10^3}{2,8 \cdot 10^3} = 1,96$$

Отсюда согласно формуле (1.54):

$$s_\sigma = \frac{385}{\frac{1,9}{0,77} \cdot 1,96 + 0,1 \cdot 3,73} = 73,9$$

Результирующий коэффициент запаса прочности для сечения А-А:

$$s = \frac{s_\sigma \cdot s_\tau}{\sqrt{s_\sigma^2 + s_\tau^2}} \quad (1.58)$$
$$s = \frac{73,9 \cdot 82,2}{\sqrt{73,9^2 + 82,2^2}} = 54,9$$
$$54,9 \geq [2,5]$$

Условие выполнено

Одним из возможных вариантов проверки вала на прочность, является использования CAE программ. Инженерный анализ на статическую прочность был проведен в Ansys Workbench, результатами анализа являются рисунки 17 и 18, на которых показаны какой коэффициент запаса прочности и эквивалентных напряжений можно получить используя машинный вариант анализа.

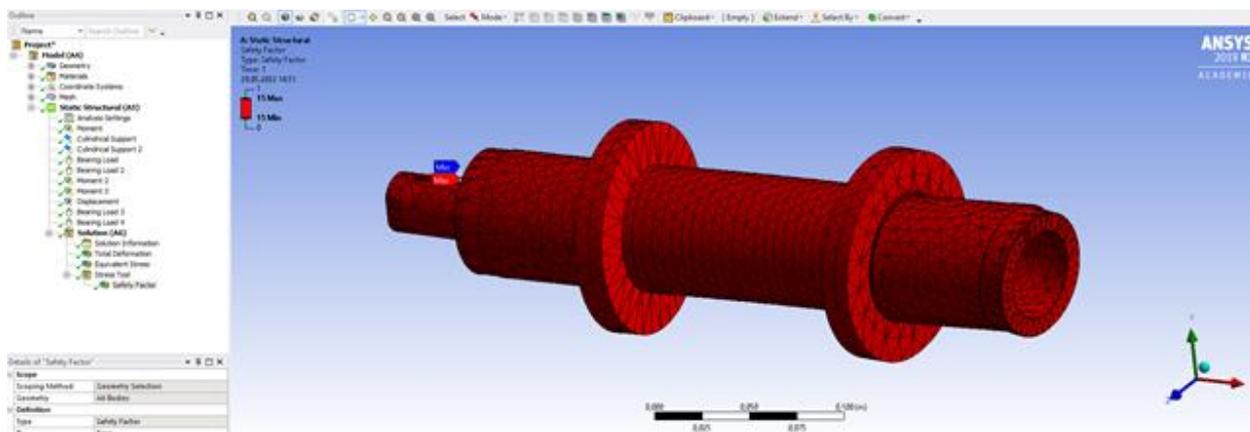


Рисунок 17 – Коэффициент запаса прочности вала шпинделя

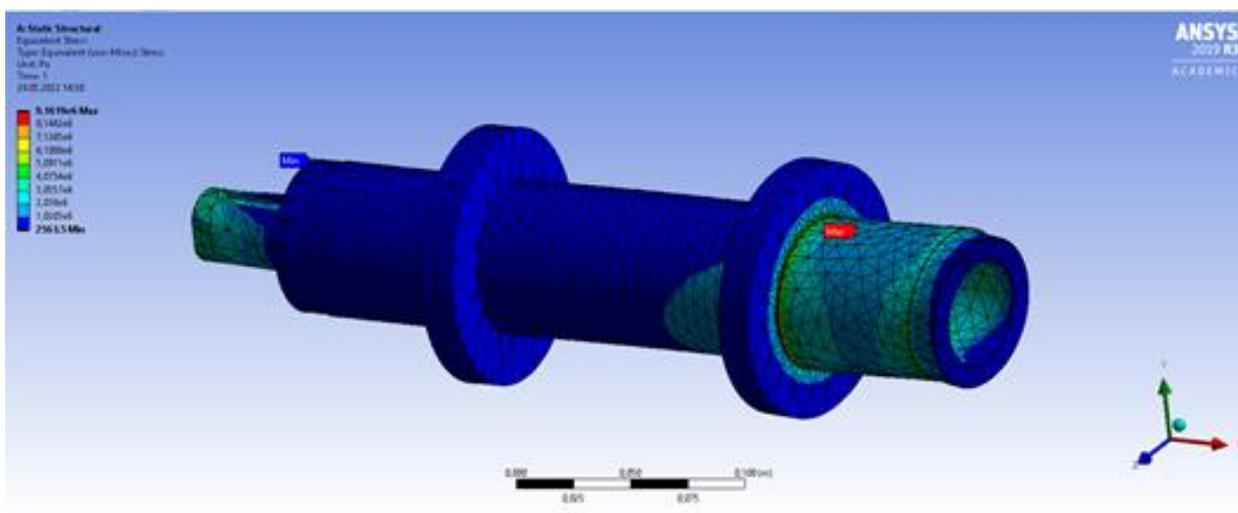


Рисунок 18 – Эквивалентные напряжения вала шпинделя

Из результатов ручного и машинного счета можем заметить, что в обоих случаях условие обеспечения коэффициента запаса прочности выполняется. Но стоит отметить, что машинный тип анализа реализуем только при условии, что есть все вводные данные для анализа. А вводные данные получают как раз таки ручным счетом.

1.2.5 Расчет подшипников скольжения

Подшипники скольжения получили широкое распространение в машиностроении. Они используются, в частности, в шатунно-кривошипных механизмах всех типов двигателей, в том числе в шпинделях станков для вибрационного контроля подшипников качения. Одним из важных факторов, определяющих надежность (в том числе безотказность и долговечность) двигателей, является грамотный и технически обоснованный выбор посадок

подшипников скольжения, особенно для быстроходных двигателей, поскольку именно в них ресурс обеспечивается за счёт формирования масляного слоя, исключаяющего «сухое трение» сопрягаемых поверхностей деталей. [5, с.3]

Трущиеся поверхности в подшипнике скольжения разделяются масляной смазкой. Толщина слоя смазки должна быть достаточной, чтобы исключить возможность соприкосновения трущихся поверхностей. Соприкосновение трущихся поверхностей приводит к износу и большим потерям на преодоление трения. В подшипниках необходимо обеспечить режим чисто жидкостного трения, при котором контакта между трущимися поверхностями нет и трение происходит между слоями разделяющей их смазки. Способность подшипников скольжения выдерживать большие нагрузки при условии сохранения жидкостного трения обусловлена наличием клинового зазора между поверхностями трения, заполняемыми смазкой. Подшипники скольжения, в которых используется эффект «масляного клина», называются гидродинамическими. [5, с.4]

По гидродинамической теории трения несущая способность подшипников при соблюдении условия неразрывности слоя смазки определяется величиной радиальной нагрузки: [5, с.7, форм. 1]

$$R = \frac{\mu \cdot \omega}{\psi^2} \cdot l \cdot d_{н.с} \cdot C_R \quad (1.59)$$

где R – радиальная нагрузка на цапфу, Н;

l – длина подшипника, м;

$d_{н.с}$ – номинальный диаметр соединения, м;

μ – динамическая вязкость смазочного масла при рабочей температуре подшипника t , $\text{Н} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^2}$: [5, с.7, форм.2]

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (1.60)$$

где ν – кинематическая вязкость масла, $\text{мм}^2/\text{с}$;

ρ – плотность масла, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ω – угловая скорость вала, формула (1.1)

ψ – относительный зазор, м, принимаем от 0,001...0,003: [5, с.7]

Тогда диаметральный расчетный зазор S , мм равен:

$$S = d_{н.с} \cdot \psi \quad (1.61)$$

$$S = 0,065 \cdot 0,001 = 0,065 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

C_R – коэффициент нагруженности подшипника, безразмерная величина, зависящая от положения вала в подшипнике;

X – величина относительного эксцентриситета:

$$X = 2e/S \quad (1.62)$$

$$X = \frac{2 \cdot 0,00975 \cdot 10^{-3}}{0,065 \cdot 10^{-3}} = 0,3$$

Отсюда $C_R = 0,391$; [5, с.17, таб.1]

Величина среднего давления p (Па): [5, с.8, форм.3]

$$p = \frac{R}{l \cdot d_{н.с}} \quad (1.63)$$

Минимальная толщина масляного слоя $[h_{min}]$ определяется по формуле:[5, с.8, форм.4]

$$[h_{min}] = k \cdot (4 \cdot R_{aD} + 4 \cdot R_{ad} + \gamma_d) \quad (1.64)$$

где R_{aD}, R_{ad} – параметры шероховатости – средние арифметические отклонения профиля поверхностей отверстия вкладыша и вала; [5, с.17, таб.2]

$k \geq 2$ – коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя;

γ_d – добавка на неразрывность масляного слоя, $\gamma_d = 2 - 3$ мкм;

Для обеспечения жидкостного трения необходимо соблюдение условия (мм): [5, с.10]

$$h \geq [h_{min}]$$

$$h = \frac{d_{н.с}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega}{p}} \cdot A \quad (1.65)$$

где A – величина зависящая от относительного эксцентриситета X и отношения $l/d_{н.с}$, вычисляется по формуле: [5, с.10]

$$A = [(1 - X) \cdot \sqrt{C_R}] \quad (1.66)$$

$$A = [(1 - 0,3) \cdot \sqrt{0,391}] = 0,44$$

В качестве жидкостной смазки принимаем индустриальное масло И-20А, кинематическая вязкость по [5, с.17, табл.3] $\nu = 32 \text{ мм}^2/\text{с}$. Плотность масла $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$.

Динамическая вязкость, согласно формуле (1.60)

$$\mu = 32 \cdot 890 \cdot 10^{-6} = 0,028 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$$

Определим радиальную нагрузку на цапфу, согласно формуле (1.59):

$$R = \frac{0,028 \cdot 314}{0,001^2} \cdot 63 \cdot 10^{-3} \cdot 65 \cdot 10^{-3} \cdot 0,391 = 14077 \text{ Н}$$

Определим величину среднего давления, согласно формуле (1.63):

$$p = \frac{14077}{63 \cdot 10^{-3} \cdot 65 \cdot 10^{-3}} = 3437606 \text{ Па}$$

Определим h , согласно формуле (1.65):

$$h = \frac{65 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \sqrt{\frac{0,028 \cdot 314}{3437606}} \cdot 0,44 = 22,9 \text{ мкм}$$

Условие жидкостного трения выполнено

Определим допускаемую минимальную толщину масляного слоя, согласно формуле (1.64):

$$[h_{min}] = 2 \cdot (4 \cdot 1,6 + 4 \cdot 0,8 + 2) = 16,8 \text{ мкм}$$

Определим значение A_h для рассчитанной минимальной толщины масляного слоя: [5, с.11, форм.7]

$$A_h = \frac{2[h_{min}]}{d_{н.с} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega}{p}}} \quad (1.67)$$

$$A_h = \frac{2 \cdot 16,8 \cdot 10^{-6}}{65 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{0,028 \cdot 314}{3437606}}} = 0,32$$

По графику приложения [5, с.26], используя найденное значение $A_h = 0,32$ и пользуясь кривой отношения $\frac{l}{d_{н.с}} = 1$, находим, что значение минимального относительно эксцентриситета X_{min} в области графика не существует. Поэтому находим значение A_X для $X=0,3$, отсюда $X_{min} = 0,44$.

По найденному значению X_{min} рассчитываем минимальный допусаемый зазор $[S_{min}]$: [5, с.12, форм.9]

$$[S_{min}] = 2,857 \cdot [h_{min}] \cdot \frac{A_x}{A_h} \quad (1.68)$$

$$[S_{min}] = 2,857 \cdot 16,8 \cdot \frac{0,44}{0,32} = 75,42 \text{ мкм}$$

По найденном значению $A_h = 0,32$, проведя линию, параллельную оси абсцисс, получим, что $X_{max} = 0,88$.

По найденному значению X_{max} рассчитываем минимальный допусаемый зазор $[S_{max}]$: [5, с.12, форм.10]

$$[S_{max}] = \frac{2 \cdot [h_{min}]}{1 - X_{max}} \quad (1.69)$$

$$[S_{max}] = \frac{2 \cdot 16,8}{1 - 0,88} = 280 \text{ мкм}$$

Принимаем $S_{min} \geq [S_{min}]$ [5, с. 10, форм. 5]

$$S_{min} = 75,42 \text{ мкм}$$

Максимальный зазор S_{max} в выбираемой посадке с учетом износа и шероховатости поверхностей вала и вкладыша, мкм: [5, с. 10, форм.6]

$$S_{max} \leq [S_{max}] - 8 \cdot (R_{aD} + R_{ad}) \quad (1.70)$$

$$S_{max} \leq 280 - 8 \cdot (1,6 + 0,8) = 260,8 \text{ мкм}$$

1.2.6 Разработка концепта СВКСПК

Целью разработки концепта стенда вибрационного контроля является визуальное представление изделия, с учетом его габаритов и расположения рабочих элементов.

Основой корпуса стенда будет являться комбинация наружного и внутреннего каркаса с плоскими и плосковыгнутыми кожухами из листовой стали. В качестве модуля управления рассмотрен вариант с навесным планшетом, который встроен в защитный кожух с возможностью проворачиваться вокруг оси шпинделя. Концепт дизайна стенда для вибрационного контроля подшипников качения показан на рисунке 19.

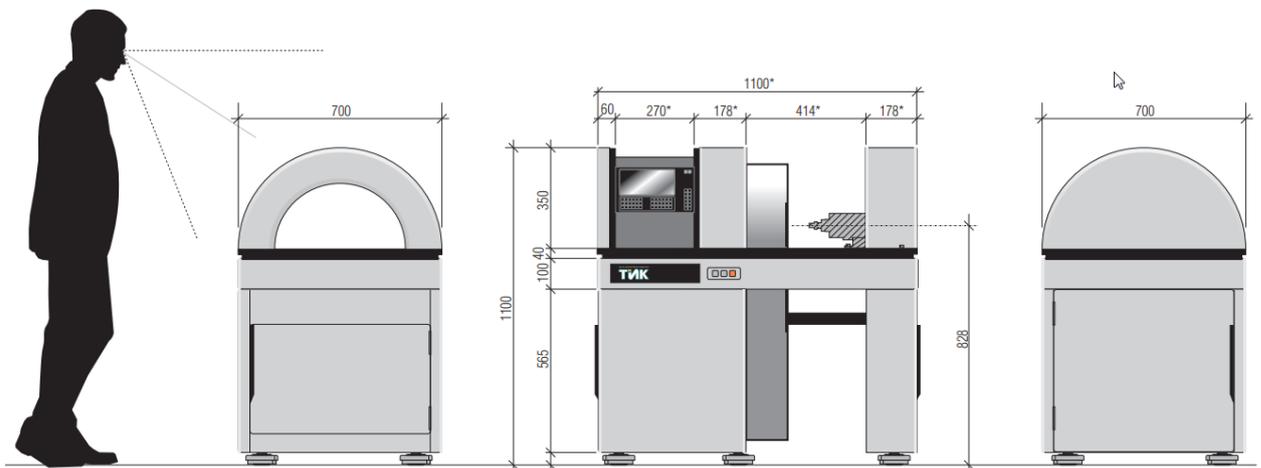


Рисунок 19 – Концепт дизайна СВКСПК

Результатом проведенной работы получилась 3D модель станда для вибрационного контроля состояния подшипников качения, представленная на рисунке 20.

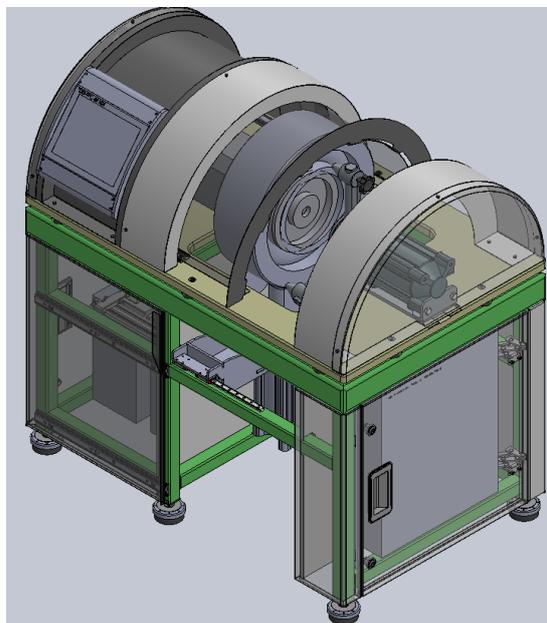


Рисунок 20 – 3D модель станда

Заключение

В результате выполнения конструкторской части были выполнены следующие задачи: построена принципиальная схема У установки, проведен расчет мощности электродвигателя, плоскоременной передачи, выполнен прочностной расчет вала шпинделя, который показал уверенный коэффициент запаса прочности. Так же проведен расчет подшипников скольжения, разработан концепт и 3D модель установки.

2. Технологическая часть

Введение

Эффективность производства, его технический прогресс, качество выпускаемой продукции во многом зависят от опережающего развития производства нового оборудования, машин, станков и аппаратов, от всемерного внедрения методов технико-экономического анализа, обеспечивающего решения технических вопросов и экономическую эффективность технологических и конструкторских разработок [11, стр.6].

Основная задача любого производства - достичь максимальной автоматизации, при этом используя простые и экономически выгодные средства изготовления готовой продукции. Чем лучше отработан данный процесс, тем успешнее предприятие, лучше производительность и качество продукции. АТПП не претендует на полное вытеснение интеллектуального и ручного труда человека – наоборот, она делает условия работы более комфортными.

Техническим заданием для технологической части ВКР является чертеж детали «шків», тип производства – мелкосерийное. Шків — это приводное колесо для передачи или получения крутящего момента от приводного ремня. В рамках работы требуется произвести анализ детали на технологичность, которая включает в себя качественную и количественную оценку детали, объяснение выбора заготовки. Также требуется составить технологический маршрут изготовления детали, провести размерный анализ, который будет заключаться в расчете припусков на обработку отверстия и расчет режимов резания. Далее необходимо подобрать оборудование, режущий и мерительный инструмент, провести расчет нормы времени на изготовление детали, составить схемы обработки и рассчитать усилие зажима приспособления.

Технологической документацией будет являться чертеж, расчетно-технологическая карта, операционная карта на токарную операцию с ЧПУ.

2.1 Анализ технологичности конструкции детали

Основной целью анализа технологичности конструкции детали является повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на изготовление, эксплуатацию и ремонт.

В соответствии с ГОСТ 14.205-83 технологичность – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте при заданных показателях качества, объеме выпуска и условиях выполнения работ.

Анализ технологичности включает отработку конструкции детали с целью максимальной унификации элементов (размеров, резьб, фасок и др.), правильный выбор и простановку размеров, оптимальных допусков и шероховатости поверхности, соблюдение всех требований, предъявляемых к заготовкам и т.д.

Анализ детали необходимо производить по всем ее обрабатываемым поверхностям. Анализу подвергается степень точности и шероховатость обрабатываемых поверхностей, что дает возможность выбирать оптимальные методы обработки каждой из поверхностей изготавливаемой детали.

При отработке на технологичность конструкции детали необходимо производить оценку в процессе ее конструирования. Технологичность конструкции детали оценивают на двух уровнях – качественном и количественном.

Инженерно-визуальный метод оценки ТКИ представляет собой совокупность приемов, посредством которых разработчик конструкции визуально оценивает конструктивные и технологические признаки изделия.

Качественная оценка одного конструктивного исполнения изделия производится на основании анализа соответствия его основным требованиям к производственной, эксплуатационной и ремонтной ТКИ по критериям

«хорошо – плохо», «допустимо – недопустимо», «технологично – нетехнологично» и т. д..

Проведем систематизацию поверхностей детали с целью выявления наиболее ответственных из них, обработке которых нужно уделить особое внимание. Для этого выполним эскиз детали (рисунок 21) и закодируем все ее поверхности. Затем систематизируем все поверхности по их назначению, уточним шероховатость и качество допуска размера поверхности, данные запишем в таблицу 6.

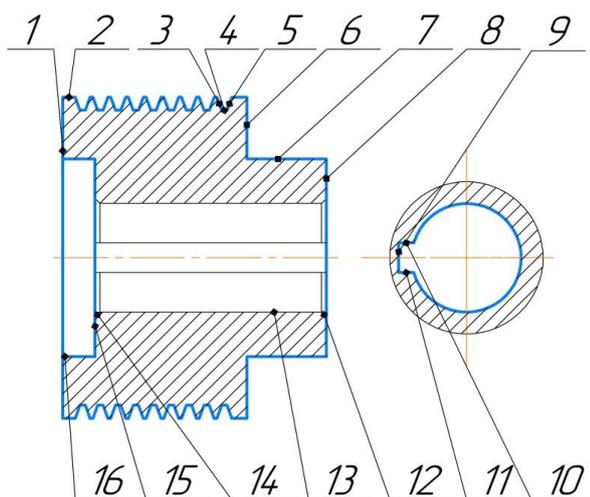


Рисунок 21 - Эскиз шкива

Таблица 6 - Систематизация поверхностей

Вид поверхности	Номер поверхности	Квалитет допуска размера	Шероховатость поверхности, Ra
Основная конструкторская база	8,13	11,7	3,2:2,5
Вспомогательная конструкторская база	(1,6),7,9,(15,16)	(11),11,7,(12)	3,2
Исполнительная поверхность	(2,4),(3,5),(10,11)	(11),(8),(7)	(3,2),(1,25),(3,2)
Свободная поверхность	Остальные поверхности	11	3,2

Технологичность шкива будем оценивать по технологичности материала, технологичности конструкции, технологичности базирования и закрепления, технологичности обрабатываемых поверхностей. Для анализа

материала заготовки необходимо определить его состав и основные физико-механические свойства.

Сталь 20 — углеродистая. Именно процентное содержание вещества — углерода, определяет название сплава. По ГОСТу 1050-88 его должно быть от 0,17 до 0,24%, или среднее значение — 0,2%. Оно и используется для маркировки металла.

Преимущества и недостатки стали 20:

1. Является одновременно пластичным и прочным, устойчивым к истиранию;
2. Сохраняет необходимые качества при работе в диапазоне температур (–40 до + 450°C);
3. Имеет низкую флокеночувствительность;
4. Устойчив к воздействию среды, находящейся под высоким давлением (газ, пар);
5. В структуре сплава практически не образуются трещины после его обработки давлением;
6. Металл обладает высокой свариваемостью (до его термообработки);
7. После выполнения сварочных работ швы не требуется закаливать;
8. Сталь отличается оптимальным соотношением цены и качества.

При использовании металла необходимо учитывать его главный недостаток — появление признаков коррозии на поверхности. Для недопущения такого процесса необходимо покрытие специальным защитным химсоставом (гальваника). Приведём химический состав и физико-механические свойства стали 20 в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 - Химический состав стали 20 по ГОСТ 1050-2013

С (Углерод)	Si (Кремний)	Mn (Марганец)	P (Фосфор)	S (Сера)	Cr (Хром)	Ni (Никель)	Cu (Медь)	Fe (Железо)
0,17- 0,24	0,13- 0,37	0,35- 0,65	< 0,03	< 0,003	< 0,25	< 0,30	< 0,30	остальное

Таблица 8 - Физико-механические свойства стали 20 по ГОСТ 1050-2013

σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	Ψ , %	σ_{-1} , МПа	НВ	Е, ГПа	С, Дж/(кг·°С)
430	280	34	67	195	160	212	486

Все поверхности шкива достаточно простые по форме и могут быть обработаны стандартными методами механической обработки. При этом в конструкции шкива широко используются унифицированные элементы и размеры соответствуют нормальному ряду чисел.

Шкив садится на вал по поверхности 13. Тем самым для этой сопрягаемой поверхности необходимы высокие требования точности размера (7 квалитет точности, допуск $T_d=0,02\text{мм}$), шероховатость поверхности ($R_a=2,5\text{мкм}$), это разумные требования, для ответственной поверхности.

Также ответственными поверхностями являются 9,10,11. Эти поверхности необходимы для передачи крутящего момента, с ними сопрягается шпонка. Точность размера, необходимого для правильного положения шпонки в пазу шкива задана 7 квалитетом точности и допуском $T_d=0,022\text{мм}$.

Еще одними ответственными исполнительными поверхностями являются 3,4,5 – так называемые ручейки. Они необходимы для правильной фиксации и передачи с помощью поликлинового ремня крутящего момента от шкива, соединенного через муфту с электродвигателем. Поверхности 3 и 5 необходимо полировать до шероховатости ($R_a=1,25\text{ мкм}$) для более плотного сопряжения ручейков ремня со шкивом.

Остальные поверхности не представляют особых требований к обработке, кроме как соблюдения допуска расположения поверхностей. К поверхностям 1,2,6 накладывается допуск радиального биения, это необходимо для уменьшения возможной вибрации и неправильной работы ременной передачи в случаях отклонения от базовой оси. Таким образом, проведя анализ поверхностей, их точности размера, шероховатостей поверхностей, можно заключить, что деталь является технологичной.

Одним из ключевых вопросов при механической обработке и обеспечения технологичности детали является ее базирование. Для базирования рассматриваемой детали могут быть использованы типовые схемы базирования, что обеспечит соблюдение всех основных принципов базирования и сократит погрешности при обработке. В конструкции детали, используются базовые поверхности, достаточные по размерам и расстоянию, что позволяет использовать стандартные элементы приспособлений для ее установки и закрепления. В связи с этим при базировании деталей на операциях механической обработки деталь можно считать технологичной.

Деталь не имеет обрабатываемых поверхностей в затрудненных для доступа инструмента местах. Следует отметить, что шкив жесткий ($1/D = 53/65 = 0,8$). Деталь допускает применение высокопроизводительных режимов обработки.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о высокой технологичности детали.

Для количественной оценки технологичности конструкции детали из предусмотренной номенклатуры показателей технологичности рекомендуется применять следующие:

При проведении количественного анализа определяют показатели унификации и показатели обработки.

Показатель материалоемкости, который характеризуется коэффициентом использования материала:

$$K_{\text{им}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}}, \quad (2.1)$$

где $M_{\text{д}}$ – масса детали, кг; принимаем условно $M_{\text{д}} = 0,75$ кг

$M_{\text{з}}$ – масса заготовки, кг; принимаем условно $M_{\text{з}} = 1,8$ кг, следовательно:

$$K_{\text{им}} = \frac{0,75}{1,8} = 0,42$$

Базовое значение показателя $K_{им} = 0,6$. Если расчетное значение коэффициента использования материала выше базового, то можно сказать, что выбранным методом получения заготовки и ее конфигурация удовлетворяют требованиям технологичности. В моем случае деталь по этому показателю не будет технологичной.

Коэффициент унификации конструктивных элементов:

$$K_{у.э.} = \frac{Q_{у.э.}}{Q_{э.}}, \quad (2.2)$$

где $Q_{у.э.}$ и $Q_{э.}$ – соответственно число унифицированных конструктивных элементов детали и общее, шт.;

$$K_{у.э.} = \frac{36}{40} = 0,9$$

К унифицированным поверхностям относятся стандартные канавки, фаски, центровочные гнезда, зубчатые, шлицевые, шпоночные поверхности; гладкие цилиндрические и плоские поверхности, если их номинальный размер принадлежит одному из рядов номинальных линейных размеров и допуск размера назначен по квалитетам. Базовое значение показателя $K_{у.э.} = 0,8$.

Коэффициент применяемости стандартизованных обрабатываемых поверхностей:

$$K_{п.ст.} = \frac{D_{о.с.}}{D_{м.о.}}, \quad (2.3)$$

где $D_{о.с.}$, $D_{м.о.}$ – соответственно число поверхностей детали, обрабатываемых стандартным инструментом, и всех, подвергаемых механической обработке поверхностей, шт.;

$$K_{п.ст.} = \frac{13}{40} = 0,325$$

Коэффициент обработки поверхностей:

$$K_{п.о} = 1 - \frac{D_{м.о.}}{D_{э.}}, \quad (2.4)$$

где $D_{\text{м.о.}}$ и $D_{\text{э}}$ соответственно число поверхностей подвергаемых механической обработке и общее число поверхностей, шт.;

$$K_{\text{п.о}} = 1 - \frac{40}{40} = 0$$

Коэффициент шероховатости поверхности:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}} \leq 0,32, \quad (2.5)$$

Где,

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum B_i}{\sum n_i}, \quad (2.6)$$

Где B_i - значение параметра шероховатости,

n_i – количество параметров шероховатости

Минимальное значение параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей $Ra = 1,25$ мкм;

$$B_{\text{ср}} = \frac{3,2 \cdot 21 + 2,5 + 1,25 \cdot 18}{40} = 2,3 \text{ мкм}$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{2,3} = 0,43$$

Таким образом, проанализировав количественные показатели технологичности для данной детали, следует сказать, что к отрицательным показателям, характеризующим деталь, относятся: коэффициент использования материала, который является ниже среднего ($0,42 < 0,6$). Это говорит о том, что значительная часть материала срезается в стружку, что приводит к снижению технологичности изделия, а также к удорожанию детали. Коэффициент применимости стандартизованных обрабатываемых поверхностей – меньшая часть поверхностей обрабатываются стандартным инструментом, что удорожает изготовление детали, малоприменимо при единичном и мелкосерийном производстве. Коэффициент шероховатости поверхности говорит о том, что деталь нетехнологична, слишком высокие параметры, что отрицательно сказывается на трудоёмкости изготовления, как по времени так и по оборудованию.

К положительным показателям, характеризующим деталь, относятся: Коэффициент унификации конструктивных элементов показал, что деталь технологична, так как имеет лишь 90% унифицированных конструктивных элементов. Таким образом, проанализировав качественные и количественные показатели технологичности детали «шків», можно сделать вывод, что из-за высоких требований к точности обработки, малым коэффициентом использования материала и большого количества нестандартизированных поверхностей, шків является мало технологичным.

2.2 Выбор вида и способа получения заготовки

Технологические требования к конструкции деталей машин продиктованы как технологией производства заготовок, так и технологией их последующей обработки.

Заготовка — это предмет производства, из которого изменением формы и размеров, свойств материала и шероховатости поверхности изготавливают деталь или неразъемную сборочную единицу — узел.

Самым первым критерием при выборе типа заготовки служит материал, из которого изготавливается деталь:

- Сталь – прокат, поковка, штамповка, реже - отливка;
- Чугун – различные способы литья;
- Цветные металлы – прокат, отливка, реже – штамповка;

Вторым критерием являются технологические возможности типа производства:

- для деталей простой формы предпочтительнее прокат;
- для деталей средних и крупных размеров простой формы с большими перепадами размеров - поковка;
- для деталей сложной формы - отливка или штамповка.

Сравним 2 крайне противоположных варианта получения заготовки, это сортовой прокат и штамповка.

Сортовой прокат представляет собой группу металлических изделий, отличающихся между собой формой поперечного сплошного сечения и являющихся продукцией прокатных станков, функционирующих на базе технологии горячей прокатки.

Достоинствами сортового проката являются:

- Высокая производительность;
- Широкая номенклатура изделий;

Недостатками сортового проката являются:

- Высокая материалоемкость;
- Энергоемкость;
- Поверхность изделия требует механической обработки (недостаточно точная и чистая);
- Требуется термическая обработка изделий.

Промежуточно можно заключить, что сортовой прокат подходит для мелкосерийного производства, где не требуется высокая материалоемкость изделия. Используя большой размерный диапазон изделий и возможность получения практически любых форм, можно сделать выбор в пользу сортового проката.

Конкурентом у сортового проката является горячая объёмная штамповка. Гош - это вид обработки металлов давлением, при которой формообразование поковки из нагретой до ковочной температуры заготовки осуществляют с помощью специального инструмента — штампа.

Достоинствами горячей объёмной штамповки являются:

- Высокая производительность;
- Поверхность изделия точная, чистая, практически не требует механической обработки;
- Не требует термической обработки.

Недостатками горячей объёмной штамповки являются:

- Высокая стоимость оборудования (штампов);

- Ограниченность номенклатуры по массе и сложности поверхности;

Согласно формуле (2.1), коэффициент используемости материала $K_{им} = 0,42$, что при мелкосерийном производстве и количестве деталей в партии $n = 6$ шт. , является допустимым.

С учетом технологических свойств материала детали (материал детали сталь 20), её габаритов и массы, требований к механическим свойствам (особых требований нет), а также типом производства (мелкосерийное) выбираем в качестве исходной заготовки – прокат сортовой стальной горячекатаный круглый по ГОСТ ГОСТ 2590-2006, изображенный на рис. . Выбор обосновывается тем, что у деталь имеет простую форму и с учетом мелкосерийного производства, экономически выгодно деталь выполнять из проката. Эскиз заготовки показан на рисунке 22.

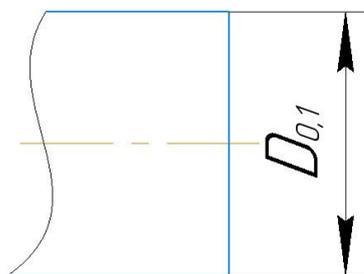


Рисунок 22 - Исходная заготовка

2.3 Разработка технологического маршрута изготовления детали

«ШКИВ»

Для правильного написания технологического маршрута изготовления детали «шків» необходимо ознакомиться с используемыми формулировками.

Согласно ГОСТ 3.1109-82, Единая система технологической документации «Термины и определения основных понятий» [12], в общемашиностроительной отрасли используют:

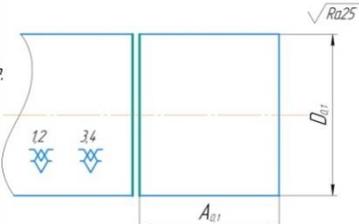
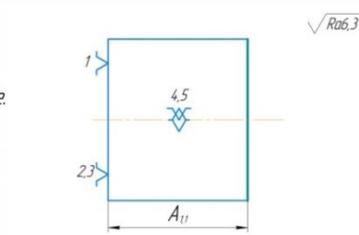
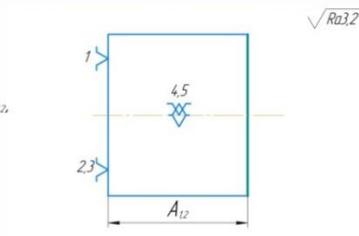
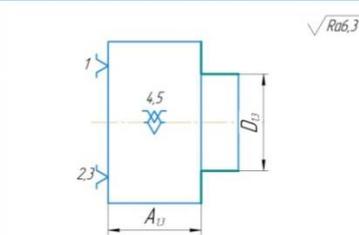
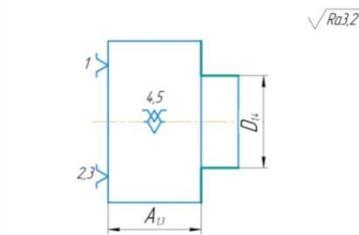
- Технологический процесс - часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда;
- Технологическая операция - законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте;
- Технологический переход - законченная часть технологической

операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке;

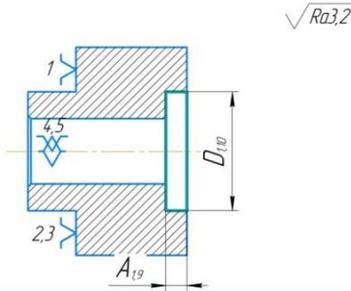
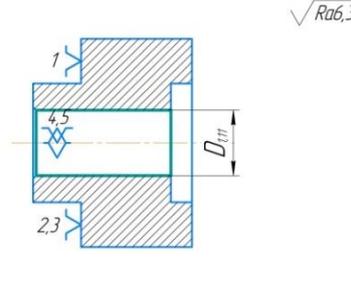
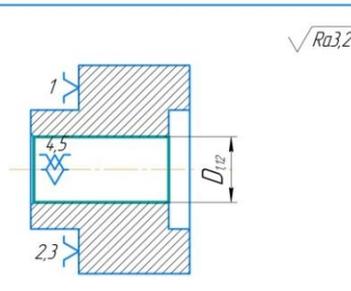
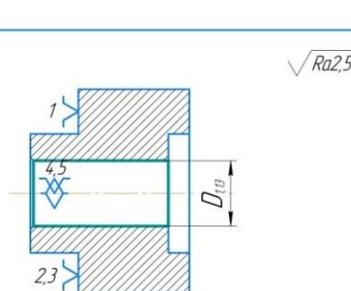
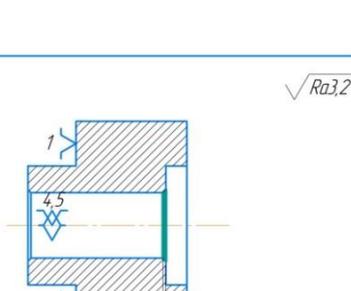
- Установ - часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы;

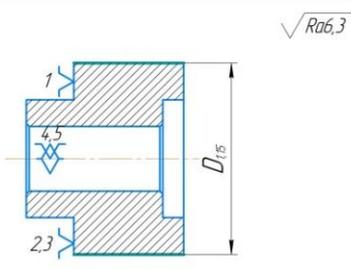
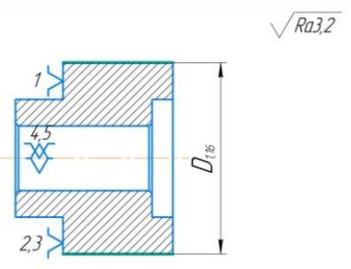
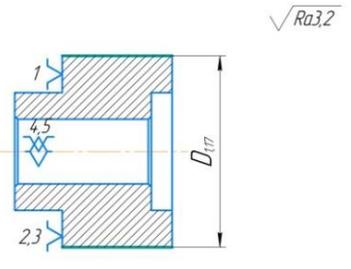
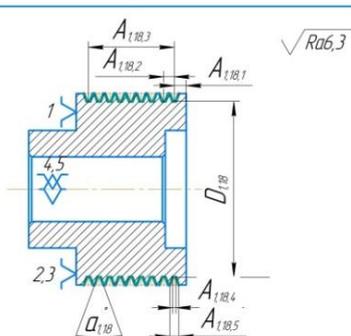
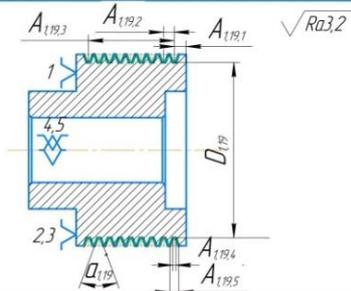
Маршрут технологии изготовления детали «шків» представлен в таблице 9.

Таблица 9 - Технологический маршрут изготовления детали «шків»

Номер операции	перехода	Наименование и содержание операций и переходов/проходов	Операционный эскиз
05	1	<p><i>Ленточно-отрезная</i></p> <p>Установить заготовку в приспособление. Верить и закрепить.</p> <p>Отрезать заготовку, выдерживая размер A_{01}</p>	
10	1	<p><i>Токарная</i></p> <p>Установ А</p> <p>Установить заготовку в приспособление. Верить и закрепить.</p> <p>Подрезать торец, выдерживая размер A_{11}, начерно</p>	
	2	<p>Подрезать торец, выдерживая размер A_{12}, начисто</p>	
	3	<p>Точить поверхность D_{01} до D_{13}, выдерживая размер A_{13}, начерно</p>	
	4	<p>Точить поверхность D_{13} до D_{14}, выдерживая размер A_{13}, начисто</p>	

Номер		Наименование и содержание операций и переходов/проходов	Операционный эскиз
операции	перехода		
10	5	Сверлить отверстие D_{15} насквозь, начерно	
	6	Точить фаску размером $A_{16} \times 45^\circ$ на поверхности D_{15} , начисто	
	7	Установ Б Переустановить заготовку в приспособление. Верить и закрепить. Подрезать торец, выдерживая размер A_{17} , начерно	
	8	Подрезать торец, выдерживая размер A_{18} , начисто	
	9	Расточить отверстие D_{15} до D_{19} , выдерживая размер A_{19} , начерно	

Номер		Наименование и содержание операций и переходов/проходов	Операционный эскиз
операции	перехода		
10	10	Расточить отверстие D_{19} до D_{10} , выдерживая размер A_{19} , начисто	
	11	Расточить отверстие D_{15} до D_{11} на проход, начерно	
	12	Расточить отверстие D_{11} до D_{12} на проход, начерно	
	13	Расточить отверстие D_{12} до D_{13} насквозь, начисто	
	14	Точить фаску размером $A_{14} \times 45^\circ$ на поверхности D_{13} , начисто	

Номер операции перехода		Наименование и содержание операций и переходов/проходов	Операционный эскиз
10	15	Точить поверхность D_{01} до D_{15} на проход, начерно	
	16	Точить поверхность D_{15} до D_{16} на проход, начерно	
	17	Точить поверхность D_{16} до D_{17} на проход, начисто	
	18	Точить канавку на поверхности D_{17} до D_{18} , с шагом $A_{118,2}$, выдерживая размеры $A_{118,1}, A_{118,3}, A_{118,4}, A_{118,5}, a_{118}$, начерно	
	19	Точить канавки на поверхности D_{17} до D_{19} , с шагом $A_{119,2}$, выдерживая размеры $A_{119,1}, A_{119,3}, A_{119,4}, A_{119,5}, a_{119}$, начисто	

Номер операции перехода		Наименование и содержание операций и переходов/проходов	Операционный эскиз
15	1	<p>Полирвальная</p> <p>Полировать канавки до достижения шероховатости поверхности Ra1,25</p>	
20	1	<p>Долбежная</p> <p>Установить заготовку в приспособление. Верить и закрепить.</p> <p>Долбить шпоночный паз, выдерживая размеры A_{311}, A_{312}</p>	
25	1	<p>Промывочная</p> <p>Промыть деталь</p>	
30	1	<p>Гальваническая</p> <p>Провести низкотемпературное химическое оксидирование с промасливанием</p>	
35	1	<p>Контрольная</p> <p>Контроль всех размеров 100%</p>	

2.4 Размерный анализ

Размерный анализ способствует выбору оптимальных значений глубин резания в ходе обработки заготовки.

Начинается размерный анализ с построения размерной схемы вдоль каждой из координатных осей. Размерная схема показывает механизм взаимовлияния технологических размеров в процессе их получения по ходу обработки при превращении заготовки в готовую деталь. Размерная схема диаметральных технологических размеров детали «шків» показана на рисунке 23.

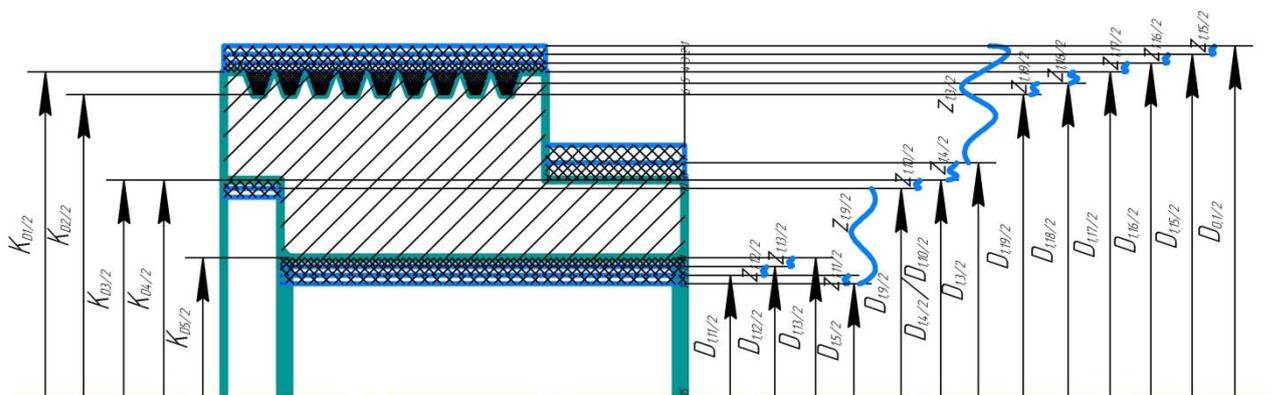


Рисунок 23 – Размерная схема изготовления детали «шків»

После составления размерной схемы для удобства выявления размерных цепей желательно воспользоваться графовыми моделями размерных связей технологического процесса. Графовая модель, включающая все множество поверхностей, появляющихся в процессе обработки от исходной заготовки до готовой детали, а также все размерные связи между этими поверхностями, является удобным инструментом для анализа технологического процесса.

Расчет припуска согласно ГОСТ 31109-82. Методами расчета минимального припуска являются два метода: опытно-статистический; расчетно-аналитический (ГОСТ 7505-74; 7062-79; 7829-70). Расчетно-аналитический метод предусматривает расчет припусков по всем последовательно выполняемым технологическим переходам обработки поверхности детали.

Составим расчетную схему технологического процесса изготовления отверстия диаметром $D = 22_0^{+0,021}$. Схема показана на рисунке 24.

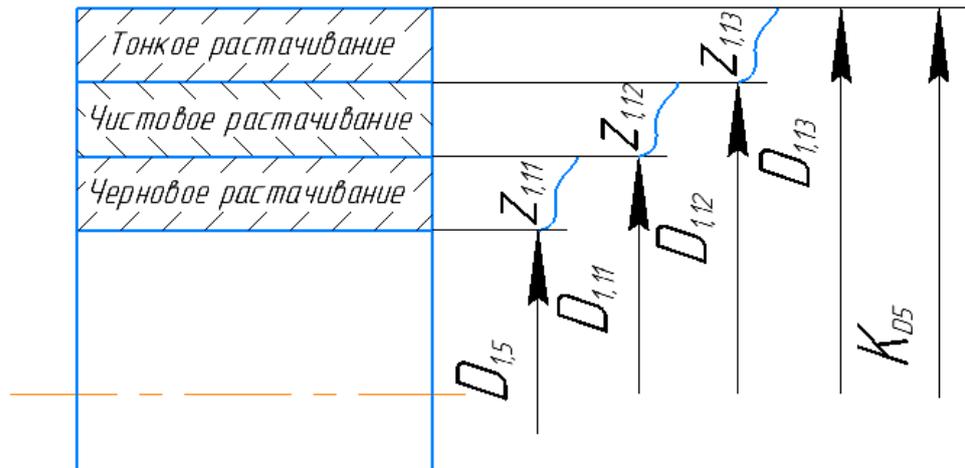


Рисунок 24 – Расчетная схема технологического процесса изготовления отверстия диаметром $D = 22_0^{+0,021}$

Расчет минимального припуска Z_{min}

Минимальный припуск при обработке наружных и внутренних цилиндрических поверхностей вращения:

$$Z_{min} = (Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}; \quad (2.7)$$

Где, Z_{min} – минимальный припуск на обработку, мкм;

Rz_{i-1} – величина шероховатости с предшествующего перехода, мкм;

h_{i-1} – величина дефектного слоя поверхности детали, мкм;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – суммарные отклонения расположения поверхности или отклонения формы поверхности, мкм;

ε_{i-1} – погрешность установки обрабатываемой заготовки, мкм.

$$\varepsilon_{i-1} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{закр}^2}; \quad (2.8)$$

Где ε_6 – погрешность базирования заготовки;

$\varepsilon_{закр}$ – погрешность закрепления заготовки [8, с.85, таб.1.11].

Так как заготовка устанавливается в трехкулачковый самоцентрирующий патрон, погрешность базирования равно нулю:

$$\varepsilon_6 = 0;$$

$\varepsilon_{\text{закр}}$ определяется на выполняемом переходе и зависит от вида установочного элемента приспособления и состояния базовой поверхности. Если на 1 установе выполняется больше 1го перехода, то первоначальная справочная величина уменьшается по следующей зависимости:

$$\varepsilon_{\text{закр}(i+1)} = 0,05\varepsilon_{\text{закр}i} + \varepsilon_{\text{инд}}; \quad (2.9)$$

Если заготовка при этом не меняет своего расположения относительно обрабатывающего инструмента, то $\varepsilon_{\text{инд}} = 0$.

Тогда:

$$\varepsilon_{i-1} = \varepsilon_{\text{закр}};$$

По формуле 2.9 находим погрешность установки для каждого выполняемого перехода:

$$\varepsilon_{\text{закр.черн.}} = 35 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{\text{закр.чист.}} = 0,05 \cdot 35 = 1,75 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_{\text{закр.тонк.}} = 0,05 \cdot 1,75 = 0,0875 \text{ мкм};$$

Отверстие получается сверлением в сплошном материале, тогда суммарные отклонения расположения поверхности $\Delta_{\Sigma i-1}$ будет определяться

как:
$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{(\Delta_y \cdot L)^2 + C_0^2}; \quad (2.10)$$

где C_0 – смещение оси отверстия после сверления. $C_0 = 25$; [8, с.86, таб.1.11].

Δ_y – величина увода оси отверстия после сверления. $\Delta_y = 0,9$;

L – длина заготовки.

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{(0,9 \cdot 58)^2 + 25^2} = 59,5 \text{ мкм};$$

В дальнейшем данная погрешность будет уменьшаться с каждой технологической операцией. Рассчитаем остаточную пространственную погрешность на каждой технологической операции, согласно [11, с.189, формула 38].

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \Delta_{\Sigma i} \cdot K_y; \quad (2.11)$$

Где K_y – коэффициент уточнения.

Значение K_y выбираем согласно [12, с.190, таб.29].

$$\Delta_{\Sigma \text{черновое}} = 59,5 \cdot 0,06 = 3,57 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{чистовое}} = 3,57 \cdot 0,05 = 0,1785 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \text{тонкое}} = 0,1785 \cdot 0,04 = 0,00714 \text{ мкм};$$

Назначим на каждую технологическую операцию класс точности получаемого размера согласно [6, с.8, таб.4].

Рассчитаем минимальный припуск Z_{min} на каждую технологическую операцию согласно [6, с.175, форм.2].

$$2Z_{min} = 2 \left[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]; \quad (2.12)$$

Проведем расчет минимального припуска Z_{min} на одну сторону по формуле 2.7:

Расчет начинаем с требуемого технологического размера (с конца).

Минимальный припуск на тонкое растачивание:

$$Z_{min} = \left[(10 + 10) + \sqrt{0,00714^2 + 0,0875^2} \right] = 20,09 \text{ мкм}$$

Минимальный припуск на чистовое растачивание:

$$Z_{min} = \left[(25 + 25) + \sqrt{0,1785^2 + 1,75^2} \right] = 51,76 \text{ мкм}$$

Минимальный припуск на черновое растачивание:

$$Z_{min} = \left[(50 + 50) + \sqrt{3,57^2 + 35^2} \right] = 135,18 \text{ мкм}$$

Полученные данные заносим в таблицу 10, графу 6.

Для расчета остальных параметров, необходимо рассмотреть технологические размерные цепи для каждого припуска, соответствующего технологической операции.

Тонкое растачивание

На рисунке 25 показана расчетная технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,13}$.

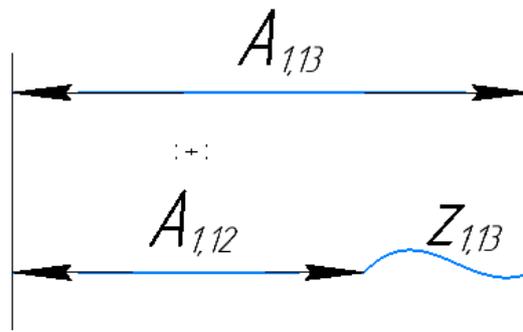


Рисунок 25 – Технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,13}$

Допуск на припуск $Z_{1,13}$ определяется как:

$$TZ_{1,13} = TA_{1,13} + TA_{1,12}; \quad (2.13)$$

$$TZ_{1,13} = 10,5 + 26 = 36,5 \text{ мкм.}$$

Минимальный и наибольший припуски $Z_{1,13}$ определяется как:

$$Z_{1,13 \text{ min}} = A_{1,13 \text{ min}} - A_{1,12 \text{ max}}; \quad (2.14)$$

$$Z_{1,13 \text{ max}} = A_{1,13 \text{ max}} - A_{1,12 \text{ min}}; \quad (2.15)$$

Выразим наибольший предельный технологический размер $A_{1,12 \text{ max}}$ из (2.14):

$$A_{1,12 \text{ max}} = A_{1,13 \text{ min}} - Z_{1,13 \text{ min}}; \quad (2.16)$$

$$A_{1,12 \text{ max}} = 11 - (20,09/1000) = 10,980 \text{ мм.}$$

Определим наименьший предельный технологический размер $A_{1,12 \text{ min}}$:

$$A_{1,12 \text{ min}} = A_{1,12 \text{ max}} - TA_{1,12}; \quad (2.17)$$

$$A_{1,12 \text{ min}} = 10,980 - (26/1000) = 10,954 \text{ мм.}$$

Определим наибольший припуск $Z_{1,13 \text{ max}}$:

$$Z_{1,13 \text{ max}} = A_{1,13 \text{ max}} - A_{1,12 \text{ min}}$$

$$Z_{1,13 \text{ max}} = 11,011 - 10,954 = 57 \text{ мкм.}$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 11.

Определим номинальный припуск $Z_{1,13 \text{ ном}}$

$$Z_{1,13 \text{ ном}} = A_{1,13 \text{ max}} - A_{1,12 \text{ max}}; \quad (2.18)$$

$$Z_{1,13 \text{ ном}} = 11,011 - 10,980 = 31 \text{ мкм.}$$

Определим расчетные значения диаметров отверстия:

$$D_{1,12 \min} = A_{1,12 \min} \cdot 2; \quad (2.19)$$

$$D_{1,12 \max} = A_{1,12 \max} \cdot 2; \quad (2.20)$$

$$D_{1,12 \min} = 10,954 \cdot 2 = 21,908 \text{ мм};$$

$$D_{1,12 \max} = 10,980 \cdot 2 = 21,960 \text{ мм}.$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 9, 10.

Чистовое растачивание

На рисунке 26 показана расчетная технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,12}$.

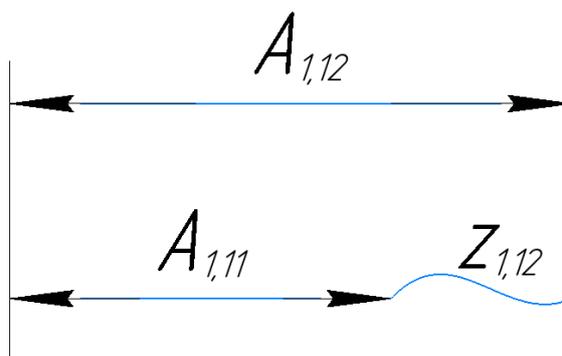


Рисунок 26 – Технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,12}$

Допуск на припуск $Z_{1,12}$ определяется как:

$$TZ_{1,12} = TA_{1,12} + TA_{1,11}; \quad (2.21)$$

$$TZ_{1,12} = 26 + 105 = 131 \text{ мкм}.$$

Минимальный и наибольший припуски $Z_{2.1}$ определяется как:

$$Z_{1,12 \min} = A_{1,12 \min} - A_{1,11 \max}; \quad (2.22)$$

Выразим наибольший предельный технологический размер $A_{1,11 \max}$ из (2.22):

$$A_{1,11 \max} = A_{1,12 \min} - Z_{1,12 \min}; \quad (2.23)$$

$$A_{1,11 \max} = 10,954 - (51,76/1000) = 10,903 \text{ мм}$$

Определим наименьший предельный технологический размер $A_{1,11 \min}$:

$$A_{1,11 \min} = A_{1,11 \max} - TA_{1,11}; \quad (2.24)$$

$$A_{1,11 \min} = 10,903 - (105/1000) = 10,798 \text{ мм}$$

Определим наибольший припуск $Z_{1,12 \max}$

$$Z_{1,12 \max} = A_{1,12 \max} - A_{1,11 \min}$$

$$Z_{1,12 \max} = 10,980 - 10,798 = 182 \text{ мкм}$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 11.

Определим номинальный припуск $Z_{1,12 \text{ ном}}$

$$Z_{1,12 \text{ ном}} = A_{1,12 \max} - A_{1,11 \max}; \quad (2.25)$$

$$Z_{1,12 \text{ ном}} = 10,980 - 10,903 = 77 \text{ мкм}$$

Определим расчетные значения диаметров отверстия:

$$D_{1,11 \min} = A_{1,11 \min} \cdot 2; \quad (2.26)$$

$$D_{1,11 \max} = A_{1,11 \max} \cdot 2; \quad (2.27)$$

$$D_{1,11 \min} = 10,798 \cdot 2 = 21,596 \text{ мм}$$

$$D_{1,11 \max} = 10,903 \cdot 2 = 21,806 \text{ мм}$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 9, 10.

Черновое растачивание

На рисунке 27 показана расчетная технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,11}$.

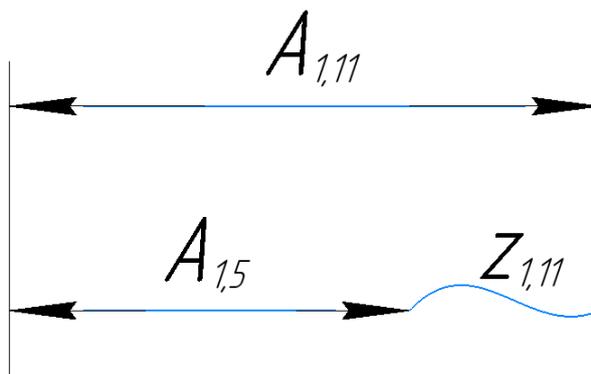


Рисунок 27 – Технологическая размерная цепь для припуска $Z_{1,11}$

Допуск на припуск $Z_{1,11}$ определяется как:

$$TZ_{1,11} = TA_{1,11} + TA_{1,5}; \quad (2.28)$$

$$TZ_{1,11} = 105 + 165 = 270 \text{ мкм.}$$

Минимальный и наибольший припуски $Z_{1,11}$ определяется как:

$$Z_{1,11 \min} = A_{1,11 \min} - A_{1,5 \max}; \quad (2.29)$$

$$Z_{1,11 \max} = A_{1,11 \max} - A_{1,5 \min}; \quad (2.30)$$

Выразим наибольший предельный технологический размер $A_{1,5 \max}$ из (2.29):

$$A_{1,5 \max} = A_{1,11 \min} - Z_{1,11 \min}; \quad (2.30)$$

$$A_{1,5 \max} = 10,798 - (135,18/1000) = 10,663 \text{ мм.}$$

Определим наименьший предельный технологический размер $A_{1,5 \min}$:

$$A_{1,5 \min} = A_{1,5 \max} - TA_{1,5}; \quad (2.31)$$

$$A_{1,5 \min} = 10,663 - (165/1000) = 10,498 \text{ мм.}$$

Определим наибольший припуск $Z_{1,11 \max}$ (2.29):

$$Z_{1,11 \max} = 10,903 - 10,498 = 405 \text{ мкм.}$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 11.

Определим номинальный припуск $Z_{1,11 \text{ ном}}$

$$Z_{1,11 \text{ ном}} = A_{1,11 \max} - A_{1,5 \max}; \quad (2.32)$$

$$Z_{1,11 \text{ ном}} = 10,903 - 10,663 = 240 \text{ мкм.}$$

Определим расчетные значения диаметров отверстия:

$$D_{1,5 \min} = A_{1,5 \min} \cdot 2; \quad (2.33)$$

$$D_{1,5 \max} = A_{1,5 \max} \cdot 2; \quad (2.34)$$

$$D_{1,5 \min} = 10,498 \cdot 2 = 20,996 \text{ мм;}$$

$$D_{1,5 \max} = 10,663 \cdot 2 = 21,326 \text{ мм.}$$

Результат заносим в таблицу 10, графу 9, 10.

Таблица 10 - Карта расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам

Элементарная поверхность детали и технологический маршрут её обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $Z_{\text{мин}}$, мкм	Расчетный минимальный размер, мм	Допуск на изготовление $T_{\text{ф}}$, мкм	Принятые (округленные) размеры по переходам, мм		Полученные предельные припуски, мкм	
	Rz	h	Δ	ε				d_{\max}	d_{\min}	$2z_{\max}$	$2z_{\min}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сверление	100	70	59,5	-	-	21,59	330	21,33	21,00	-	-
Черновое растачивание	50	50	3,57	35	270,36	21,86	210	21,81	21,60	810	270,36
Чистовое растачивание	25	25	0,1785	1,75	103,52	21,96	52	21,96	21,91	364	103,52
Тонкое растачивание	10	10	0,00714	0,0875	40,18	22,00	21	22,02	22	114	40,18
Проверка расчета: $Td_3 - Td_d = 309 = 2z_{\max} - 2z_{\min} = 309$											

2.5 Расчет режимов резания

Подрезание торца $A_{1.1} = 56,2_{-0,5}$ мм, $A_{1.7} = 53,7_{-0,5}$ мм

Скорость резания рассчитывается согласно [7, с.265, форм. 4].

$$v = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot s^y}} \cdot K_v; \quad (2.35)$$

где C_v, K_v, x, y, m – поправочные коэффициенты; T – стойкость инструмента, мин; t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об.

Определим подачу согласно [7, с. 266, таб.11].

На данной операции обрабатывается заготовка D от 60 ... 100 мм, при размерах державки резца $hxb = 25 \times 25$ мм и глубине резания t менее 3 мм, следовательно величина подачи (S) равна 0,7 мм/об.

Коэффициенты C_v, x, y, m выбираются согласно [7, с.269, таб.17].

$$C_v = 47; \quad x = 0; \quad y = 0,8; \quad m = 0,20.$$

Стойкость инструмента (T) примем равной 60 минут.

Глубина резания (t) составит 1,8 мм.

Поправочный коэффициент K_v рассчитывается согласно [7, с.261–264].

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{ти} \cdot K_{тс} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{rv}; \quad (2.36)$$

где K_{mv} – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала на скорость резания;

K_{pv} – поправочный коэффициент, учитывающий качество поверхности заготовки. При учете, что заготовкой является прокат, то $K_{pv} = 0,9$; [7, с.263, таб.5].

K_{iv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания. При обработки стали конструкционной твердосплавными пластинами Т5К10, $K_{iv} = 0,65$; [7, с.263, таб.6].

$K_{ти}$ – коэффициент изменения скорости в зависимости от числа одновременно работающих инструментов. При числе одновременно работающего инструмента равным 1, $K_{ти} = 1$; [7, с.263, таб.7].

K_{TC} – коэффициент периода стойкости инструмента в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков. При числе одновременно обслуживаемых станков равным 1, $K_{TC} = 1$; [7, с.263, таб.8].

$K_{\varphi v}$ – коэффициент главного угла в плане. При $\varphi^\circ = 45$, $K_{\varphi v} = 1$; [7, с.271, таб.18].

K_{rv} – коэффициент радиуса при вершине резца. При $r = 0,8$, $K_{rv} = 0,85$; [7, с.271, таб.18].

Рассчитаем коэффициент K_{mv} согласно [7, с.261, таб.1].

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n; \quad (2.37)$$

где K_{Γ} – поправочный коэффициент для материала инструмента; σ_B – предел прочности обрабатываемого материала, Мпа.

$$\sigma_B = 430 \text{ Мпа,}$$

K_{Γ} , n примем согласно [7, с.262, таб.2].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430} \right)^1 = 1,74$$

$$K_v = 1,74 \cdot 0,9 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 = 0,86$$

$$v = \frac{47}{60^{0,2} \cdot 1,8^0 \cdot 0,7^{0,8}} \cdot 0,86 = 23,7 \frac{\text{М}}{\text{МИН}}$$

Рассчитаем частоту вращения n :

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d}; \quad (2.38)$$

где d – диаметр обработки, мм.

$$d = 70 \text{ мм}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 23,7}{3,14 \cdot 70} = 107,8 \frac{\text{об}}{\text{МИН}}$$

Определение сил резания

Определим силу резания согласно [7, с.271].

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p; \quad (2.39)$$

где C_p , x , y , n , K_p – поправочные коэффициенты.

Поправочные коэффициенты C_p, x, y, n определим согласно [7, с.274, таб.22].

$$C_p = 408; x = 0,72; y = 0,8; n = 0;$$

Определим коэффициент K_p согласно [7, с.271].

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{rp}; \quad (2.40)$$

где $K_{\varphi p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане φ° режущего инструмента на силу резания. При $\varphi^\circ = 45$, и твёрдосплавной пластине, то $K_{\varphi p} = 1,0$; [7, с.275, таб.23].

$K_{\gamma p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние главного переднего угла в главной секущей плоскости γ на силу резания. При $\gamma^\circ = 0$, $K_{\gamma p} = 1,1$; [7, с.275, таб.23].

$K_{\lambda p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла наклона режущей кромки λ на силу резания. При $\lambda^\circ = 0$, $K_{\lambda p} = 1,0$; [7, с.275, таб.23].

K_{rp} – поправочный коэффициент учитывающий радиус вершины режущего инструмента. Коэффициенты определяются согласно [7, с.275, таб.23].

Определим коэффициент K_{mp} согласно [7, с.264, таб.9].

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n; \quad (2.41)$$

где σ_B – предел прочности материала, Мпа; n – поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент n определяется согласно [7, с.264, таб.9].

$$K_{mp} = \left(\frac{430}{750} \right)^{0,75} = 0,66$$

$$K_p = 0,66 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,66$$

$$P_z = 10 \cdot 408 \cdot 1,8^{0,72} \cdot 0,7^{0,8} \cdot 23,7^0 \cdot 0,66 = 3091 \text{ Н}$$

Расчет мощности

Рассчитаем требуемую мощность главного привода станка согласно [7, с.271].

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}; \quad (2.42)$$

$$N = \frac{3091 \cdot 23,7}{1020 \cdot 60} = 1,2 \text{ кВт}$$

Точение поверхности $D_{0.1}$ до $D_{1.3} = 42_{-0,25}^0$ мм

Скорость резания рассчитывается согласно [7, с.265, форм. 4] (2.35).

Определим подачу согласно [7, с.266, таб.11].

На данной операции обрабатывается заготовка D от 60 ... 100 мм, при размерах державки резца $hxb = 25 \times 25$ мм и глубине резания t менее 3 мм, следовательно величина подачи (S) равна 1 мм/об.

Коэффициенты C_v, x, y, m выбираются согласно [7, с.269, таб.17].

$$C_v = 340; \quad x = 0,15; \quad y = 0,45; \quad m = 0,20.$$

Стойкость инструмента (T) примем равной 60 минут.

Глубина резания (t) составит 2 мм.

Поправочный коэффициент K_v рассчитывается согласно [7, с.261–264] (2.36).

Рассчитаем коэффициент K_{mv} согласно [7, с.261, таб.1] (2.37).

K_r, n примем согласно [7, с.262, таб.2].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430}\right)^1 = 1,74$$

$$K_v = 1,74 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,85 = 0,93$$

$$v = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 1^{0,45}} \cdot 0,93 = 125,7 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Рассчитаем частоту вращения n по формуле (2.38):

$d = 70$ мм;

$$n = \frac{1000 \cdot 125,7}{3,14 \cdot 70} = 572 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Определение сил резания

Определим силу резания согласно [7, с.271] (2.39).

Поправочные коэффициенты C_p, x, y, n определим согласно [7, с.274, таб.22].

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

Определим коэффициент K_p согласно [7, с.271] (2.40).

Определим коэффициент K_{mp} согласно [7, с.264, таб.9] (2.41).

Поправочный коэффициент n определяется согласно [7, с.264, таб.9].

$$K_{mp} = \left(\frac{430}{750}\right)^{0,75} = 0,66$$

$$K_p = 0,66 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,58$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 125,7^{-0,15} \cdot 0,58 = 1685 \text{ Н}$$

Расчет мощности

Рассчитаем требуемую мощность главного привода станка согласно [7, с.271] (2.42).

$$N = \frac{1685 \cdot 125,7}{1020 \cdot 60} = 3,5 \text{ кВт}$$

Сверление отверстия $D_{1.5}$

Скорость резания рассчитывается согласно [7, с.276, форм. 1].

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^{m \cdot s^y}} \cdot K_v; \quad (2.43)$$

где C_v, K_v, q, y, m – поправочные коэффициенты; T – стойкость инструмента, мин; D – 21, мм; s – подача, мм/об.

Определим подачу согласно [7, с. 277, таб. 25].

Подача при D сверла = 21 мм и твёрдости заготовки НВ =160, следовательно величина подачи (S) равна 0,49 мм/об.

Коэффициенты C_v, q, y, m выбираются согласно [7, с.278, таб. 28].

$$C_v = 9,8; \quad q = 0,4; \quad y = 0,5; \quad m = 0,20.$$

Стойкость инструмента (T) примем равной 50 минут [7, с.280, таб. 30].

Поправочный коэффициент K_v рассчитывается согласно [7, с.276. формула 3].

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}; \quad (2.44)$$

Рассчитаем коэффициент K_{mv} согласно [7, с.261, таб. 1] (2.37).

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430}\right)^{-0,9} = 0,61$$

$$K_v = 0,61 \cdot 1 \cdot 1 = 0,61$$

$$v = \frac{3,8 \cdot 21^{0,4}}{50^{0,2} \cdot 0,49^{0,5}} \cdot 0,61 = 13,3 \text{ м/мин}$$

Крутящий момент, Н · м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p; \quad (2.45)$$

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p; \quad (2.46)$$

Коэффициенты C_m, q, x, y для расчета крутящего момента выбираются согласно [7, с.281, таб. 32].

$$C_v = 0,0345; \quad q = 2,0; \quad x = 0; \quad y = 0,8.$$

Коэффициенты C_m, q, x, y для расчета осевой силы выбираются согласно [7, с.281, таб. 32].

$$C_p = 68; \quad q = 1,0; \quad x = 0; \quad y = 0,7.$$

Коэффициент K_p , учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала и находится по формуле:

$$K_p = K_{mp}; \quad (2.47)$$

K_{mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости, согласно [7, с.264, таб. 9].

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n; \quad (2.48)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{430}{750}\right)^{0,75} = 0,66$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 21^2 \cdot 0,49^{0,8} \cdot 0,66 = 56,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 21^1 \cdot 0,49^{0,7} \cdot 0,66 = 5720 \text{ Н}$$

Мощность резания, кВт, определяют по формуле [7, с.280, таб.3]:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}; \quad (2.49)$$

Где n рассчитывается по формуле [7, с.280, таб.3] (2.38).

$$n = \frac{1000 \cdot 13,3}{3,14 \cdot 21} = 201,7 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$N_e = \frac{56,7 \cdot 201,7}{9750} = 1,17 \text{ кВт}$$

Расточка поверхности $D_{1.5}$ до $D_{1.9} = 39_0^{+0,25}$ мм

Скорость резания рассчитывается согласно [7, с.265, форм. 4] (2.35).

Определим подачу согласно [7, с.267, таб.12].

На данной операции обрабатывается отверстие D от 39 мм, при размерах круглого сечения резца $d = 25$ мм и вылете резца 125мм, глубине резания t менее 2 мм, следовательно величина подачи (S) равна 0,35 мм/об.

Коэффициенты C_v, x, y, m выбираются согласно [7, с.269, таб.17].

$$C_v = 350; \quad x = 0,15; \quad y = 0,35; \quad m = 0,20.$$

Стойкость инструмента (T) примем равной 60 минут.

Глубина резания (t) составит 0,7 мм.

Поправочный коэффициент K_v рассчитывается согласно [7, с.261–264] (2.36).

Рассчитаем коэффициент K_{mv} согласно [7, с.261, таб. 1] (2.37).

K_r, n примем согласно [7, с.262, таб.2].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430}\right)^1 = 1,74$$

$$K_v = 1,74 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,94 = 1,14$$

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 0,7^{0,15} \cdot 0,35^{0,35}} \cdot 1,14 = 268 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Рассчитаем частоту вращения n по формуле (2.38):

$d = 39$ мм;

$$n = \frac{1000 \cdot 268}{3,14 \cdot 39} = 2188 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Произведем перерасчет скорости резания и частоты вращения под ранее выбранное оборудование.

$$n_{\text{пр}} = 1800 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$v_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{пр}}}{1000} = 220 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Определение сил резания

Определим силу резания согласно [7, с.271] (2.39).

Поправочные коэффициенты C_p, x, y, n определим согласно [7, с.273, таб.22].

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

Определим коэффициент K_p согласно [7, с.271] (2.40).

Определим коэффициент K_{mp} согласно [7, с.264, таб.9] (2.41).

Поправочный коэффициент n определяется согласно [7, с.264, таб.9].

$$K_{mp} = \left(\frac{430}{750} \right)^{0,75} = 0,66$$

$$K_p = 0,66 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,58$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,7^1 \cdot 0,35^{0,75} \cdot 220^{-0,15} \cdot 0,58 = 246 \text{ Н}$$

Расчет мощности

Рассчитаем требуемую мощность главного привода станка согласно [7, с.271] (2.42).

$$N = \frac{246 \cdot 220}{1020 \cdot 60} = 0,88 \text{ кВт}$$

Точение канавки $D_{1.17}$ до $D_{1.18} = 61_{-0,74}^0$ мм

Скорость резания рассчитывается согласно [7, с.265, форм. 4] (2.35).

Определим подачу согласно [7, с.269, таб.16].

На данной операции обрабатывается заготовка D 61 мм, при размерах ширине резца $b = 25$ мм, следовательно величина подачи (S) равна 0,1 мм/об.

Коэффициенты C_v, x, y, m выбираются согласно [7, с.269, таб.17].

$$C_v = 47; \quad x = 0; \quad y = 0,80; \quad m = 0,20.$$

Стойкость инструмента (T) примем равной 60 минут.

Глубина резания (t) составит 2 мм.

Поправочный коэффициент K_v рассчитывается согласно [7, с.261–264] (2.36).

Рассчитаем коэффициент K_{mv} согласно [7, с.261, таб. 1] (2.37).

K_r , n примем согласно [7, с.262, таб.2].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430}\right)^1 = 1,74$$

$$K_v = 1,74 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,85 = 1,35$$

$$v = \frac{47}{60^{0,2} \cdot 2^0 \cdot 0,1^{0,8}} \cdot 1,35 = 176,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Рассчитаем частоту вращения n по формуле (2.38):

$d = 65$ мм;

$$n = \frac{1000 \cdot 176,5}{3,14 \cdot 65} = 864 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Определение сил резания

Определим силу резания согласно [7, с.271] (2.39).

Поправочные коэффициенты C_p , x , y , n определим согласно [7, с.274, таб.22].

$$C_p = 408; \quad x = 0,72; \quad y = 0,8; \quad n = 0;$$

Определим коэффициент K_p согласно [7, с.271] (2.40).

Определим коэффициент K_{mp} согласно [7, с.264, таб.9] (2.41).

Поправочный коэффициент n определяется согласно [7, с.264, таб.9].

$$K_{mp} = \left(\frac{430}{750}\right)^{0,75} = 0,66$$

$$K_p = 0,66 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 0,59$$

$$P_z = 10 \cdot 408 \cdot 2^{0,72} \cdot 0,1^{0,8} \cdot 176,5^0 \cdot 0,59 = 628 \text{ Н}$$

Расчет мощности

Рассчитаем требуемую мощность главного привода станка согласно [7, с.271] (2.42).

$$N = \frac{628 \cdot 176,5}{1020 \cdot 60} = 1,8 \text{ кВт}$$

2.6 Выбор оборудования

Для токарной операции при обработке наружной и внутренней цилиндрической поверхности, подрезании торцов и проточки канавок принимается токарный станок с ЧПУ. Оборудование должно соответствовать следующим критериям:

- размер рабочей зоны должен соответствовать размерам заготовки;
- технические характеристики станка должны обеспечивать возможность получения заданной точности и качества обработки детали;
- мощность и жесткость станка должны обеспечивать оптимальные режимы резания;
- оборудование должно удовлетворять требованиям единичного и мелкосерийного производства.

Проведя анализ токарного металлорежущего оборудования, основываясь на данные критерии, был выбран токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ) ТС16К20Ф3.

Токарный станок ТС16К20Ф3 относится к классу станков нормальной точности по ГОСТ 8—82.

Токарный станок ТС16К20Ф3 предназначен для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей со ступенчатым и криволинейным профилем в осевом сечении в замкнутом полуавтоматическом цикле. Станок может оснащаться различными системами ЧПУ: которые одновременно управляют двумя координатами, осуществляют изменение значений подач, переключение частот вращения шпинделя, индексацию резцовой головки и нарезание резьбы по программе. Конструкция станка позволяет производить обработку деталей с микронной точностью, что делает его практически незаменимым особенно при изготовлении малогабаритных деталей. Область применения станка – мелкосерийное и серийное производство.

Технические характеристики ТС16К20Ф3 приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики токарного станка ТС16К20Ф3

Основные параметры станка	
Обозначение системы ЧПУ	Siemens 808
Максимальный диаметр изделия над станиной, мм	400
Максимальный диаметр изделия типа диск, мм	340
Максимальный диаметр обработки изделия типа вал, мм	210
РМЦ, мм	750
Максимальный вес заготовки, кг	200
Оси	
Максимальное перемещение оси X, мм	235
Макс перемещение по оси Z, мм	750
Быстрые перемещения по оси X, мм/мин	6000
Быстрые перемещения по оси Z, мм/мин	9000
Рабочая подача, мм/мин	1~4000
Диаметр ШВП/шаг ось X, мм	20/4
Диаметр ШВП/шаг ось Z, мм	40/6
Тип мотора и мощность по оси X, кВт	серво 1,5 кВт
Тип мотора и мощность по оси Z, кВт	серво 1,5 кВт
Тип направляющих X	ласточкин хвост
Тип направляющих Z	V образные
Точность позиционирования по осям X/Z, мм	±0,005
Повторяемость позиционирования осей X/Z, мм	±0,003
Угол наклона станины, град	0
Ширина направляющих, мм	340
Шпиндельная бабка	
Диаметр 3х кулачкового патрона, мм	200
Диапазон скоростей шпинделя, об/мин	I 10-330; II 130-1800
Диаметр отверстия шпинделя, мм	53
Максимальный диаметр прутка, мм	51
Торец шпинделя	С6 (ГОСТ 12593)
Конус отверстия шпинделя	Морзе 6
Внутренний диаметр подшипника шпинделя	90
Момент на шпинделе (30 минут), Нм	610
Момент на шпинделе (продолжительно), Нм	610
Мощность э/д шпинделя (30 минут), кВт	7,5
Мощность э/д шпинделя (продолжительно), кВт	7,5

Тип э/д шпинделя	Асинхронный
Резцедержка	
Число инструментов, шт	8
Тип резцедержки	э/мех
Размер хвостовика режущего инструмента, мм	25x25
Время смены инструмента – гориз. револьверная головка, с	3
Точность позиционирования револьверной головки, мм	0,008
Задняя бабка	
Перемещение задней бабки, мм	до патрона/люнета
Выдвижение пиноли задней бабки, мм	130
Диаметр пиноли, мм	60
Конус пиноли механической задней бабки, №	Морзе 4
Прочее	
Потребляемая мощность, кВт	11
Наличие транспортера стружки	нет
Емкость бака СОЖ, л	38
Вес ТС16К20Ф3 нетто, кг	1800
Вес брутто, кг	1900
Габаритные размеры, ДхШхВ мм	2220x1150x1500
Габаритные размеры упаковки, ДхШхВ мм	2220x1350x1500

2.7 Нормирование

Для токарной операции с ЧПУ проведем нормирование. Для этого необходимо определить штучное время на изготовление. Расчет норм времени осуществляется на основании РТК (см приложение). Нормирование технологической операции будет осуществляться согласно [9].

Норма времени на выполнение операции на станках с ЧПУ при работе на станке ($H_{вр}$) состоит из нормы подготовительно-заключительного времени ($T_{пз}$) и нормы штучного времени ($T_{шт}$) [9, стр.4-5].

$$H_{вр} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.50)$$

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{в} \cdot K_{в}) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}}{100}\right); \quad (2.51)$$

Где $T_{ца}$ – время цикла автоматической работы станка по программе рассчитывается согласно [9, стр.5, формула 1.3]:

$$T_{ца} = T_{о} + T_{мв}; \quad (2.52)$$

Где T_o - основное (технологическое) время автоматической работы станка считается по формуле согласно [9, стр.5, формула 1.4]:

$$T_o = \sum \frac{L_i}{S_i \cdot n_i} \cdot i; \quad (2.53)$$

где L_i – путь пройденный i -м инструментом на рабочей подаче, мм;

S_i - рабочая подача для i -го инструмента, мм/об;

n_i - рабочая частота вращения шпинделя, об/мин;

i – число проходов i -го инструмента;

$$T_{MB} = T_{BX} + T_{OCT} \quad (2.54)$$

Где T_{BX} - время на выполнение вспомогательных ходов;

T_{OCT} - время технологических пауз.

Траектории движения инструментов на рабочей и холостой подачи, расчет основного и машинно-вспомогательного времени представлены в таблице 12.

Определение времени, требующегося на холостые ходы и смену инструмента рассчитывается согласно [9, стр.5]

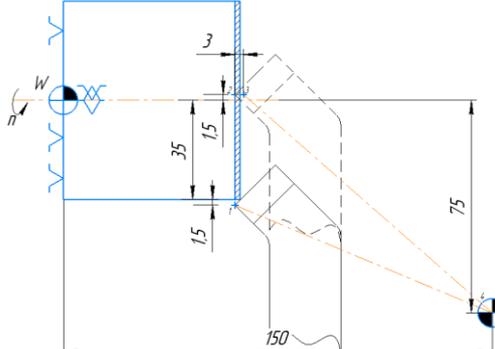
$$T_{BX} = \frac{\sum L_{xx}}{S_{xx}} \cdot i + T_{CM}; \quad (2.55)$$

где L_{xx} – путь пройденный i -м инструментом на холостом ходу, мм;

S_{xx} - скорость холостых ходов, мм/мин;

T_{CM} - время смены инструмента, мин; $T_{CM}=0,05$ мин.

Таблица 12 – Траектория движения инструмента и расчет T_o , T_{BX}

Схема	Номер перехода/ траектория	Расчетные формулы
	1.1/0-1-2-3-4	<p>Для T_o:</p> $T_o = \sum \frac{L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i}$ $T_o = \frac{(1,5 + 35 + 1,5 + 3) \cdot 1}{0,7 \cdot 107,8} = 0,54 \text{ мин}$ <p>Для T_{BX}:</p> $T_{BX} = \sum \frac{L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{CM}$ $T_{BX} = \frac{(97,7 + 116,2) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$

	<p>1.2/4-5-6-7-8</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{\sum S_i \cdot n_i} = \frac{(0,7 + 35 + 1 + 3) \cdot 1}{0,3 \cdot 212,5} = 0,62 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(97,7 + 116,2) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.3/8...26</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{\sum S_i \cdot n_i} = \frac{(2 + 16) \cdot 7 + 3}{1 \cdot 572} = 0,22 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(101 + 120 + 236) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,13 \text{ мин}$
	<p>1.4/26-27-28-29-30</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{\sum S_i \cdot n_i} = \frac{(1 + 16 + 1) \cdot 1}{0,45 \cdot 1516} = 0,03 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(108 + 123) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.5/31-32-31-33</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{\sum S_i \cdot n_i} = \frac{(6,2 + 56 + 56 + 2) \cdot 1}{0,49 \cdot 201,7} = 1,2 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(115 + 115) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.6/33-34-35-34-36</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{\sum S_i \cdot n_i} = \frac{(2 + 1 + 3) \cdot 1}{0,1 \cdot 1800} = 0,03 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(114 + 114) \cdot 1}{6000} + 0,00 = 0,04 \text{ мин}$

	<p>1.7/36-37-38-39-40</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i} = \frac{(1,5 + 35 + 1,5 + 3) \cdot 1}{0,7 \cdot 107,8} = 0,53 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см} = \frac{(97,7 + 116,2) \cdot 1}{6000} + 0,04 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.8/40-41-42-43-44</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i} = \frac{(0,7 + 35 + 1 + 3) \cdot 1}{0,3 \cdot 212,5} = 0,62 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см} = \frac{(97,7 + 116,2) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1,9/44...71</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i} = \frac{(2 + 6,5) \cdot 12 + 228,7}{0,35 \cdot 1800} = 0,53 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см} = \frac{(114 + 114) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.10/71-72-73-74-75</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i} = \frac{(2 + 6,5 + 9) \cdot 1}{0,1 \cdot 1800} = 0,10 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см} = \frac{(110 + 110) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.11/75-76-77-78-79-80</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \frac{\sum L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i} = \frac{(2 + 45 + 2 + 2) \cdot 1}{0,25 \cdot 1800} = 0,11 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \frac{\sum L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см} = \frac{(49 + 120,3 + 121) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,10 \text{ мин}$

	<p>1.17/99-100-101-102</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \sum \frac{L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i}$ $T_o = \frac{(2 + 37 + 2) \cdot 1}{0,1 \cdot 1800} = 0,23 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \sum \frac{L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(141,7 + 103) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.18/102...1 57</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \sum \frac{L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i}$ $T_o = \frac{(25) \cdot 8}{0,1 \cdot 864} = 2,3 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \sum \frac{L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(136,4 + 109) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$
	<p>1.19/102...1 57</p>	<p>Для T_o:</p> $T_o = \sum \frac{L_i \cdot i}{S_i \cdot n_i}$ $T_o = \frac{(32) \cdot 8}{0,05 \cdot 1500} = 3,41 \text{ мин}$ <p>Для $T_{вх}$:</p> $T_{вх} = \sum \frac{L_{xx} \cdot i}{S_{xx}} + T_{см}$ $T_{вх} = \frac{(136,4 + 109) \cdot 1}{6000} + 0,05 = 0,09 \text{ мин}$

$$T_{ост} = 0,66 \text{ мин};$$

Согласно формуле 2.54 получаем:

$$T_{мв} = (0,09 \cdot 15 + 0,04 + 0,04 + 0,10 + 0,13) + 0,66 = 2,32 \text{ мин}$$

Тогда, согласно формуле 2.52:

$$T_{ца} = (0,54 + 0,62 + 0,22 + 0,03 + 1,2 + 0,03 + 0,53 + 0,62 + 0,53 + 0,10 + 0,11 + 0,35 + 0,57 + 0,03 + 0,08 + 0,09 + 0,23 + 2,3 + 3,41) + 2,32 = 13,91 \text{ мин}$$

Расчет времени вспомогательной ручной работы T_B [9, стр.5, формула 1.5]:

$$T_B = T_{вУ} + T_{вИ} + T_{вО}; \quad (2.56)$$

$T_{\text{вУ}}$ – вспомогательное время на снятие и установку детали;

$T_{\text{вУ}}$ рассчитывается согласно [10, стр.25, карта 3]

$$T_{\text{вУ}} = 2,2 \text{ мин};$$

$T_{\text{вО}}$ – вспомогательное время, связанное с выполнением операции, согласно [9, стр.79, карта 14];

$$T_{\text{вО}} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,50 \text{ мин}$$

$T_{\text{вИ}}$ – вспомогательное неперекрываемое время на контрольные измерения, [10, стр.39, карта 8];

$$T_{\text{вИ}} = 6,5 \text{ мин}$$

$$T_{\text{в}} = 2,2 + 0,50 + 6,5 = 9,2 \text{ мин}$$

$a_{\text{тех}}$ – время, необходимое на техническое обслуживание, % от $T_{\text{опер}}$;

$a_{\text{орг}}$ – время, необходимое на орг.обслуживание, % от $T_{\text{опер}}$;

$a_{\text{отл}}$ – время, необходимое на отдых и личные потребности, % от $T_{\text{опер}}$.

Оперативное время необходимое на изготовление детали:

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{ца}} + T_{\text{в}}; \quad (2.57)$$

$$T_{\text{опер}} = 13,91 + 9,2 = 23,11 \text{ мин}$$

Время на техническое, организационное обслуживание рабочего места, на отдых и личные потребности составляет [9, стр.90, карта 14];

$$a_{\text{тех}} = a_{\text{орг}} = a_{\text{отл}} = T_{\text{опер}} \cdot 7\%; \quad (2.58)$$

$$a_{\text{тех}} = a_{\text{орг}} = a_{\text{отл}} = 1,62 \text{ мин}$$

$K_{\text{в}}$ – поправочный коэффициент на вспомогательное время в зависимости от размера партии и серийности [9, стр.50, карта 1], $K_{\text{в}} = 1,32$.

Штучное время:

$$T_{\text{шт}} = (13,91 + 9,2 \cdot 1,32) \cdot \left(1 + \frac{1,62+1,62+1,62}{100}\right) = 27,3 \text{ мин}$$

$T_{\text{пз}}$ – подготовительно- заключительное время, [9, стр.96, карта 21]:

$$T_{\text{пз}} = 4 + 3 + 2 + 0,25 + (1,5 \cdot 8) + 1 + 3,5 + 0,4 = 26,15$$

n – количество деталей в партии, $n=6$ шт.

Тогда норма времени согласно формуле 2.50:

$$N_{вр} = 27,3 + \frac{26,15}{6} = 31,66 \text{ мин}$$

2.8 Выбор режущего инструмента

Режущий инструмент и материал режущей части для токарной операции с ЧПУ выбираем принимая во внимание следующие моменты:

- Тип обрабатываемой поверхности;
- Форма и расположение обрабатываемых поверхностей;
- Возможность получения заданной точности формы и размеров;
- Характер обработки;
- Высокую стойкость и производительность.

Выбранный режущий инструмент указан в таблице 13.

Таблица 13 – Подобранный режущий инструмент

№ перехода	Режущий инструмент	Материал режущей части	Сечение резца, hxb, мм
1,6,7,14,15	Резец проходной отогнутый 2102-1117 Т5К10 ГОСТ 18877-73	Твердосплавная пластина 61152 по ГОСТ 25395-90	25x25
2,8,16,17	Резец проходной отогнутый 2102-1117 Т5К10 ГОСТ 18877-73	Твердосплавная пластина 61152 по ГОСТ 25395-90	25x25
3	Резец проходной упорный 2103-1131 Т15К6 ГОСТ 18879-73	Твердосплавная пластина 67330 по ГОСТ 25426-90	25x25
4	Резец проходной упорный 2103-1131 Т15К6 ГОСТ 18879-73	Твердосплавная пластина 67330 по ГОСТ 25426-90	25x25
5	Сверло 2300-0249 ГОСТ 10902-77	Р6М5	Ø21,2
9,11	Резец расточной 2145-0652 Т15К6 ГОСТ 25987-83	Твердосплавная пластина 10712 по ГОСТ 25396-90	Ø25
10,12,13	Резец расточной 2145-0652 Т15К6 ГОСТ 25987-83	Твердосплавная пластина 10712 по ГОСТ 25396-90	Ø25
18,19	Резец 2130-0391 ГОСТ 18874-73	Твердосплавная пластина MAGR 3 100 1025	25x16

2.9 Выбор средств технического контроля

Для контроля размеров, полученных в ходе технологической операции необходимо использовать следующий мерительный инструмент:

1. $L = 37_{-0,25}^{+0}$ мм, $L = 53_{-0,21}^{+0}$ мм, $L = 2,65$ мм, $L = 6,5$ мм – штангенциркуль цифровой – ШЦЦ-I-125 0,01 ГОСТ 166-89;
2. Наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 65_{-0,046}^{+0}$ мм – микрометр МР 50 0,002 ГОСТ 4381-87;
3. Внутренняя цилиндрическая поверхность $\varnothing 22_0^{+0,02}$ – Нутромер НИ 18-50-1 ГОСТ 868-82

2.10 Расчет приспособления

На данной технологической операции заготовка будет базироваться в трехкулачковый самоцентрирующий патрон.

По данным, полученных в ходе расчета режимов резания, наибольшая сила резания P_z возникает при подрезки торца $A_{1.1}$. Расчет усилия зажима, приходящегося на один кулачек, трехкулачкового самоцентрирующего патрона сделаем согласно [11, стр.155]. Расчетная схема усилия зажима заготовки приведена на рисунке 28.

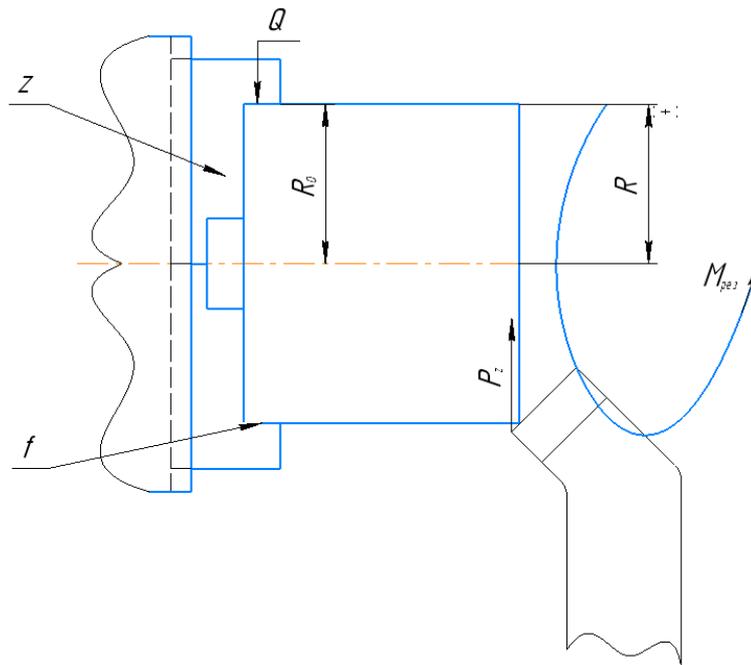


Рисунок 28 – Расчетная схема усилия зажима заготовки

Расчет усилия приходящегося на один кулачек рассчитывается согласно [11, стр.155, формула 83]:

$$Q = \frac{P_z \cdot K \cdot R_0}{f \cdot R \cdot z}; \quad (2.59)$$

где P_z – сила резания, Н; K – коэффициент запаса (1,0); R_0 – радиус резания, м; f – коэффициент резания на поверхности заготовки; R – радиус закрепления заготовки, м; z – количество кулачков.

На данной операции по подрезке торца выберем кулачки с гладкой поверхностью, коэффициент трения f составляет 0,2.

Наибольшая сила резания, согласно пункту 2.5 $P_z = 3091$ Н;

радиус резания $R_0 = 35$ мм;

радиус закрепления заготовки $R = 35$ мм;

количество кулачков $z = 3$;

Тогда:

$$Q = \frac{3091 \cdot 1 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 3} = 5151 \text{ Н}$$

Усилие в 5151 Н необходимо обеспечить на каждом кулачке для закрепления заготовки на данной технологической операции.

Заключение

В результате выполнения технологической части разработан технологический процесс изготовления детали «шків» для мелкосерийного производства. В процессе разработки технологического процесса была проведена оценка технологичности детали, осуществлен выбор и обоснование заготовки, проведен размерный анализ, назначены минимальные припуски на обработку отверстия. Провели расчет режимов резания для черновой обработки на все виды поверхностей. Исходя из расчета режимов резания, осуществили выбор оборудования. Выбрали режущий инструмент и оснастку для заданной технологической операции. Провели расчет силы зажима заготовки в трехкулачковом

самоцентрирующемся патроне для заданной технологической операции. Осуществили нормирование технологической операции. Составлены расчетно-технологическая карта, операционная карта, карта эскизов на технологическую токарную операцию с ЧПУ.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа 4A8B	ФИО Курпиеву Максиму Александровичу		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Отделение машиностроения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (ПР): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</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. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (ПР)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (ПР)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (ПР)</i>	Расчет бюджетной стоимости проектной разработки.
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (ПР)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4A8B	Курпиев Максим Александрович		28.02.22

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность исследования, провести финансовую и коммерческую оценку ценности конечного продукта, представленного в рамках ВКР.

Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет цена и бюджет НИ, какое время будет необходимо для продвижения продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование проектной разработки;
- Расчет бюджета проектной разработки;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель ВКР – анализ технических средств вибрационного контроля состояния подшипников качения, разработка конструкторской и технологической документации проектируемого стенда.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены два типа исполнительных механизмов радиального и осевого нагружения.

1) Механический тип исполнительного механизма радиального и осевого нагружения;

2) Гидравлический тип исполнительного механизма радиального и осевого нагружения.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип исполнительного механизма имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 14 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного проекта с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 14 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,02	2	2	1	0,04	0,04	0,02
2. Максимальное создаваемое усилие	0,2	4	5	2	0,80	1,00	0,40
3. Габаритность	0,18	4	2	5	0,72	0,36	0,90
4. Ремонтпригодность	0,16	4	4	5	0,64	0,64	0,80
5. Простота изготовления	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
6. Эффективность работы	0,08	5	5	3	0,40	0,40	0,24
7. Безопасность	0,08	3	3	5	0,24	0,24	0,40
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Послепродажное обслуживание	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	3	3	5	0,18	0,18	0,30
3. Уровень проникновения на рынок	0,02	4	4	1	0,08	0,08	0,02
Итого	1	37	36	35	3,90	3,74	3,82

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

Где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

3.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Высокая вибродиагностическая точность.	Сл1. Жесткие требования к габаритам установки.
С2. Сборно-разборный тип основания.	Сл2. Высокие требования к точности, при увеличении диапазона размеров подшипника.
С3. Возможность использования ПУ в разных положениях.	Сл3. Трудоёмкость монтажа пневматических трубок.
С4. Увеличенный диапазон диагностируемых подшипников.	Сл4. Необходимость применения кран балки для установки подшипников.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Сложная конструкция кожуха, для установки экрана ПУ.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии и последующее использование в вибродиагностической области.	У3. Санкции в отношении импортных комплектующих.
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 16–19.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	V1	+	-	-	-	-
	V2	+	+	+	-	-
	V3	+	-	0	+	-
	V4	+	+	+	+	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	-	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	+	-	-	+
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	+	+	+	+	-
	У3	+	+	-	-	-

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 20.

Таблица 20 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Высокая вибродиагностическая точность.</p> <p>С2. Сборно-разборный тип основания.</p> <p>С3. Возможность использования ПУ в разных положениях.</p> <p>С4. Увеличенный диапазон диагностируемых подшипников.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Жесткие требования к габаритам установки.</p> <p>Сл2. Высокие требования к точности, при увеличении диапазона размеров подшипника.</p> <p>Сл3. Трудоёмкость монтажа пневматических трубок.</p> <p>Сл4. Необходимость применения кран балки для установки подшипников.</p> <p>Сл5. Сложная конструкция кожуха, для установки экрана ПУ.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение технологии и последующее использование в вибродиагностической области. В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p>	<p>Направления развития В1С1. Высокую вибродиагностическую точность можно получить за счет новейшего оборудования, позволяющего моделировать процесс диагностики и ловить возникающие отклонения до непосредственного испытания. В2С1С2С3. Введение новых или усовершенствованных технологий, таких как возможность использования ПУ в разных положениях, сборно-разборный тип основания и точная вибродиагностика, даёт толчок для витка новых разработок в этой сфере. В3С1С4. Внедрение технологии, позволяющее с большой точностью диагностировать подшипники, и технологии, которая позволяет увеличить диапазон измеряемых подшипников, даёт толчок для использования в вибродиагностической отрасли. В4С1С2С3С4. Все выше описанные факторы являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.</p>	<p>Сдерживающие факторы В3Сл2Сл5. Внедрение технологий, позволяющих увеличить диапазон размеров измеряемых подшипников, сказывается на точности вибродиагностики. Вибродиагностическая область на данном этапе не располагает технологиями проектирования кожуха с встроеным ПУ.</p>
<p>Угрозы У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок. У3. Санкции в отношении импортных комплектующих.</p>	<p>Угрозы развития У1У3С1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов и санкций в отношении импортных комплектующих, разрабатываемый стенд обладает лучшими техническими и конструкционными характеристиками и имеет возможность заменить комплектующие на отечественные. У2С1С2С3С4. Разрабатываемый стенд обладает тем набором качеств, который способен заменить зарубежные аналоги.</p>	<p>Уязвимости: У2Сл5. Сложная конструкция кожуха может быть непонятна зарубежным клиентам, за счет чего зарубежные аналоги будут предпочтительнее.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей разработке проектируемого стенда.

3.2 Планирование проекта по разработке установки

3.2.1 Структура работ в рамках проекта

Планирование комплекса проектных работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках проекта;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных разработки.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной проектной работы, приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по теме НИР	Инженер
	4	Проведение патентных исследований	Инженер
	5	Выбор направления исследований	Инженер, научный руководитель
Теоретические исследования	6	Сравнительный анализ аналогов разрабатываемого решения	Инженер
	7	Конструктивный анализ прототипа разрабатываемого решения	Инженер
	8	Анализ достоинств и недостатков прототипа разрабатываемого	Инженер

		решения	
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка конструктивных и технологических решений	9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
	10	Описание принципа работы	Инженер
	11	Проведение кинематических расчетов	Инженер
	12	Подбор элементной базы	Инженер
	13	Разработка конструктивного решения	Инженер, научный руководитель
	14	Проведение проектировочных расчетов	Инженер
	15	Визуализация разработанного изделия	Инженер, научный руководитель
	16	Расчет конструкции узлов на прочность и жесткость.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	17	Обработка полученных данных	Инженер
	18	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	19	Составление пояснительной записки, разработки габаритного чертежа, чертежа общего вида и сборочного чертежа	Инженер

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении разработки стенда основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (3.2)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (3.4):

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3.4)$$

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (3.5)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения проекта обобщены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные показатели проведения проектной разработки

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	5	-	3,2	-	3,2	5
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	2	3	3	1,8	2,4	2,1	3
3. Подбор и изучение материалов по теме ВКР	-	8	-	11	-	9,2	9,2	14
4. Проведение патентных исследований	-	1	-	3	-	1,8	1,8	3
5. Выбор направления исследований	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Сравнительный анализ аналогов разрабатываемого решения	-	2	-	4	-	2,8	2,8	4
7. Конструктивный анализ прототипа разрабатываемого решения	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
8. Анализ достоинств и недостатков прототипа разрабатываемого решения	-	2	-	4	-	2,8	2,8	4
9. Разработка принципиальной схемы	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
10. Описание принципа работы	-	1	-	3	-	1,8	1,8	3
11. Проведение кинематических расчетов	-	4	-	7	-	5,2	5,2	8
12. Подбор элементной базы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11

13. Разработка конструктивного решения	6	12	10	16	7,6	13,6	10,6	16
14. Проведение проектировочных расчетов	-	8	-	12	-	9,6	9,6	14
15. Визуализация разработанного изделия	3	8	5	13	3,8	10	6,9	10
16. Расчет конструкции узлов на прочность и жесткость	-	4	-	6	-	4,8	4,8	7
17. Обработка полученных данных	-	8	-	12	-	9,6	9,6	14
18. Оценка правильности полученных результатов	3	5	5	8	3,8	6,2	5	7
19. Составление пояснительной записки, разработки габаритного чертежа, чертежа общего вида и сборочного чертежа	-	10	-	16	-	12,4	12,4	18
Итого:	17	93	32	146	23	114,2	107,8	160

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план -график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 23).

Таблица 23 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ																	
				декабрь			январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	5	█																	
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	3	█																	
3	Подбор и изучение материалов по теме ВКР	Исп2	14		█																
4	Проведение патентных исследований	Исп2	3			█															

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ																		
				декабрь			январь			февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
5	Выбор направления исследований	Исп1 Исп2	7																			
6	Сравнительный анализ аналогов разрабатываемого решения	Исп2	4																			
7	Конструктивный анализ прототипа разрабатываемого решения	Исп2	6																			
8	Анализ достоинств и недостатков прототипа разрабатываемого решения	Исп2	4																			
9	Разработка принципиальной схемы	Исп1 Исп2	6																			
10	Составление пояснительной записки	Исп2	3																			
11	Проведение кинематических расчетов	Исп2	8																			
12	Подбор элементной базы	Исп2	11																			
13	Разработка конструктивного решения	Исп1 Исп2	16																			
14	Проведение проектировочных расчетов	Исп2	14																			
15	Визуализация разработанного изделия	Исп1 Исп2	10																			
16	Расчет конструкции узлов на прочность и жесткость	Исп2	7																			
17	Обработка полученных данных	Исп2	14																			
18	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	7																			
19	Составление пояснительной записки, разработки габаритного чертежа, чертежа общего вида и сборочного чертежа	Исп2	18																			

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

3.3 Бюджет проектной разработки

При планировании бюджета проекта учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты, необходимые для получения готовой установки;
- 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.

3.3.1 Расчет материальных затрат проекта

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затраты всех материалов, используемых при получении стенда, закупку комплектующих. Результаты расчета затрат представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Затраты на получение готового образца установки

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Виброопора LW.A	шт.	6	956	5736
Электродвигатель Siemens 1LA9	шт.	1	4780	4780
Пневмоцилиндр SMC - CP96SDB100-200C	шт.	1	41940	41940
Пневмоцилиндр SMC - CP96SDB100-150C	шт.	1	36245	36245
Модуль подготовки сжатого воздуха SMC AC40B-B	шт.	1	19650	19650
Каркас основания	шт.	1	24870	24870

Модуль управления MBS-FC01	шт.	1	66000	66000
Итого:				199221

3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ - Acer. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года. Затраты на оборудование представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	Амортизация, руб.
1	ПЭВМ Acer Nitro 5	1	3	65	65	10725
2	Принтер HP LaserJet Pro M203dn	1	3	14,6	14,6	2409
3	Второй монитор LG 24МК430Н	1	3	16,5	16,5	2723
Итого		96,1 тыс. руб.				15857

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3.6)$$

где n – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot t, \quad (3.7)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Для ноутбука:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 65000}{12} \cdot 6 = 10725 \text{ руб.};$$

Для принтера:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 14600}{12} \cdot 6 = 2409 \text{ руб.};$$

Для монитора:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 16500}{12} \cdot 6 = 2723 \text{ руб.};$$

3.3.3 Основная заработная плата 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. Результаты расчета занесены в таблицы 26 и 27.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (3.8)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 22).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (3.9)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (3.10)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (3.11)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (3.12)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – 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 26 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 27 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	k_{np}	k_{δ}	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{\delta n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	23	49387,9
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	114,2	199518,8
Итого:								248906,7

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 49387,9 = 7408,2 \text{ руб.}, \quad (3.13)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 199518,8 = 29927,8 \text{ руб.}, \quad (3.14)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (3.15)$$

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (49387,9 + 7408,2) = 17038,8 \text{ руб.},$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot (199518,8 + 29927,8) = 68834 \text{ руб.},$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов. Группировка затрат по статьям указана в таблице 28.

Таблица 28 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
15857	199221	248906,7	37336	85872,8	587193,5

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр}, \quad (3.16)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости проекта «Разработка стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения» по форме, приведенной в таблице 29. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих видах возможного исполнения установки.

Таблица 29 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты проекта	199221	172465	397847	Пункт 3.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	15857	15857	15857	Пункт 3.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	248906,7	248906,7	248906,7	Пункт 3.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	37336	37336	37336	Пункт 3.2.3.3

5	Отчисления во внебюджетные фонды	85872,8	85872,8	85872,8	Пункт 3.2.3.4
6	Накладные расходы	93951	89670	125731	Пункт 3.2.3.5
Бюджет затрат		681144,5	650107,5	911550,5	Сумма ст. 1- 6

3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности разработки рассчитан интегральный показатель эффективности проекта путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности проекта получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения стенда. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данного проекта рассмотрены:

- 1) Стенд для вибрационного контроля подшипников качения с механическим модулем радиального и осевого нагружения;
- 2) Стенд для вибрационного контроля подшипников качения с гидравлическим модулем радиального и осевого нагружения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 681144,5$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 650107,5$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 911550,5$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{681144,5}{911550,5} = 0,75;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{650107,5}{911550,5} = 0,71;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{911550,5}{911550,5} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки, вариант 1, который разрабатывается в ВКР, наиболее приближен к наименьшему варианту исполнения 2.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 30).

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,1	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	5	4	4
3. Технические характеристики	0,4	5	3	3
4. Механические свойства	0,2	5	4	5
5. Материалоёмкость	0,1	5	3	3
ИТОГО	1	4,9	3,7	3,3

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,4 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,9;$$

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,7;$$

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 = 3,3.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (3.18)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,9}{0,75} = 6,5; \quad I_{исп.2} = \frac{3,7}{0,71} = 5,2; \quad I_{исп.3} = \frac{3,3}{1} = 3,3;$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта проекта сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 31).

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,71	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,9	3,7	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	6,5	5,2	3,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,8	0,51

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации проекта как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество

календарных дней для выполнения работ составляет 160 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, составляет 169 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, составляет 34 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 681144,5 руб;

4. Результат оценки эффективности ПР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ПР составляет 0,75, что является показателем того, что ПР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ПР составляет 4,9, по сравнению с 3,7 и 3,3;

3) значение интегрального показателя эффективности ПР составляет 6,5, по сравнению с 5,2 и 3,3, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ПР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 4А8В		ФИО Курпиеву Максиму Александровичу	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение машиностроения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Разработка стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации 	<p>Объект исследования – технические средства, предназначенные для вибрационного контроля состояния подшипников качения</p> <p>Область применения – вибрационная диагностика подшипников качения</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение</p> <p>Размеры помещения: участок входного контроля качества подшипников качения имеет следующие габаритные размеры помещения 8x10м, h = 4м</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: Стенд для вибрационного контроля состояния подшипников 2шт., волоконный маркировочный лазер FL2030 1шт.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: визуальный и вибрационный контроль подшипников качения.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <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 12.2.049-80. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования; - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; - ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования; - Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021); - ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования; - ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума; - недостаток естественного и искусственного освещения; - нервно-психические перегрузки; - аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего; <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оборудование, работающее под давлением выше атмосферного; <p>Коллективная защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нормализация источников света; - глушители шума;

	<ul style="list-style-type: none"> - предохранительные устройства; - оградительные средства защиты; Индивидуальная защита: - специальная защитная одежда; - средства защиты глаз; - средства защиты рук; - средства защиты ног; - средства защиты органов слуха.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: санитарно-защитная зона;</p> <p>Воздействие на литосферу: промышленные отходы;</p> <p>Воздействие на гидросферу: сточные воды, мусор, нефтехимические отходы;</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы газа, дымов, аэрозолей и пыли.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС: обрушение здания, пожар, наводнение, взрыв.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4А8В	Курпиев Максим Александрович		28.02.2022

4. Социальная ответственность

Введение

Предметом исследования ВКР является стенд для вибрационного контроля состояния подшипников качения. Данное оборудование необходимо для того, чтобы проверять подшипники качения на пригодность к использованию. В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с рабочим местом оператора стенда, разработкой мероприятий, направленных на обеспечения производственной безопасности и сохранения здоровья оператора.

В качестве помещения, в котором будет находиться стенд, принята лаборатория, либо по-другому её называют участок входного контроля качества подшипников качения. Помещение имеет следующие габаритные размеры: 8x10м, h = 4м. Помимо стенда в помещении будет находиться иное оборудование, связанное с направленностью проекта. Задачами оператора является визуально и с помощью стенда проводить контроль и диагностику подшипников качения.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации

Основные правовые гарантии в части обеспечения производственной безопасности регламентирует Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N197-ФЗ(ред. от 25.02.2022)[13]. Трудовой Кодекс РФ устанавливает права и обязанности работника и работодателя, регулирует вопросы охраны труда, профессиональной подготовки и переподготовки, повышения квалификации, трудоустройства. Закрепляются правила оплаты и нормирования труда, порядок разрешения трудовых споров.

Применительно к теме ВКР, оператор стенда вибрационного контроля состояния подшипников качения, у которого рабочая зона ограничена лабораторным помещением, будет иметь следующие трудовые нормы:

- Согласно ст.14 Федеральному закону от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020) "О специальной оценке условий труда"[14], 2 класс по степени вредности, т.е. иметь допустимые условия труда. Исходя из вышесказанного и то, что данная должность рабочего не попадает под ст.92 и ст.94 ТК РФ, то согласно ст.91 нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

- Согласно ст.99 ТК РФ работнику может назначаться сверхурочная работа с его письменного согласия, но в некоторых случаях согласие не требуется, например при производстве работ, необходимых для предотвращения катастроф, при введении чрезвычайного или военного положения и т.п.. Продолжительность сверхурочной работы не должна превышать для каждого работника 4 часов в течение двух дней подряд и 120 часов в год.

- Согласно ст. 114 и ст. 115 ТК РФ работникам предоставляются ежегодные отпуска с сохранением места работы (должности) и среднего заработка. Ежегодный основной оплачиваемый отпуск равен 28 календарных дней.

- Согласно ст. 132 ТК РФ заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных ТК РФ.

Кроме трудового кодекса РФ на производстве действуют различные ГОСТы, СанПиНы и СП. Перечисленные нормативные документы необходимы для обеспечения безопасности и здоровья работников, а также создания комфортной среды на производстве. Рабочее место оператора должно соответствовать следующим эргономическим требованиям:

- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования[15]. Согласно данному ГОСТу, зона досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскости не должна превышать 450 мм и 700 мм соответственно;

- ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования [16]. Согласно данному ГОСТу, зона досягаемости моторного поля в вертикальной и горизонтальной плоскости не должна превышать 600 мм и 800 мм соответственно;
- ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования[17]. Согласно данному ГОСТу, органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования[18]. Согласно данному ГОСТу, Пульты управления для работы в положении сидя должны иметь пространство для ног оператора с размерами, мм, не менее: 600 - по высоте, 400 - по глубине (на уровне колен), 600 - по глубине, 500 - по ширине.

Данные требования обязан соблюдать работодатель, согласно ст.214 «Обязанности работодателя в области охраны труда» ТК РФ.

4.2 Производственная безопасность

В рамках ВКР, при анализе вредных и опасных производственных факторов, необходимо выявить факторы, которые могут возникнуть при эксплуатации стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения. Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация[19]. Перечень опасных и вредных факторов представлен в таблице 32.

Таблица 32 - Возможные вредные и опасные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума;	ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности».[20]
2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения;	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.[21]

3. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.[22]
4. Нервно-психические перегрузки;	Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.[23]
5. Оборудование, работающее под давлением выше атмосферного;	ФНП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» от 31.12.2020г.[24]

1. Повышенный уровень шума

В ходе эксплуатации стенда для вибрационного контроля состояния подшипников качения возникает характерный шум. Этот шум связан с работой шпиндельного узла, который необходим для вращения внутренней обоймы подшипника. Также высокая интенсивность шума возникает от работы пневмоаппаратуры, необходимо для осевого и радиального нагружения подшипника.

Шум как негативный фактор раздражающе влияет на работника, уменьшает сосредоточенность, увеличивает утомляемость, приводит к росту ошибок и увеличивает общее время выполнения поставленных задач. Длинное воздействие шума вызывает тугоухость, при чрезмерном шуме может повлечь полную глухоту работника. Резкие шумы, даже кратковременные, вызывают острые нейросенсорные эффекты, такие как звон в ушах, головокружение.

Согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума[25]. В помещениях лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещениях для измерительных и аналитических работ, предельно допустимый октавный уровень звукового давления не должен превышать 75 дБ.

Выбор мероприятий по уменьшению негативного воздействия шума на человека проводится исходя из конкретных условий: величины превышения предельно допустимого уровня, характера спектра, источника

излучения. Средства защиты работников от шума подразделяются на средства коллективной и индивидуальной защиты. К средствам коллективной защиты относятся:

- уменьшение шума в источнике;
- изменение направленности излучения шума;
- рациональная планировка предприятия и цехов;
- акустическая обработка помещений;
- уменьшение шума на пути его распространения от источника к рабочему месту (звукоизоляция, глушители).

Если применение вышеперечисленных средств не помогает уменьшить воздействие шума, то применяют СИЗ, к которым относятся вкладыши, наушники, шлемы. Вкладыши – самое дешевое средство, но не достаточно эффективное (снижение шума $5\div 20$ дБ). Они вставляются в наружный слуховой проход и представляют собой различного рода заглушки из волокнистых материалов. Наушники представляют собой чашки из пластмассы или металла, заполненные звукопоглотителем. Степень глушения наушниками на высоких частотах составляет $20\div 38$ дБ.

2. Отсутствие или недостаток необходимого естественного и искусственного освещения

Уровень освещенности рабочего пространства оказывает влияние на нервно-психические функции и физиологические процессы в организме человека. Правильно спроектированное освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, уменьшает вероятность возникновения происшествий, повышает работоспособность.

Основываясь на статистике, при различных видах производственных работ число несчастных случаев, связанных с неудовлетворительным освещением, составляет 30-50% от общего количества. При зрительной работе, не требующей высокой точности, около 1,5% травм со смертельным исходом происходит по причине плохого освещения. Прямая блескость может привести к травме, как за счет слепящего действия, так и в результате

воздействия неравномерности распределения яркости в поле зрения, также приводит к зрительному утомлению и как следствие увеличению брака. Повышенные пульсации освещенности при наличии движущихся и особенно вращающихся деталей могут быть опасными из-за возникновения стробоскопического эффекта. Ослепленность отрицательно сказывается на состоянии центральной нервной системы даже при неутомленном органе зрения – снижает активность работы мозга.

Освещенность рабочего места нормируется согласно СНиП 23-05-95. В помещении присутствует два типа освещения – искусственное (лампа освещения) и естественное (солнечный свет). Все требования, которые предъявляются к лаборатории, где будет эксплуатироваться стенд представлены ниже:

- Характеристика зрительной работы – малой точности;
 - Разряд зрительной работы – V;
 - Подразряд зрительной работы – B;
 - Искусственное освещение - освещенность, лк:
 - При системе комбинированного освещения – нет ограничений;
 - При системе общего освещения – 200;
 - Нормируемая величина показателя ослеплённости P – 40;
 - Коэффициент пульсации $K_{п}$, % - 20;
 - КЕО e_n при естественном освещении, % :
 - При верхнем или комбинированном освещении – 3;
 - При боковом освещении – 1;
 - КЕО e_n при совмещенном освещении, % :
 - При верхнем или комбинированном освещении – 1,8;
 - При боковом освещении – 0,6
3. Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды

В помещении, где будет находиться стенд, преобладает высокая температура окружающей среды за счет работающего оборудования, повышенная влажность и обильное тепловое облучение.

Показателями микроклимата являются температура, относительная влажность, скорость движения воздуха и интенсивность теплового облучения. Каждый из этих факторов влияет на общее самочувствие рабочего, его производительность и теплообмен с окружающей средой. Например, тепловое излучение, недостаточная влажность воздуха могут привести к ухудшению работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем, к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек глаз, что в следствии приводит к их пересыханию, а затем и заражению болезнетворными микробами. Оптимальные условия микроклимата создают предпосылки для повышения работоспособности, сохраняют здоровье человека, делают более эффективным использование рабочего времени, продлевают период активной трудовой деятельности работника.

Оператору стенда, согласно ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, характерна физическая работа средней тяжести, категории Пб - энергзатраты от 201 до 250 ккал/ч (233-290 Вт). К этой категории относится работа сопровождающаяся с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата указаны в таблице 33.

Таблица 33 - Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
Холодный	Средней тяжести Пб	17-19	15-21	40-60	75	0,2	0,4

Тёплый	Средней тяжести Шб	20-22	16-27	40-60	70 (при 25С°)	0,3	0,2-0,5
--------	-----------------------	-------	-------	-------	------------------	-----	---------

Снижение неблагоприятного воздействия микроклимата достигается использованием технологических, санитарно-технических и медико-профилактических мероприятий. К технологическим можно отнести замену старого оборудования, автоматизацию и механизацию процессов. К санитарно-техническим можно отнести покрытие нагреваемых поверхностей, наладка устройства вентиляционных систем. К медико-профилактическим мероприятиям относятся: организация рационального режима труда и отдыха, обеспечение питьевого режима и др.

4. Нервно-психические перегрузки

Нервно-психическая усталость свойственна операторам диагностического оборудования, монотонность процессов, давление со стороны важности соблюдения инструкций, всё это сказывается на результате.

Чрезмерная напряженность трудовой деятельности ведёт к стрессам, нервным срывам, депрессиям и к другим психическим и психосоматическим болезням, производственным конфликтам, а также снижением качества продукции, авариям, инцидентам и несчастным случаям на производстве из-за утомления, перенапряжения, неадекватного восприятия информации.

К видам нагрузок трудового процесса относят интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные, монотонные, режимные нагрузки. Проведём анализ напряженности трудового процесса согласно Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. По результатам анализа необходимо присвоить класс условий труда. Анализ условий труда по показателям напряженности приведен в таблице 34.

Таблица 34 - Классы условий труда по показателям напряженности трудового процесса

Показатели напряженности трудового процесса	Класс условий труда			
	Оптимальный	Допустимый	Вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
			1 степени	2 степени
1	2	3.1	3.2	
Интеллектуальные нагрузки, шт	0	3	1	0
Сенсорные нагрузки, шт	6	1	1	0
Эмоциональные нагрузки, шт	3	1	0	0
Монотонные нагрузки, шт	1	3	0	0
Режимные нагрузки, шт	2	1	0	0
Итого, шт	12	9	2	0

"Допустимый" (2 класс) устанавливается в следующих случаях:

- когда 6 и более показателей отнесены ко 2 классу, а остальные – к 1 классу;
- когда от 1 до 5 показателей отнесены к 3.1 и/или 3.2 степеням вредности, а остальные показатели имеют оценку 1-го и/или 2-го классов.

Соответственно делаем вывод, что нервно-психическая перегрузка оператора находится в нормах, соответствующих классу условий труда – допустимый. Рекомендуется обратить внимания на показатели, относящиеся к вредным условиям труда, не допускать увеличение показателей, относящихся к 1 и 2 степени напряженного труда.

5. Оборудование, работающее под давлением выше атмосферного

Так как в стенде присутствует пневмоаппаратура, то оператору стоит с внимание относится к соблюдению ТБ при непосредственном в выполнении

поставленных задач. Модули осевого и радиального нагружения работают при давлении $P < 1$ МПа.

При разгерметизации баллонов, работающих под давлением, довольно часто могут возникнуть взрыв или пожар, в зависимости от того, какое вещество находится в баллоне. Согласно ФНП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» от 31.12.2020г. необходимо соблюдать следующие меры безопасности при работе на оборудование с давлением выше атмосферного:

- Газовые баллоны необходимо хранить в вертикальном положении в проветриваемом помещении или под навесами. Их следует защищать от действия прямых солнечных лучей и осадков. Баллоны не должны храниться на расстоянии менее 1 м от радиаторов отопления и ближе 5 м от открытого огня;

- Эксплуатировать можно только исправные баллоны. Установленный баллон должен быть надежно защищен от воздействия открытого огня, теплового излучения и прямых солнечных лучей.

4.3 Экологическая безопасность

В ходе диагностирования и последующей оценки состояния подшипников стенд нельзя назвать загрязняющим экологию, так как во время работы не происходит выделения в окружающую среду вредных примесей, во время работы стенда не образуются отходы производства. Что не скажешь о факторах, которые загрязняют экологию во время изготовления самого стенда. Одним из явных загрязняющим экологию факторов можно назвать покраску корпуса стенда ЛКП. ЛКМ - сложные многокомпонентные системы, содержащие пленкообразователи, пигменты, наполнители и др. Значительной составляющей большинства ЛКМ являются органические растворители. В качестве пигментов, как правило, используют неорганические соединения: оксиды, соли тяжелых металлов. При нанесении

ЛКМ в окрасочных камерах образуются твердые, пастообразные и жидкие отходы, пары растворителей и вода, насыщенная растворителями.

Защита селитебной зоны. Одним из факторов правильного нанесения ЛКП является лакокрасочная камера, необходимая для защиты иных производственных помещений, где находятся люди, не имеющие СИЗ, также покрасочная камера ограничивает выброс большей части летучий органических веществ и тяжелых металлов.

Защита атмосферы. Как и было оговорено ранее, из-за того, что в состав ЛКМ входят растворители, при нанесение краски на материал образуются летучие органические вещества и тяжелые металлы, такие как: свинец, цинк, хром, изоцианаты, кетоны, спирты, эфиры, формальдегид, жирные кислоты и другие соединения, выделяющиеся при сушке ЛКМ. С учетом мирового потребления ЛКМ суммарный выброс органических растворителей в атмосферу достигает 12-18 млн. т/год. Для очистки отходящих газовых выбросов применяют различные способы: окисление атмосферным кислородом на катализаторах, непосредственное сжигание вредных примесей, а также сорбционные способы, с помощью которых удастся выделить вещества для повторного использования в производстве.

Защита гидросферы. При нанесение ЛКП часть краски оседает на полах, после чего её смывают проточной водой, и вся вода с краской, в которой присутствуют все вышеописанные вещества, стекает в сточные воды. Очистка сточных вод от взвешенных веществ осуществляется в отстойниках (ловушках) или на фильтр-прессах (после проведения контрольного фильтрования).

Защиты литосферы. Нанесение ущерба земельным ресурсам происходит в основном за счет слива на почву составов химической обработки и их обезвреживания. Отходы краски, слитые на почву, делают ее непригодной для хозяйственного использования на многие годы.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее возможным вариантом, который может возникнуть на рабочем месте у оператора это пожар, возникший из-за взрыва пневмоаппаратуры.

Пожаровзрывобезопасность – это состояние объекта экономики и его технологических процессов, при котором с установленной вероятностью исключается возможность пожара и взрыва и воздействие на людей их опасных факторов, а также осуществляется защита материальных ценностей (по ГОСТ 12.1.010-76 и ГОСТ 12.1.031-81). Она обеспечивается комплексом организационных, противопожарных, инженерно-технических и специальных мероприятий и средств. Причинами возникновения пожара на участке входного контроля подшипников качения могут быть:

- Неисправность электропроводки помещения и оборудования, включая КЗ;
- Возгорание стенда вследствие перегрева его узлов;
- Неисправность элементов и цепей управления стендом;
- Взрыв газобаллонного оборудования.

Вывод по разделу

В совокупности всех рассмотренных факторов хочется отметить, что то помещение, в котором будет эксплуатироваться стенд соответствует всем нормам безопасности и охраны здоровья оператора. Согласно ПУЭ 7-ого издания, по электробезопасности, помещение относится к III классу, т.е. мало опасные помещения. Согласно СП 12.13130.2009, по пожарной и взрывопожарной безопасности, установке дана категория по пожарной опасности «АН» - повышенной взрывопожароопасности, а класс взрывоопасной зоны их размещения определен как «Д» - пониженная пожароопасность. Относительно критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, относим к IV категории.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ технических средств для контроля состояния подшипников качения. Среди обширного количества разноплановых средств были рассмотрены наиболее применяемые в области диагностики. Результатами проведенной аналитической работы являются сравнительные таблицы аналогов исследуемой Установки, приведены достоинства и недостатки каждой выявленной особенности. На основании анализа в качестве прототипа разрабатываемой Установки выбран лучший из представленных на рынке стандов.

В конструкторской части была разработана принципиальная схема работы Установки, посчитана номинальная мощность электродвигателя, плоскоременной передачи, подшипников скольжения, также выполнен прочностной расчет вала шпинделя методом ручного и машинного счета. Результатом вышеописанных расчетов является полное соответствие прочностным и выходным характеристикам, заданным техническим заданием. На основании расчетов и принципиальной схемы был построен концепт вариант разрабатываемой Установки, опираясь на который была смоделирована Установка в 3D. Результатом проведенной работы является комплект конструкторской документации, который включает в себя спецификацию сборочного чертежа, сборочный чертеж, чертеж общего вида.

При выполнении раздела финансового менеджмента проведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проводимого исследования, проведен SWOT – анализ и планирование исследования. Сформирован бюджет разработки, который составил 681141 рублей. Доказана эффективность реализации проекта.

В ходе выполнения раздела социальной ответственности были рассмотрены возможные опасные и вредные факторы, которые действуют на оператора данной Установки, приведены правовые и организационные нормы обеспечения безопасности, рассмотрена экологическая безопасность.

Список источников

1. В.В. Петрухин, С.В. Петрухин. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. - Москва: Инфра-Инженерия, 2010.- 176с.:ил.
2. П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. Детали машин. Курсовое проектирование: Учебное пособие для машиностроит. спец. Учреждений среднего профессионального образования. – 5-е издание, дополн. –М.: Машиностроение, 2004. – 560с., ил.
3. А.Е. Шейнблит. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие. Изд-е 2-е, перераб. и дополн. – Калининград: Янтар. сказ. 2002.- 454с.:ил., черт. – Б. ц.
4. С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин, Г.М. Козинцов. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие – 3-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. – М.: ООО ТИД «Альянс» 2005. – 416с.
5. А.И. Аристов, Е.Б. Малышева, О.В. Селиверстова, И.Д. Сергеев, Д.С. Фатюхин, А.Е. Шеина, О.В. Яндулова. Расчет посадок с зазором (на примере подшипников скольжения): методические указания к лабораторно-практической работе по курсу «Взаимозаменяемость и технические измерения». – М.: МАДИ, 2015. – 28с.
6. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Справочник технолога машиностроителя. Т1. М.: Машиностроение, 1985.-1152 с.:ил.
7. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Справочник технолога машиностроителя. Т2. М.: Машиностроение, 1985.-1152 с.:ил.
8. Галкин, М.Г. Практика технологического размерного анализа: учебно-методическое пособие / М.Г. Галкин, А.С. Смагин.— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016.— 107 с.
9. Романова С.Ю. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: нормативно-

производственное издание/Ч1.Нормативы времени. – Машиностроение, 1990г-207с.

10. Софинский Н.А. Межотраслевые укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на токарно-винторезных станках (Единичное и мелкосерийное производство). – Машиностроение, 2003- 307с.

11. Горбацевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск, «Вышэйш школа», 1975-288с.: ил.

12. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.

13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)// Собрание законодательства РФ. — 07.01.2002.;

14. Федеральный закон Российской Федерации от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020) О специальной оценке условий труда (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021);

15. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

16. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;

17. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования;

18. ГОСТ 23000-78. Система «человек-машина». Пульты управления. Общие эргономические требования;

19. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

20. ГОСТ 12.1.003-2014. «Шум. Общие требования безопасности»;

21. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*;

22. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

23. Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда;

24. ФНП «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» от 31.12.2020г.;

25. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.

Приложение А - принципиальная схема Установки

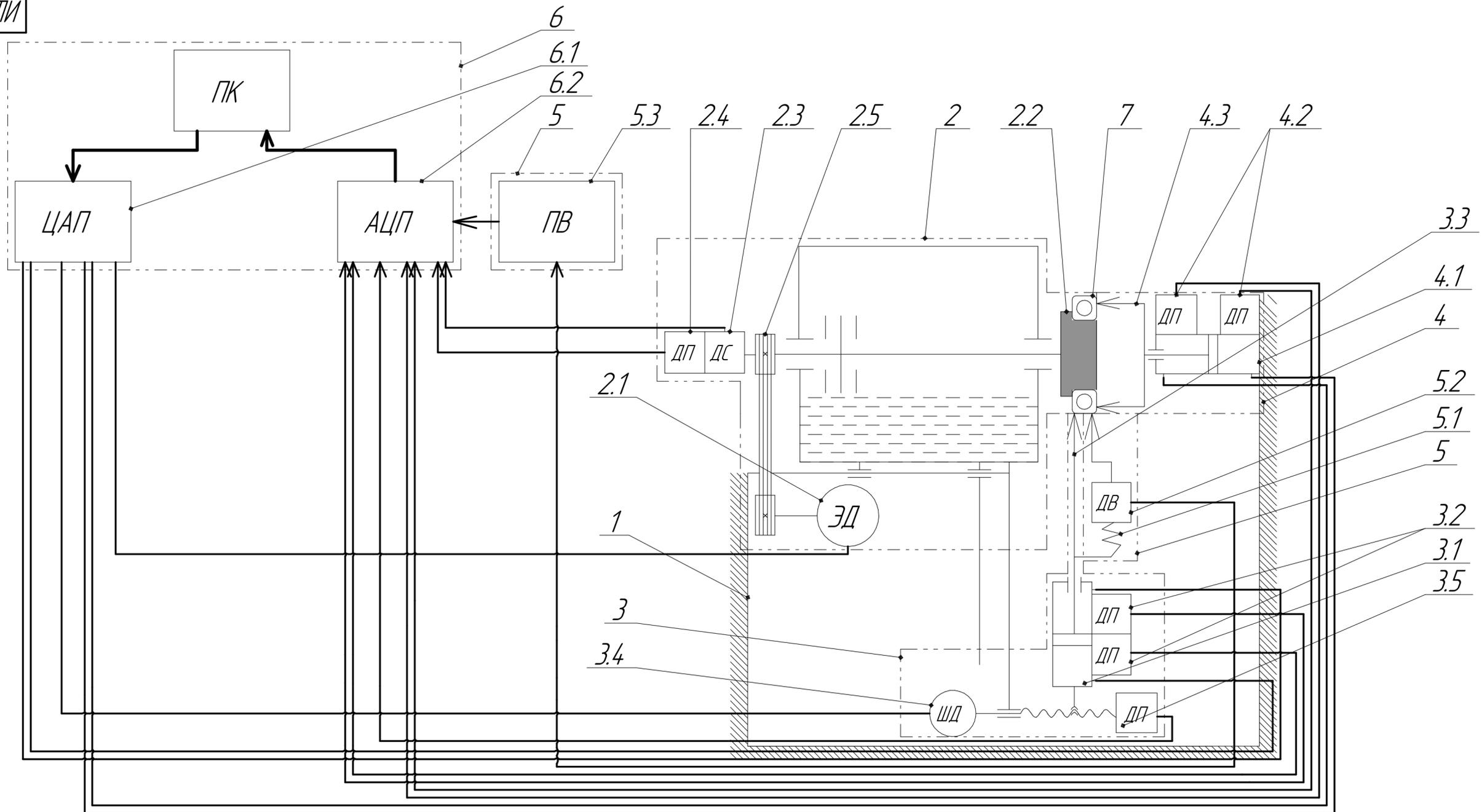


Таблица элементов принципиальной схемы

Обозначение на схеме	Расшифровка	Количество	Обозначение на схеме	Расшифровка	Количество
1	Основание	1	3.4	Шаговый двигатель	1
2	Модуль вращения внутреннего кольца подшипника	1	4	Модуль осевого нагружения подшипника	1
			4.3	Упор	1
2.1	Электродвигатель	1	5	Модуль измерительный	1
2.2	Оправка	1	5.1	Пружина	1
2.3	Датчик скорости	1	5.2	Датчик вибрации	1
2.4; 3.2; 3.5; 4.2	Датчик положения	6	5.3	Прибор виброизмерений	1
2.5	Плоскоременная передача	1	6	Модуль управления	1
3	Модуль радиального нагружения подшипника	1	6.1	Цифро-аналоговый преобразователь	1
3.1; 4.1	Пневмоцилиндр	2	6.2	Аналого-цифровой преобразователь	1
3.3	Призма	1	ПК	Персональный компьютер	1

				ИШНПТ-4А81008.001				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Принципиальная схема Установки	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Курпиев					Лист	Листов	1
Пров.	Буханченко				ФГАОУ НИ ТПУ ИШНПТ ОМШ Группа 4А8В			
Т.контр.					Копировал			
Н.контр.					Формат А2			
Утв.								

Перв. исполн.

Справ. №

Подп. и дата

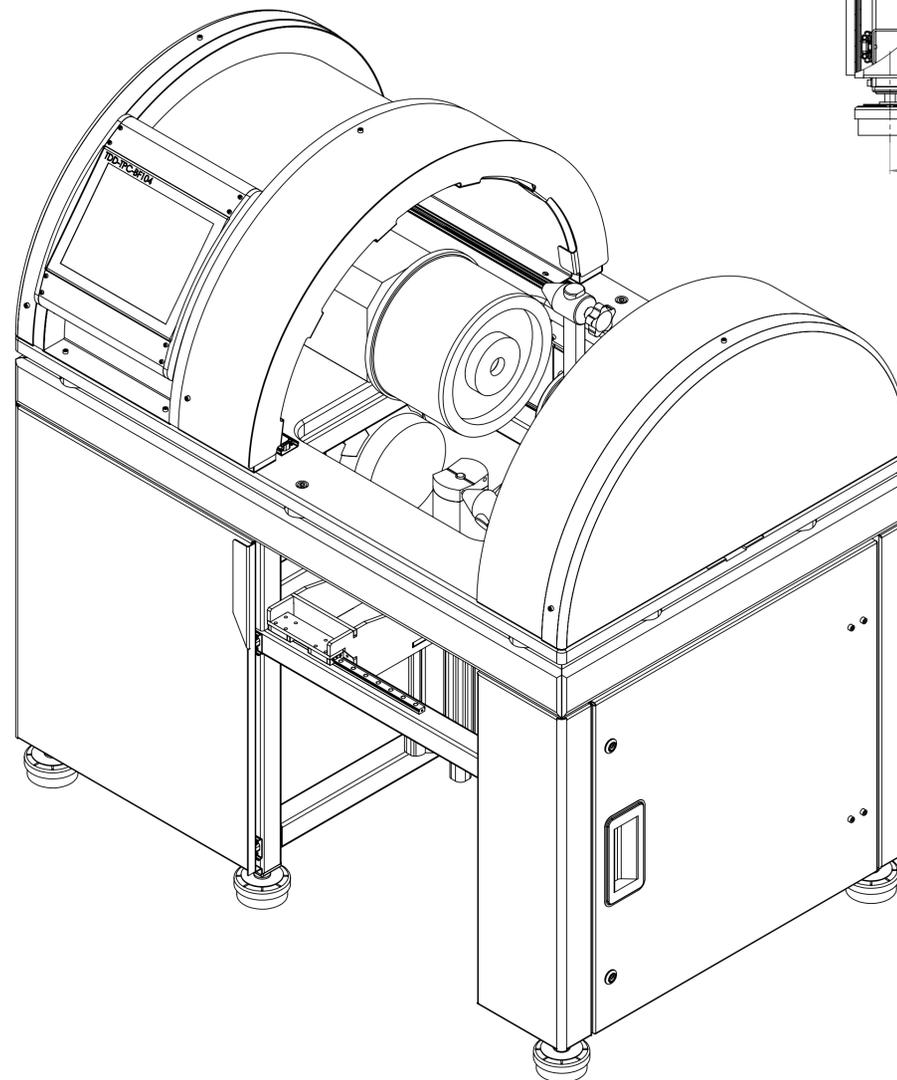
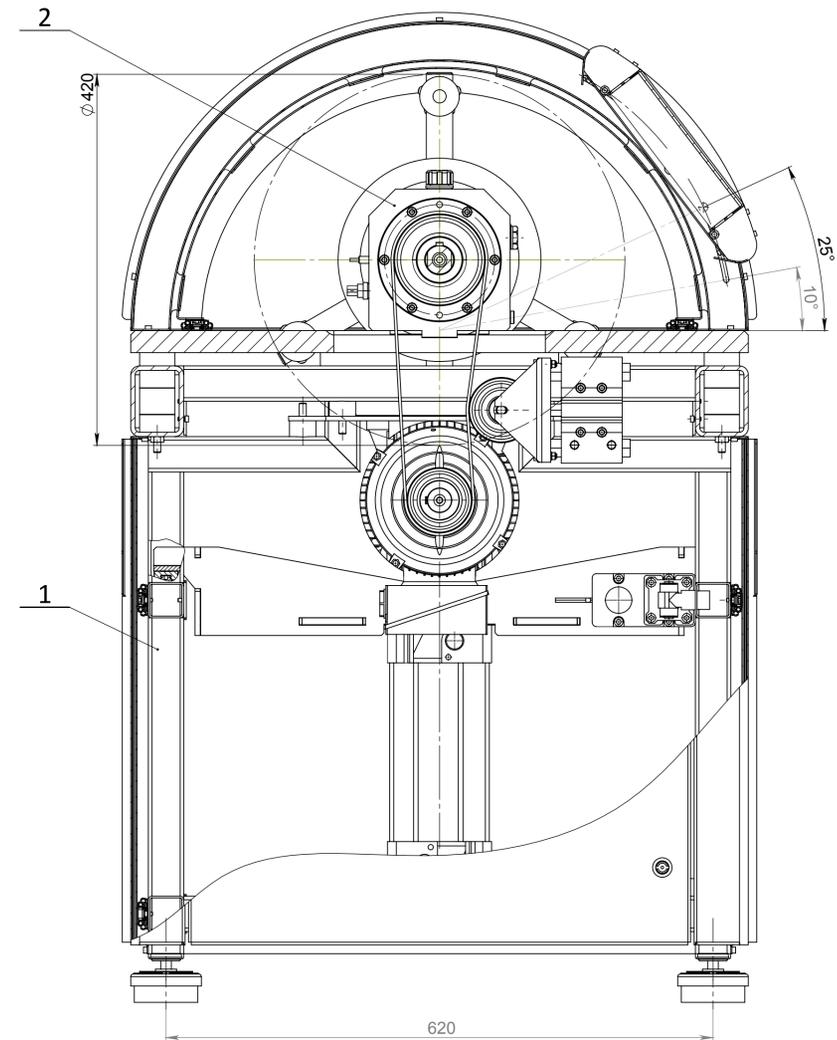
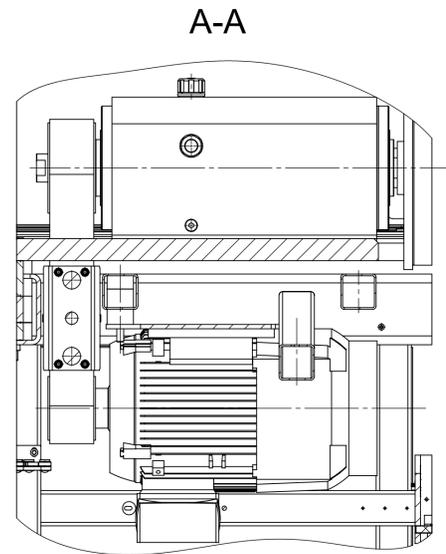
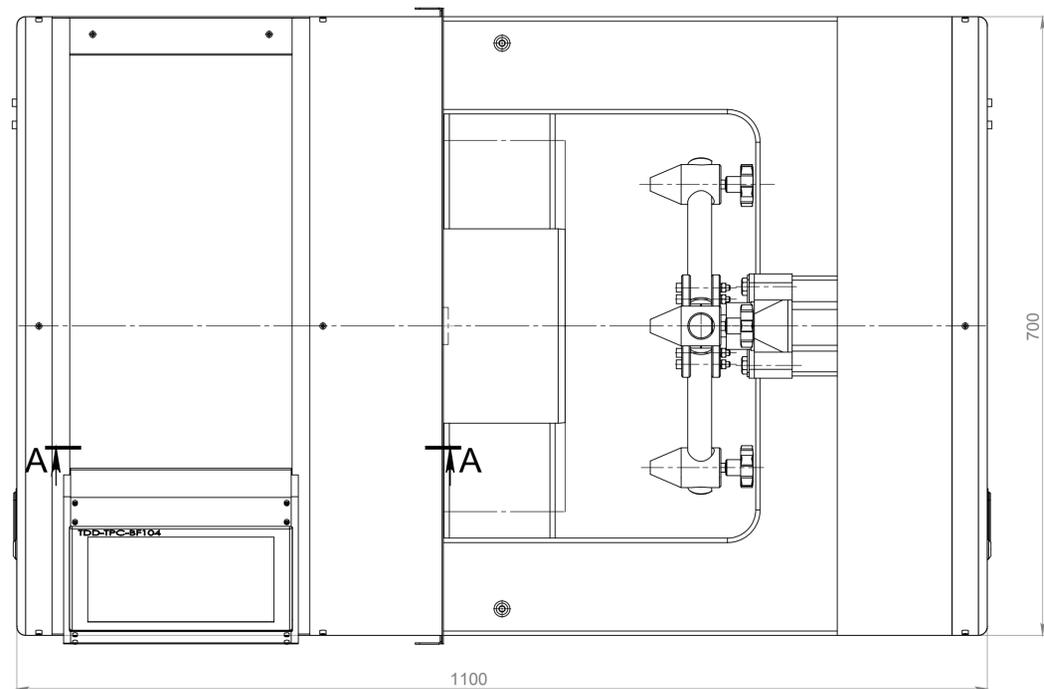
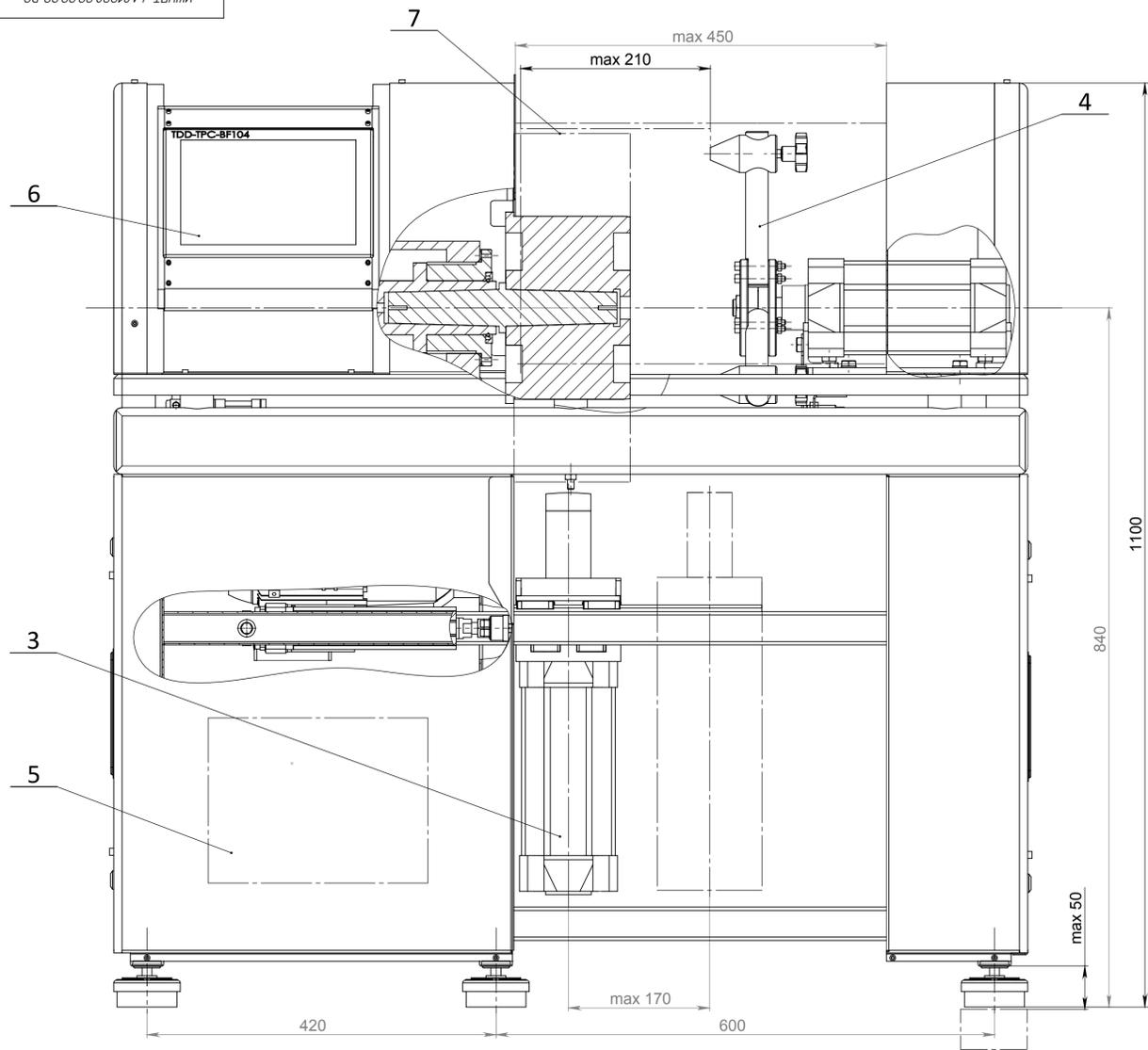
Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

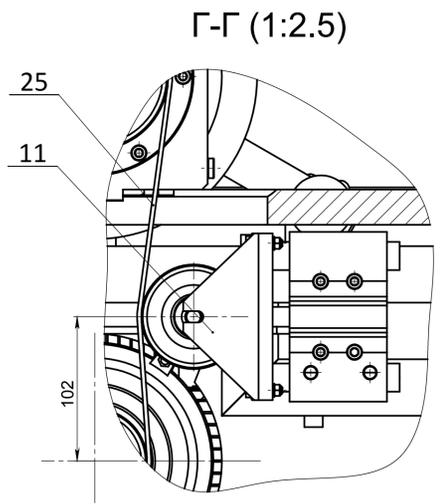
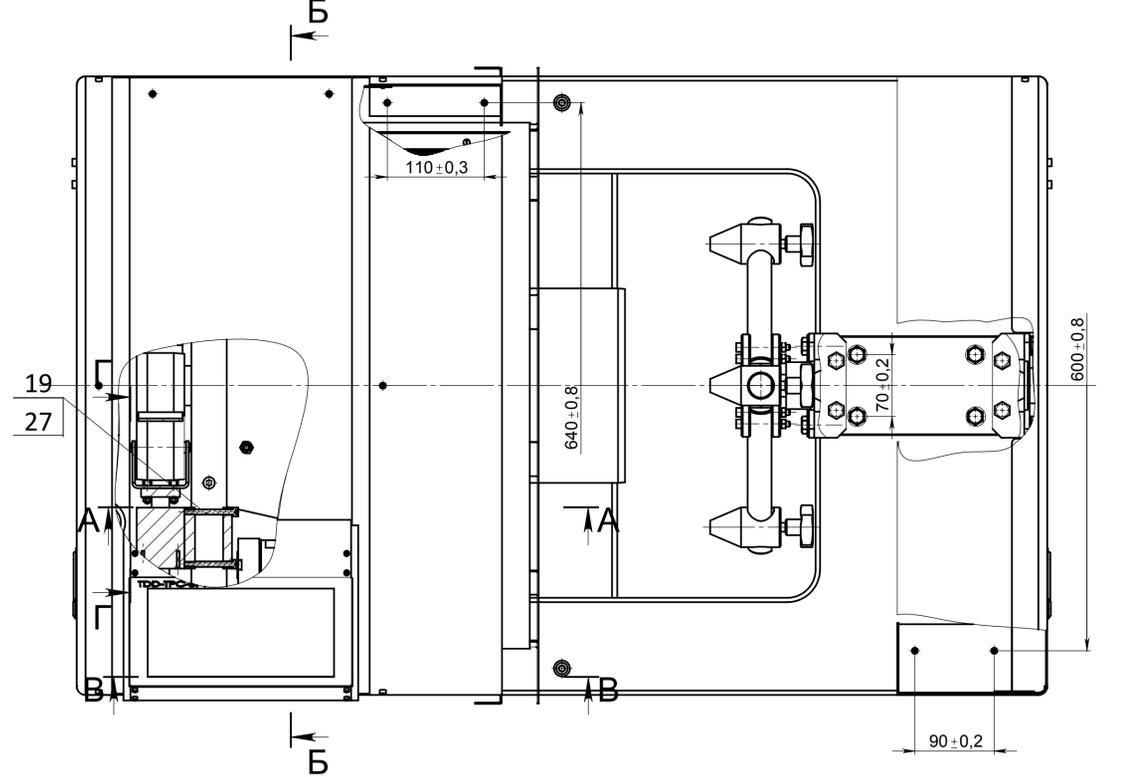
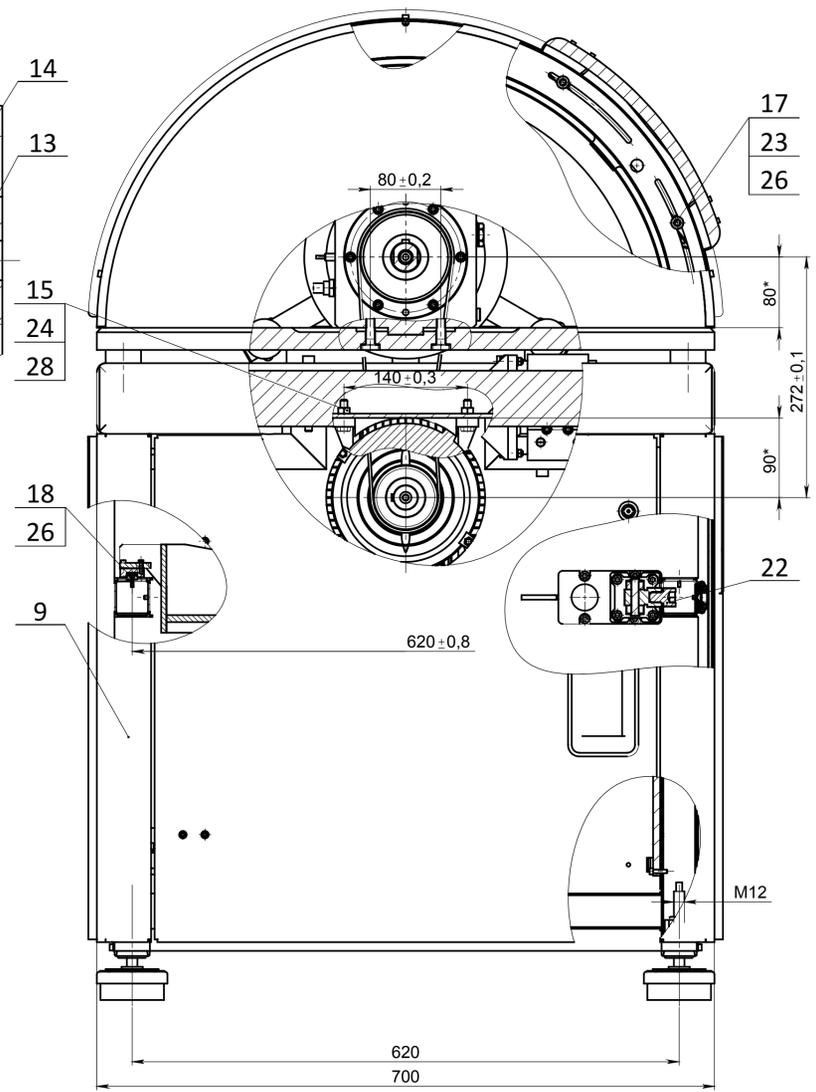
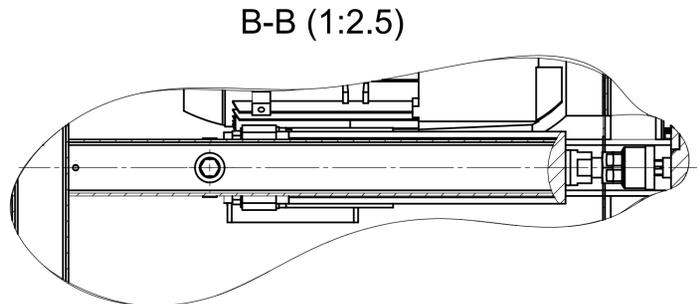
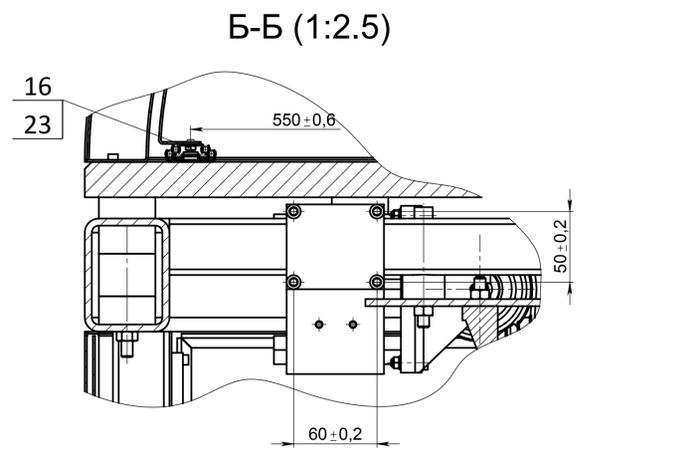
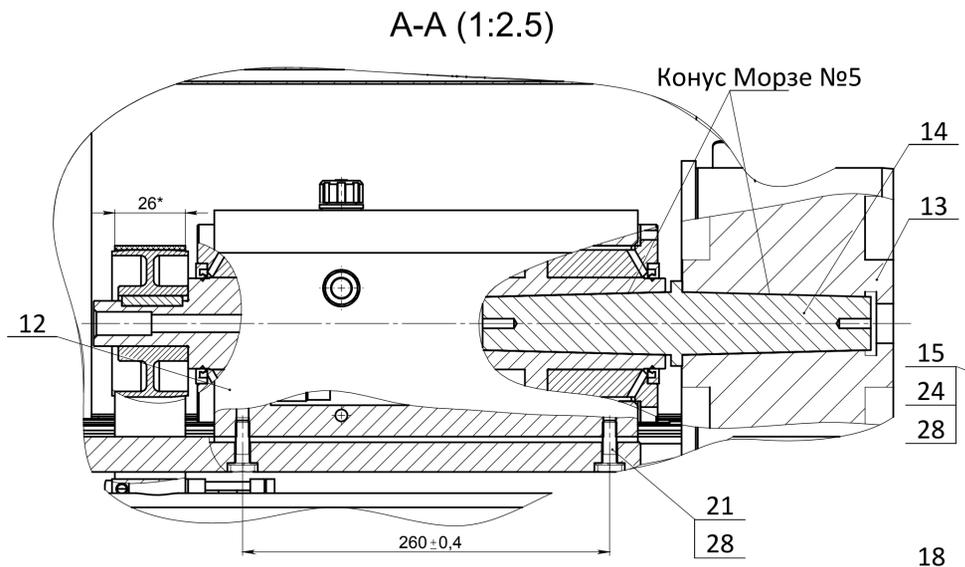
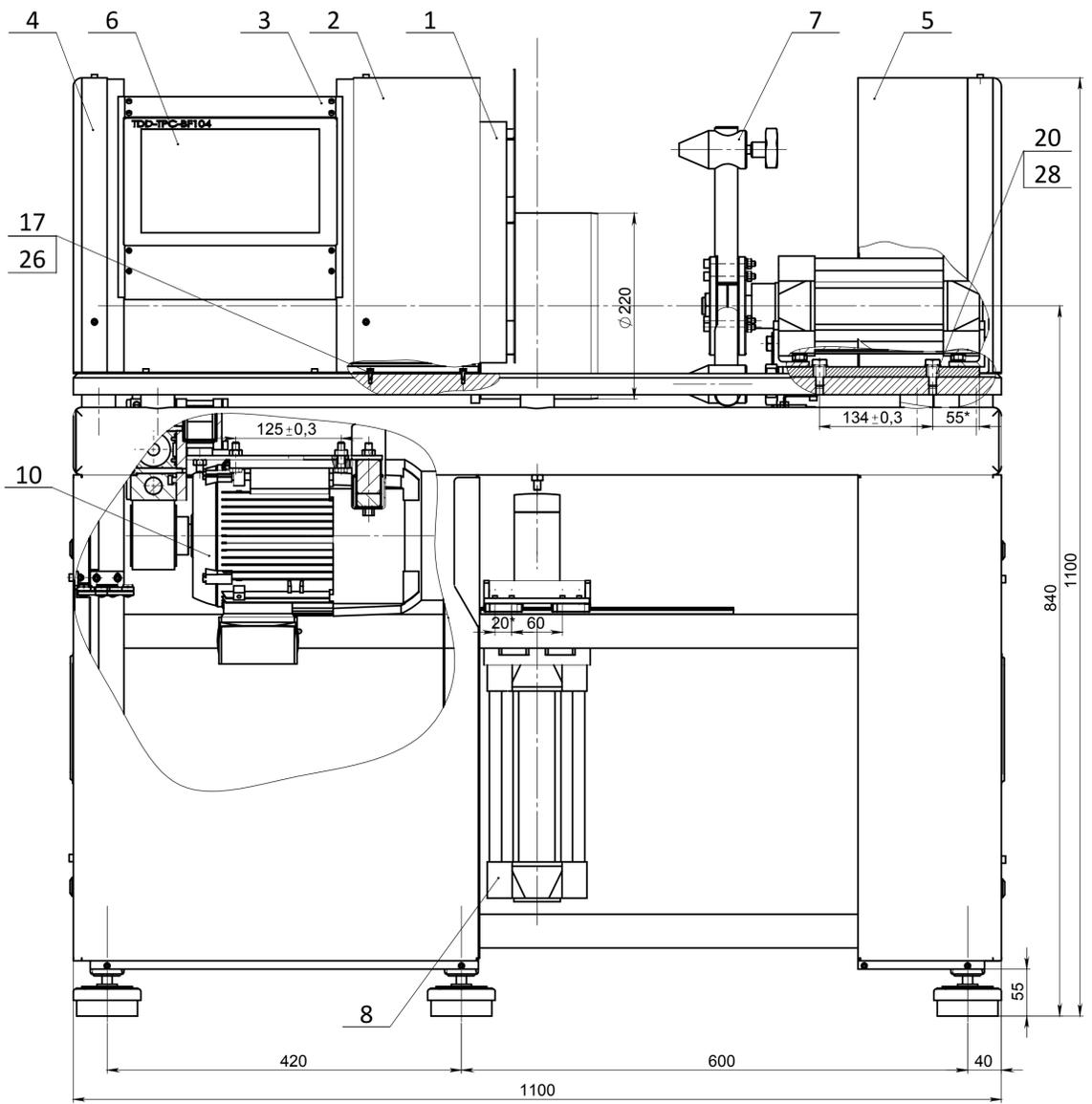
Приложение Б - чертеж общего вида Установки



1. Внутренний посадочный диаметр испытуемых подшипников: 30.220 мм;
2. Наружный диаметр диагностируемого подшипника: 42.420 мм;
3. Ширина диагностируемого подшипника: не более 140 мм;
4. Максимальная масса диагностируемого подшипника: 65 кг;
5. Частотный диапазон датчика вибрации: 5.10000 Гц;
6. Диапазон нагрузок на диагностируемый подшипник:
Радиальная нагрузка: 25.3000 Н;
Осевая нагрузка: 25.3000 Н;
7. Усилие прижатия датчика вибрации: $25 \pm 2,5$ Н;
8. Частоты вращения диагностируемого подшипника: 0.3000 об/мин;
9. Номинальная мощность электродвигателя: 3 кВт;
10. Рабочее давление пневмосети: не менее 0,5 МПа;
11. Диапазон регулирования опор: до 50 мм;
12. Температура окружающей среды: $+5..+40^{\circ}$ С;
13. Габаритные размеры Установки (ДхШхВ): 1100-700-1100 мм;
14. Масса: 400 кг.

ИШНПТ-4А81008.00.00.00 ВО				Лист	Масса	Масштаб
Стенд для вибрационного контроля состояния подшипников качения Чертеж общего вида					400	1:1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разработ		Курочкин				
Проб.		Бухаченко				
Т. контр.						
Н. контр.						
Экз.						

Приложение В – сборочный чертеж Установки



Технические характеристики

1. Внутренний посадочный диаметр диагностируемых подшипников 30...220 мм;
2. Наружный диаметр диагностируемого подшипника 42...420 мм;
3. Максимальная ширина диагностируемого подшипника 140 мм;
4. Максимальная масса диагностируемого подшипника 65 кг;
5. Частотный диапазон датчика вибрации 5...10000 Гц;
6. Диапазон нагрузок на диагностируемый подшипник:
 Радиальная нагрузка 25...3000 Н;
 Осевая нагрузка 25...3000 Н;
7. Усилие прижатия датчика вибрации 25 ± 2.5 Н;
8. Диапазон частот вращения диагностируемого подшипника 0...3000 об/мин;
9. Номинальная мощность электродвигателя 3 кВт;
10. Рабочее давление пневмосети 0.5 МПа;
11. Диапазон регулирования гидроопор до 50 мм;
12. Габаритные размеры (ДхШхВ) 1100х700х1100 мм;
13. Масса 400 кг.

Технические требования

1. *Размер для справок;
2. Обеспечить размещение гидроопор в одной плоскости с допуском ± 0.1 мм;
3. Обеспечить усилие натяжения ремня 110 ± 2.5 Н;
4. После сборки запустить, проверить на холостом ходу и под нагрузкой отсутствие заклинивания, посторонних шумов и вибрации;
5. Неуказанные предельные отклонения размеров: h14, h14, ±IT14/2.

ИШНПТ-4А81008.00.00.00 СБ					Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Стенд для вибрационного контроля состояния подшипников качения	400	1:4
Разработ.	Кудрявцев						
Проб.	Буланченко						
Т. контр.					Лист 1	Листов 1	
Н. контр.					ФГАОУ НИ ТПУ ИШНПТ ОМШ Группа 4АВВ		
Этап					1 Копировал		

Лист 1 из 1
 Имя, № докум.
 Дата, № докум.
 Место, № докум.
 Подпись и дата
 Подпись и дата

Приложение Г – спецификация

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<u>Документация</u>			
		A1			ИШНПТ-4А81008.00.00.00 СБ	Сборочный чертеж			
						<u>Сборочные единицы</u>			
				1		Кожух верхний сдвижной	1		
				2		Кожух верхний МУ	1		
				3		Кожух за монитором	1		
				4		Кожух верхний доковой	2		
				5		Кожух верхний МОНП	1		
				6		Модуль управления	1		
				7		Модуль осевого нагружения	1		
				8		Модуль радиального нагружения	1		
				9		Основание	1		
				10		Привод вращения	1		
				11		Узел натяжения ремня	1		
				12		Шпиндель	1		
						<u>Детали</u>			
				13		Оправка	1		
				14		Переходник	1		
					ИШНПТ-4А81008.00.00.00 СП				
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разраб.	Курпиев						
		Пров.	Буханченко						
		Н.контр.							
		Утв.							
Инв. № подл.		Стенд для контроля состояния подшипников качения					Лит.	Лист	Листов
								1	2
		ФГАОУ НИ ТПУ ИШНПТ ОМШ Группа 4А8В							

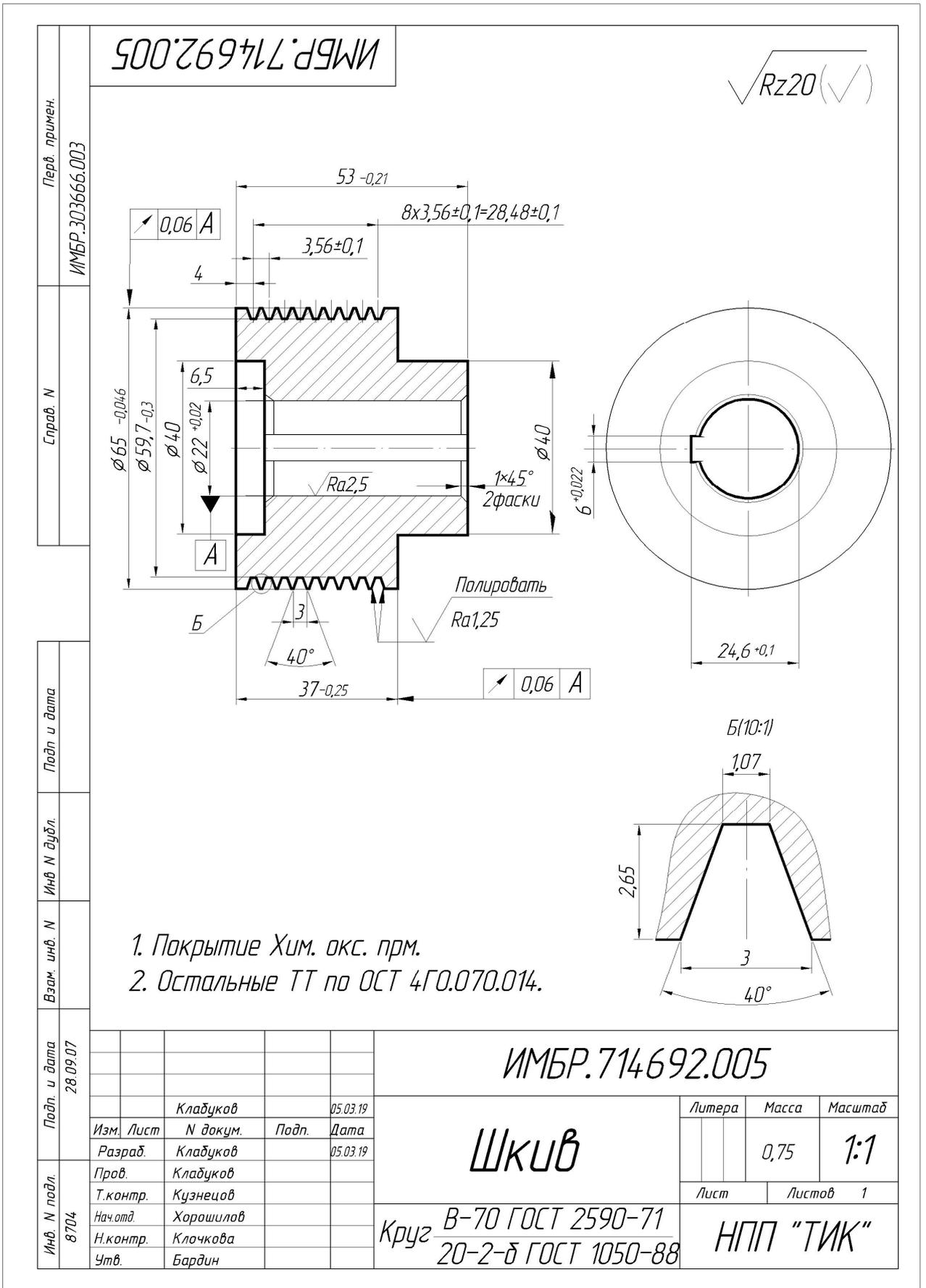
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<i>Стандартные изделия</i>		
		15		<i>Болт М10х30 ГОСТ 7805-70</i>	4	
		16		<i>Болт М4х10 ГОСТ 7805-70</i>	6	
		17		<i>Винт М4х10 ГОСТ 11738-84</i>	8	
		18		<i>Винт М4х15 ГОСТ 11738-84</i>	8	
		19		<i>Винт М6х55 ГОСТ 11738-84</i>	4	
		20		<i>Винт М10х25 ГОСТ Р ИСО 4017-2013</i>	4	
		21		<i>Винт М10х30 ГОСТ Р ИСО 4017-2013</i>	4	
		22		<i>Винт М14-1,5х15 ГОСТ 11738-84</i>	1	
		23		<i>Гайка М4-6Н (S7) ГОСТ 15524-70</i>	10	
		24		<i>Гайка М10-6Н (S16) ГОСТ 15524-70</i>	4	
		25		<i>Ремень плоский приводной резинотканый 26х2,1БКНЛ-65-1,0-1,0-М ГОСТ 23831-79</i>	1	
		26		<i>Шайба 4 3х13 ГОСТ 6402-70</i>	22	
		27		<i>Шайба 6 3х13 ГОСТ 6402-70</i>	4	
		28		<i>Шайба 10 3х13 ГОСТ 6402-70</i>	12	

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дробл.
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ИШНПТ-4А81008.00.00.00 СП	Лист
						2

Приложение Д – чертеж детали «шкив»

	Деготкина 12.03.2019
	Хорошилова 12.03.2019
	Кузнецов 13.03.2019
	Кладуков 14.03.2019
	Бардин 14.03.2019
	Еленюкья 14.03.2019



Приложение Е – технологическая документация

Діагн.
Взам
Підпись

6

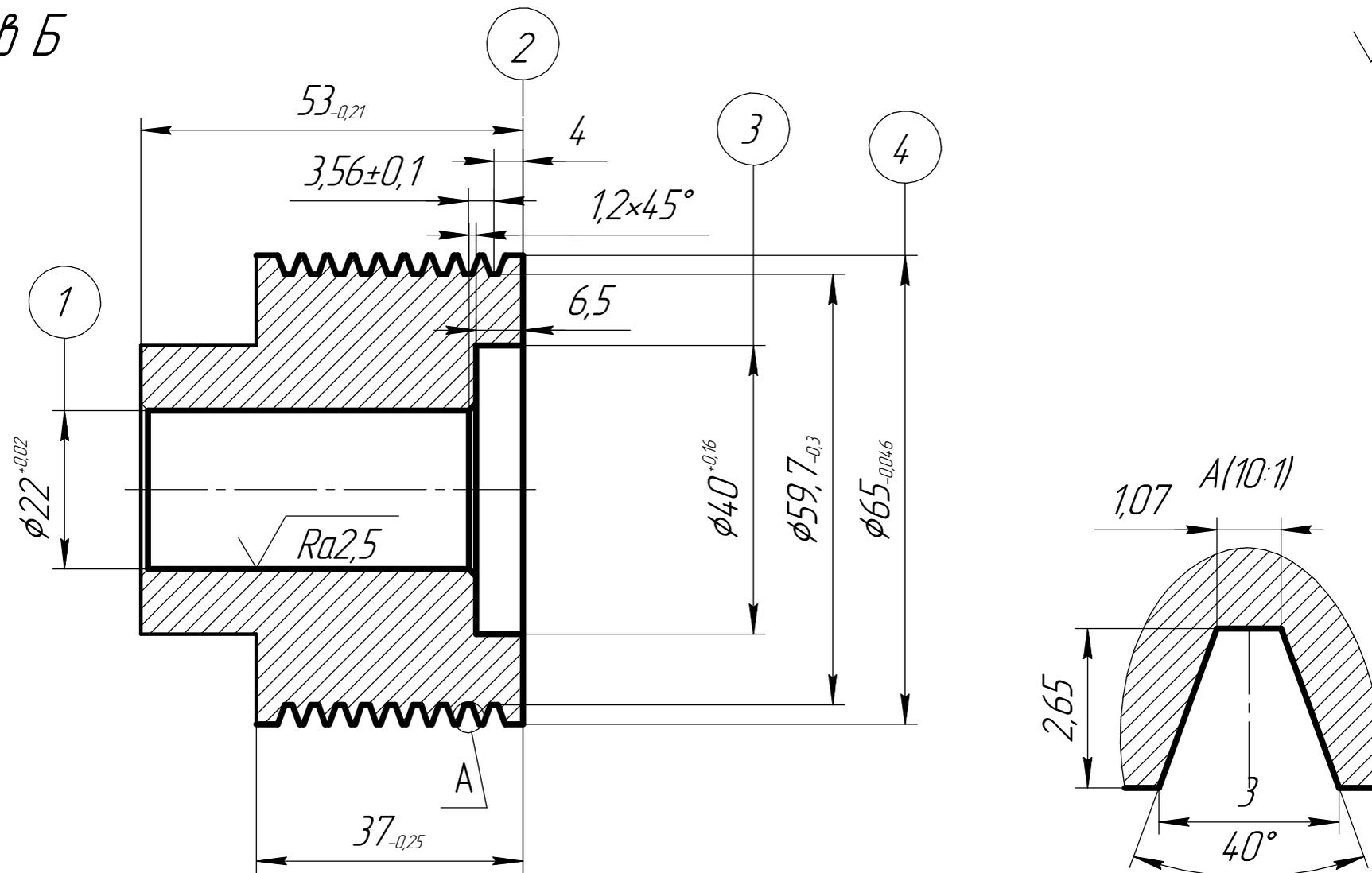
ИМБР.714692.005

ИШНПТ 4А8В

10

Установ Б

√ Ra3,2



Дцдл.			
Взам.			
Подп.			

изм	лист	№ докум	подп.	дата	изм	лист	№ докум	подп.	дата
-----	------	---------	-------	------	-----	------	---------	-------	------

2 1

Разраб.	Курпиев М.А.			НИ ТПУ	ИМБР.714692.005			ИШНПТ 4А8В
Провер.	Буханченко С.Е.							
Соглас.								
Чтвёрд.								
Н. Контр.	Буханченко С.Е.				Шкив			10

У	Опер.	Обозначение программы, детали, оборудования, устройства ЧПУ							
Т	Пер.	ПМ.	Вспомогательный и режущий инструмент (код, наименование)			Наладочный размер		Коррекц. разм.	Н.К.
У 01			Станок ТС16К20Ф3; устройство ЧПУ siemens 808;						
Т 02	1	1	Резец 2102-1117 Т5К10 ГОСТ 18877-73; пластина 61152 ГОСТ 25395-90;			$W_{X_1}=205\pm 0,1$	$W_{Z_1}=102\pm 0,1$	56,2 _{-0,5} мм	
03									
Т 04	2	2	Резец 2102-1117 Т5К10 ГОСТ 18877-73; пластина 61152 ГОСТ 25395-90;			$W_{X_1}=205\pm 0,1$	$W_{Z_1}=102\pm 0,1$	55,5 _{-0,4} мм	
05									
Т 06	3	3	Резец 2103-1131 Т15К6 ГОСТ 18879-73; пластина 67330 ГОСТ 25426-90;			$W_{X_1}=175\pm 0,1$	$W_{Z_1}=100\pm 0,1$	$\phi 42_{-0,25}$ мм	
07									
Т 08	4	4	Резец 2103-1131 Т15К6 ГОСТ 18879-73; пластина 67330 ГОСТ 25426-90;			$W_{X_1}=175\pm 0,1$	$W_{Z_1}=100\pm 0,1$	$\phi 40_{-0,16}$ мм	
09									
Т 10	5	5	Сверло 2300-0249 ГОСТ 10902-77; расточная оправка под сверла DIN 6595;			$W_{X_1}=138\pm 0,1$	$W_{Z_1}=242\pm 0,1$	$\phi 21,2_{-0,3}$ мм	
11									
Т 12	6	6	Резец 2102-1117 Т5К10 ГОСТ 18877-73; пластина 61152 ГОСТ 25395-90;			$W_{X_1}=205\pm 0,1$	$W_{Z_1}=102\pm 0,1$	1,4x45° мм	
13									
Т 14									
15									
Т 16									
17									

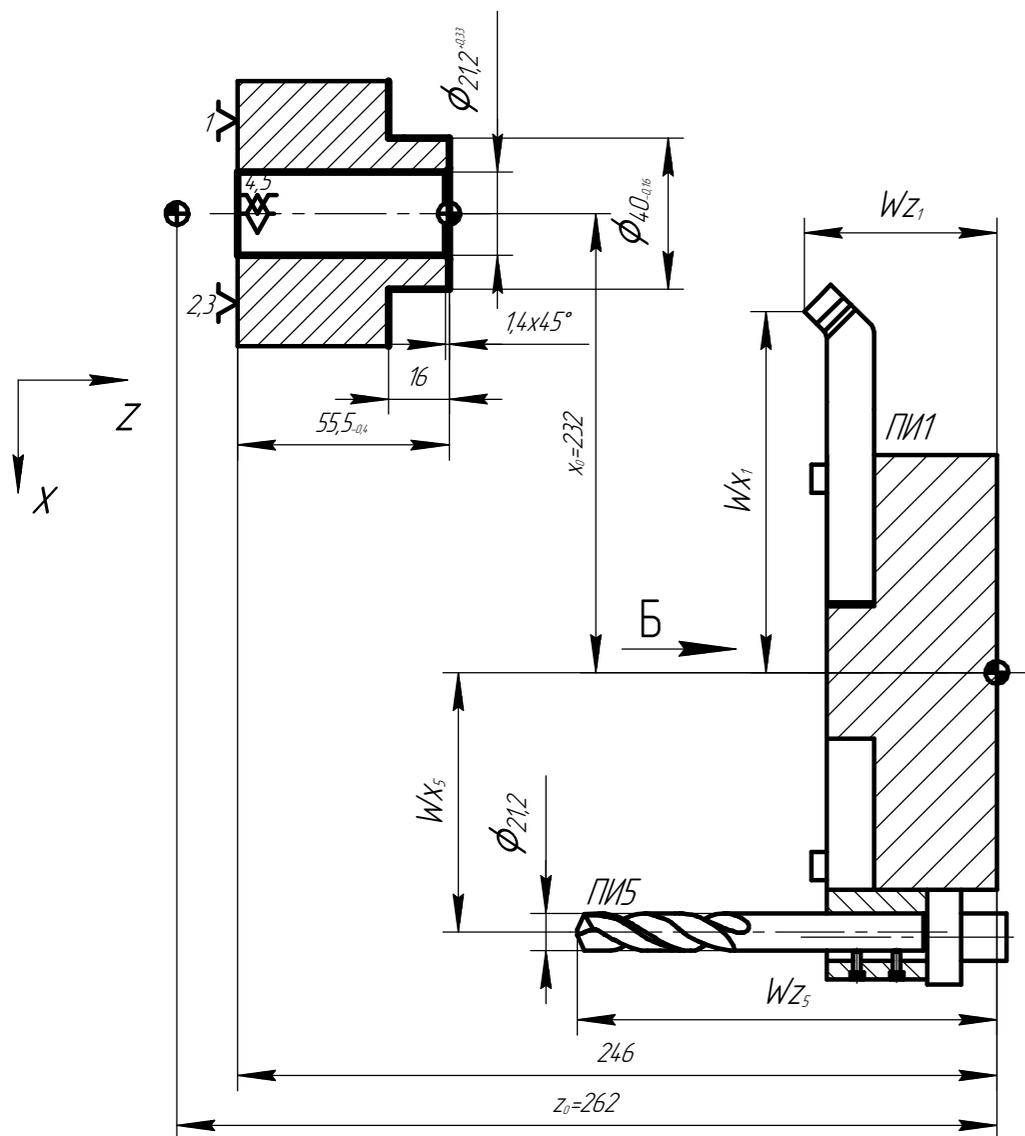
Дцдл.
Взам
Подпись

2

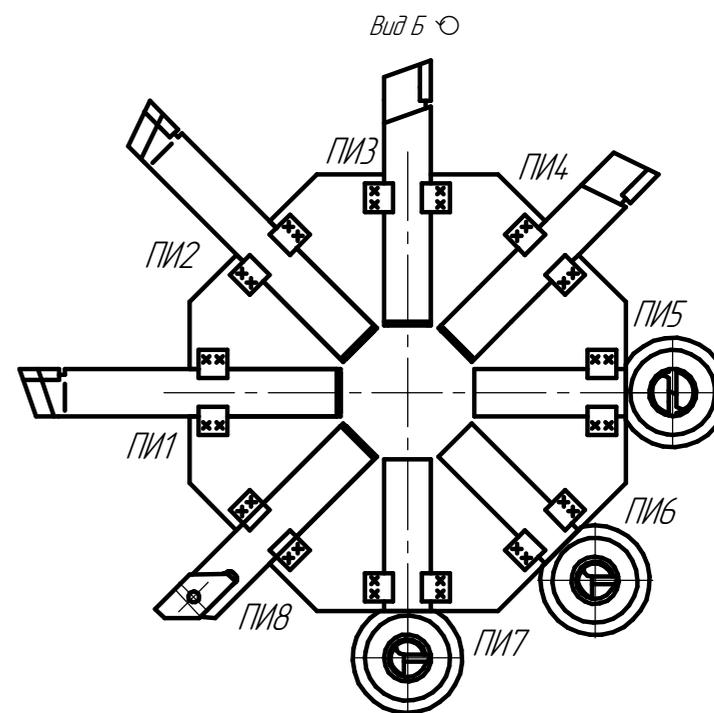
ИМБР.714.692.005

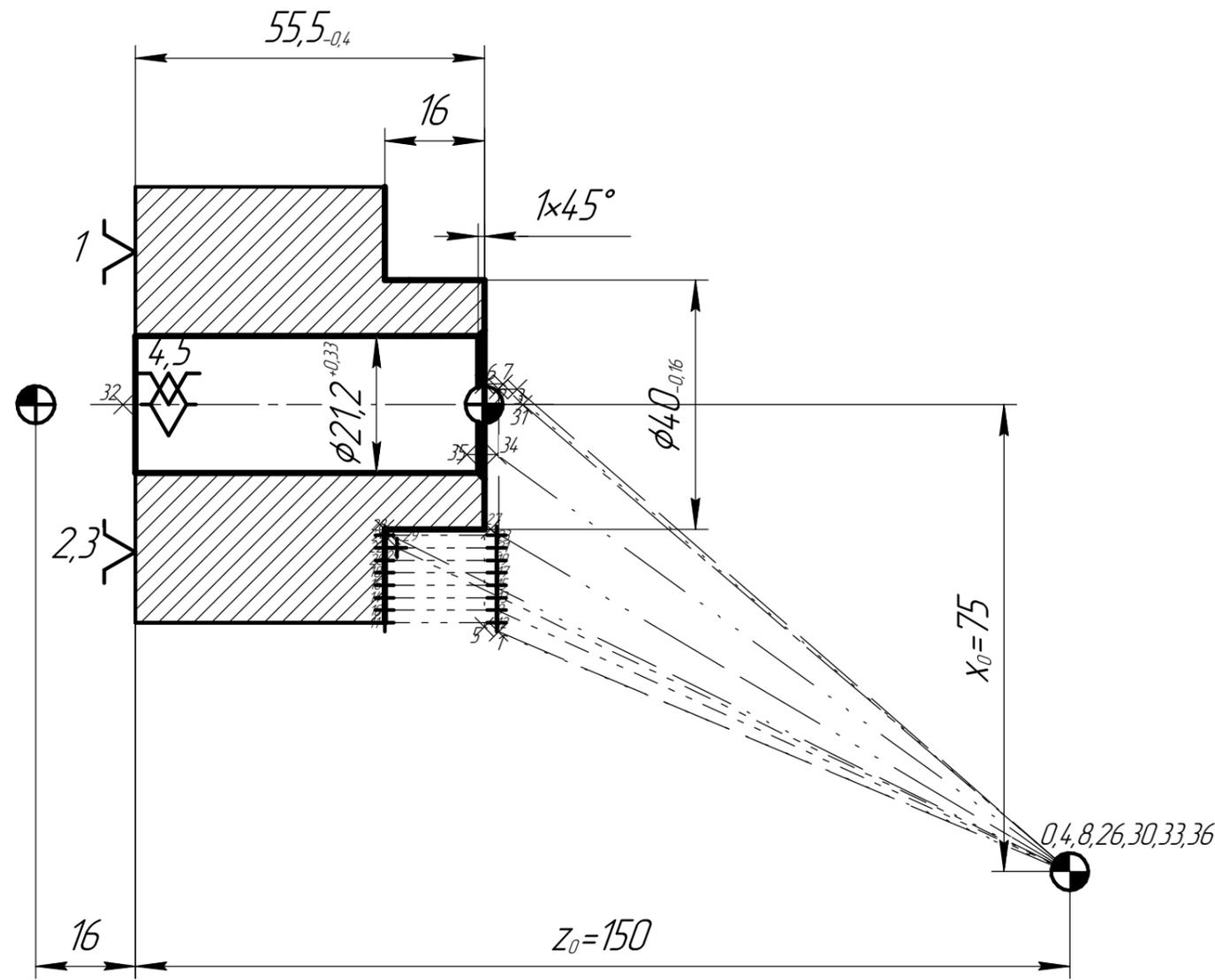
ИШНПТ 4А8В

10



- ⊕ - Нуль станка
- ⊙ - Нуль детали
- ⊗ - Нуль приспособления

 $\sqrt{Ra3,2}$




- ⊕ - Нуль станка
- ⊙ - Нуль детали
- ⊗ - Нуль приспособления

- _____ ПИ1
- ПИ2
- ПИ3
- _____ ПИ4
- ПИ5
- _____ ПИ1

ПИ	N	Z	X	S
ПИ1	0-1	-93,8	-38,5	ускор
	1-2	0	-38	0,7
	2-3	3	0	0,7
	3-4	90,8	76,5	ускор
ПИ2	4-5	-94,5	-39,3	ускор
	5-6	0	-36,7	0,3
	6-7	3	0	0,3
	7-8	91,5	76	ускор
ПИ3	8-9	-92,5	-38	ускор
	9-10	-18	0	1
	10-11	0	2	1
	11-12	18	0	ускор
	12-13	0	-4	1
	13-14	-18	0	1
	14-15	0	4	1
	15-16	18	0	ускор
	16-17	0	-6	1
	17-18	-18	0	1
	18-19	0	6	1
	19-20	18	0	ускор
	20-21	0	-8	1
	21-22	-18	0	1
	22-23	0	8	1
	23-24	18	0	ускор
	24-25	0	-10	1
	25-26	-18	0	1
	26-27	0	10	1
	27-28	18	0	ускор
	28-29	0	-12	1
	29-30	-18	0	1
	30-31	0	12	1
	31-32	18	0	ускор
32-33	0	-14	1	
33-34	-18	0	1	
34-35	0	14	1	
35-36	18	0	ускор	
ПИ4	0,4,8,26,30,33,36			
	26-27	-93,5	-51	ускор
	27-28	-17	0	1
	28-29	1	1	1
ПИ5	29-30	110,5	54	ускор
	30-31	-88	-75	ускор
	31-32	-64	0	0,49
	32-33	64	0	0,49
ПИ1	33-34	88	75	ускор
	34-35	-92,5	-67	ускор
	35-36	-3	0	0,1
	36-37	3	0	0,1

				ИШНПТ-4А81008.002			
				Расчетно-технологическая карта			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Курпиев М.А.					
Пров.		Буханченко С.Е.					
Т.контр.					Лист	Листов	1
Н.контр.					ФГАОУ НИ ТПУ		
Утв.					ОМШ ИШНПТ Группа 4А8В		