

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 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроение

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Проектирование высокоскоростного привода на базе червячного редуктора для шиберного клапана</b>

УДК 62-83-185.4: 621.833.38

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Ефременков Е.А.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ИШНКБ ТПУ	Антоневич О.А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Мартюшев Н.В.	к.т.н., доцент		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способностью организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способностью применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способностью анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способностью определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ДУК(У)-1	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений

<b>ОПК(У)-10</b>	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
<b>ОПК(У)-11</b>	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
<b>ОПК(У)-12</b>	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<b>ОПК(У)-13</b>	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
<b>ОПК(У)-14</b>	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
<b>ПК(У)-2</b>	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
<b>ПК(У)-3</b>	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
<b>ДПК (У)-1</b>	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
<b>ДПК (У)-2</b>	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
<b>ДПК (У)-3</b>	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности

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) 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроение

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Мартюшев Н.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич

Тема работы:

Проектирование высокоскоростного привода на базе червячного редуктора для шиберного клапана	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2022, № 34-75/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2022
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>  <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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Передаточные отношения червячной передачи <math>u = 6,6</math></li> <li>2. Момент на выходе червячного колеса <math>T_2 = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}</math></li> <li>3. Обороты электродвигателя <math>n_{\text{дв}} = 3000 \text{ об/мин}</math></li> </ol>
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ существующей конструкции приводов для клапанов</li> <li>2. Проведение конструкторских расчетов</li> <li>3. Проектирование конструкции привода на базе червячного редуктора</li> <li>4. Разработка конструкторской документации</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Сборочные чертежи: 3 листа формата А2, 7 листов формата А3, 2 листа формата А4. Чертежи деталей: 1 лист формата А3, 1 лист формата А4. Спецификации: 12 листов формата А4. Презентация в формате Microsoft powerpoint</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Гасанов М.А.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Антоневич О.А.</p>
<p>Разделы, выполненные на иностранном языке</p>	<p>Сыскина А.А.</p>

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
<p>Глава 1 Обзор литературы</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p><b>13.12.2021</b></p>
--	--------------------------

**Задание выдал руководитель:**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>Доцент ОМ ИШНПТ</p>	<p>Ефременков Е.А.</p>	<p>к.т.н</p>		<p><b>13.12.2021</b></p>

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p><b>4АМ0К</b></p>	<p>Беннер Александр Яковлевич</p>		<p><b>13.12.2021</b></p>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 133 с., 20 рис., 20 табл., 22 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: Проектирование, редуктор, червяк, клапан, привод.

Объектом исследования является высокоскоростной привод на базе червячного редуктора с применением в трубопроводе вместе с регулирующим клапаном.

Целью диссертации является проектирование компактной конструкции червячного редуктора с целью применение в высокоскоростном приводе, с высокой точностью позиционирования регулирующего клапана осевого типа.

В процессе выполнения диссертации были проведены исследования конструкций современных приводов для клапанов, представленных на рынке. Произведено описание механических передач, работающих в приводах. Выполнены конструкторские расчеты червячной передачи.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения» приведён анализ перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по проектированию высокоскоростного привода на базе червячного редуктора. Произведен SWOT анализ, составлен план проекта, контрольные события, и рассчитан общий бюджет научного исследования.

В разделе «Социальная ответственность» был произведен анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды, вредных веществ, производственного шума, освещенность помещения, пожарной безопасности, защита в ЧС.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: номинальная частота вращения вала

электродвигателя – 3000 об/мин; Момент на выходе червячного колеса  $T_2 = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; передаточное отношения червячной передачи  $u = 6,6$ .

### **Нормативные ссылки**

ГОСТ 9433-2021 Смазка ЦИАТИМ-221.

ГОСТ 6033-80 Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля  $30^\circ$

ГОСТ 9833-73 Кольца резиновые уплотнительные круглого сечения для гидравлических и пневматических устройств

ГОСТ 19853-74 Пресс-масленки.

ГОСТ 27365-87 Подшипники роликовые конические однорядные повышенной грузоподъемности.

ГОСТ 6402-70 Шайбы пружинные.

ГОСТ 3722-81 Подшипники качения. Шарики.

ГОСТ 7798-70 Болты с шестигранной головкой класса точности В.

ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

ТОИ Р-45-081-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере

ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;

ГОСТ 12.1 005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;

ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности;

ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организации воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи

МР 2.2.9.2311 – 07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности

СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания

СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

14. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ Об охране окружающей среды



## Обозначения, сокращения

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

КПД – коэффициент полезного действия

ШВП – Шариковая винтовая передача

ПТК – промежуточные тела качения

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

МСП – модуль силового преобразователя

ИП – источник питания

ПМУ – пост местного управления

МВВ – модуль ввода-вывода

ДП – датчик положения

ИК – инфракрасный канал

ИМ – информационный модуль

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>13</b>
<b>Глава 1 Обзор литературы</b> .....	<b>15</b>
1.1 Классификация клапанов .....	15
1.2 Виды приводов для клапанов .....	18
1.2.1 Электрический привод .....	18
1.2.2 Пневматический привод .....	21
1.3 Современные электропривода для клапанов .....	22
1.4 Вывод по обзору приводов.....	32
1.5 Описание механических передач для электроприводов .....	33
1.5.1 Планетарные зубчатые передачи .....	33
1.5.2 Циклоидальные передачи .....	34
1.5.3 Передачи с промежуточными телами качения.....	38
1.5.4 Шариковые винтовые передачи .....	41
1.5.5 Червячные передачи .....	44
1.6 Вывод по обзору литературы.....	47
<b>Глава 2 Проектирование червячного редуктора</b> .....	<b>48</b>
2.1 Исходные данные .....	48
2.2 Выбор электродвигателя .....	48
2.3 Расчет червячной передачи.....	49
2.4 Проверка долговечности подшипников червячной передачи.....	53
2.5 Проверка прочности шлицевых соединений .....	59
2.6 Подбор соединительной муфты .....	61
2.7 Подбор шпонок и проверочный расчет шпоночного соединения .....	61
2.8 Уточненный расчет валов .....	62
2.9 Выбор посадок и расчет полей допусков .....	69
<b>Глава 3 Сборка привода</b> .....	<b>72</b>
<b>Заключение</b> .....	<b>81</b>
<b>Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	<b>83</b>
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	84
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	84

4.1.2	Технология QuaD .....	86
4.1.3	SWOT-анализ .....	88
4.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	91
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	91
4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	92
4.3	Бюджет научно-технического исследования .....	97
4.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования..	97
4.3.2	Расчет амортизации специально оборудования .....	97
4.3.3	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	99
4.3.4	Накладные расходы .....	101
4.3.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	101
	<b>Заключение.....</b>	<b>102</b>
	<b>Глава 5 Социальная ответственность .....</b>	<b>105</b>
5.1	Производственная безопасность .....	106
5.2	Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения .....	107
5.2.1	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего .....	107
5.2.2	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	109
5.2.3	Повышенный уровень шума на рабочем месте .....	113
5.2.4	Психофизические факторы .....	113
5.3	Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения .....	114
5.3.1	Поражение электрическим током вызванное разницей потенциалов .....	114
5.4	Экологическая безопасность.....	115
5.4.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	115
5.4.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	116
5.5	Безопасность в ЧС.....	118

5.5.1 Обоснование мероприятий по предотвращению пожара и разработка порядка действия в случае его возникновения.....	119
<b>Заключение.....</b>	<b>121</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>122</b>
Приложение А .....	124
Приложение Б.....	140

## Введение

Современные объекты капитального строительства оснащаются всеми видами инженерного обеспечения для нормальной жизнедеятельности человека. Среди них первое место занимают системы тепло- и холодоснабжения зданий. В соответствии с требованиями нормативных документов в области строительства эти системы, вне зависимости от их масштабов и сложности, должны оснащаться средствами автоматического регулирования и управления. Одним из основных элементов системы автоматического регулирования является регулирующий орган, который по сигналу управляющего устройства (контроллера, термостата и пр.) изменяет подачу тепло- или холодоносителя в установки различного назначения. Регулирующий орган состоит из регулирующего клапана и привода.

В варианте исполнения с электрическим приводом клапан имеет ряд настраиваемых параметров, позволяющих адаптировать его для работы в конкретном технологическом процессе, в том числе в режиме автономного поддержания заданных параметров регулируемого потока. Также может быть настроен алгоритм работы в аварийной ситуации при обрыве коммутирующих линий – клапан может автономно принять любое предварительно заданное положение.

В варианте исполнения с пневматическим приводом конструктивное исполнение обеспечивает принудительное перемещение регулирующего элемента в одно из крайних положений за минимальное время, либо его полную остановку.

Целью диссертации является создание компактной конструкции червячного редуктора с целью применения в высокоскоростном приводе, с высокой точностью позиционирования регулирующего клапана осевого типа.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Анализ современных конструкций приводов для регулирующих клапанов;
2. Выполнить необходимые расчеты для создания конструкции червячного редуктора.
3. Спроектировать высокоскоростной привод компактного исполнения.
4. Оформить конструкторскую документацию в соответствии с требованиями ЕСКД.

## Глава 1

### Обзор литературы

#### 1.1 Классификация клапанов

Клапаны разных типов являются одним из самых востребованных элементов трубопроводов. Их предназначение состоит в том, чтобы перекрывать поток газа или жидкости в трубопроводе, регулировать его силу и направлять. Клапан - это механическое устройство, которое контролирует поток и давление жидкости в системе или процессе. Так что в основном он контролирует поток и давление.

В процессе эксплуатации они испытывают постоянные нагрузки, и поэтому подвержены повышенному износу.

**Различают несколько типов клапанов, в зависимости от предназначения и устройства.**

**1.Запорные клапана или вентили.** Основное их применение состоит в том, чтобы глухо перекрывать поток в трубопроводе. Как правило, для этого требуется небольшое усилие при повороте затвора. Качественный клапан будет плотно закрываться, исключая даже мельчайшие щели, для полной герметизации [1].

**2.Обратный клапан поворотного типа.** Задача его состоит в том, чтобы перекрывать трубопровод в случае падения давления, во избежание образования обратного потока. Затвор в таких клапанах поворачивается вокруг оси, которая смещена от центра. В зависимости от строения различают две модификации — простые и безударные клапана. В первых ось вращения выведена из трубопровода, а во втором — пересекает его [1].

**3.Обратный клапан подъемного типа.** Затвор автоматически выдвигается перпендикулярно направлению движения потока в трубопроводе. Применяются так же специальные приёмные клапана, устанавливаемые в начале трубопровода. Они зачастую оборудованы специальной сеточкой для фильтрации [1].

**4. Предохранительный клапан** — важный элемент любого трубопровода высокого давления. Он срабатывает в случае повышения внутреннего давления выше критической отметки. После сброса давления возвращается в закрытое состояние. Наиболее широкое распространение получили клапаны с пружинным механизмом. Пружина подбирается в зависимости от требуемого максимального давления. Это позволяет изготавливать клапаны для широкого диапазона рабочих давлений, применяя пружины разной упругости [1].

**5. Регулирующие клапана.** Являются сложным элементом, состоящим из электронной и механической частей. Электронная часть отслеживает различные параметры в трубопроводе — температуру, давление, плотность. На основании полученных данных изменяется положение задвижки. Такие клапана применяются в механизмах, где требуется создание конкретных условий для протекания технологического процесса [1].

**6. Смесительные клапана.** Применяются для смешивания потоков из нескольких трубопроводов. Таким образом регулируется температура жидкостей или происходит приготовление необходимых смесей [1].

Рассмотрим регулирующие клапана осевого типа по подробнее так как проектируем привод для этого типа клапана.

Осевые регулирующие клапаны применяются на трубопроводах, промышленных и газосборных пунктов, газоперерабатывающих заводов, подземных хранилищ газа, линейной части магистральных газопроводов, технологических обвязок компрессорных, дожимных, газораспределительных и газоизмерительных станций для регулирования расхода и давления в системах трубопроводов, путем изменения проходного сечения клапана.

Осевые клапаны являются одним из видов защитной и регулирующей арматуры, который необходим для обеспечения номинальной работы и предотвращения повреждений компрессоров, насосов, трубопроводных систем и другого оборудования, работающего под высоким давлением.



В основе конструкции таких клапанов лежит принцип осевого потока, который предполагает наличие обтекаемого, осесимметричного профиля проточной части, в котором протекающая среда не изменяет своего направления, снижая турбулентность и обеспечивая максимальный поток при минимальном сопротивлении, уровне шума и вибрации. Данная конструкция также предотвращает быстрый эрозионный износ проточной части и регулирующего элемента.

Клапаны осевого типа являются отличной альтернативой двухседельным и односедельным S-образным клапанам, где для регулировки поток среды поворачивает на 90 градусов относительно трубопровода. Также клапаны могут использоваться вместо шаровых кранов и задвижек, сочетая в себе регулируемую и запорную функции с классом герметичности запорной арматуры "А". Регулирующий клапан осевого типа с электроприводом представлен на (Рис. 1.1).

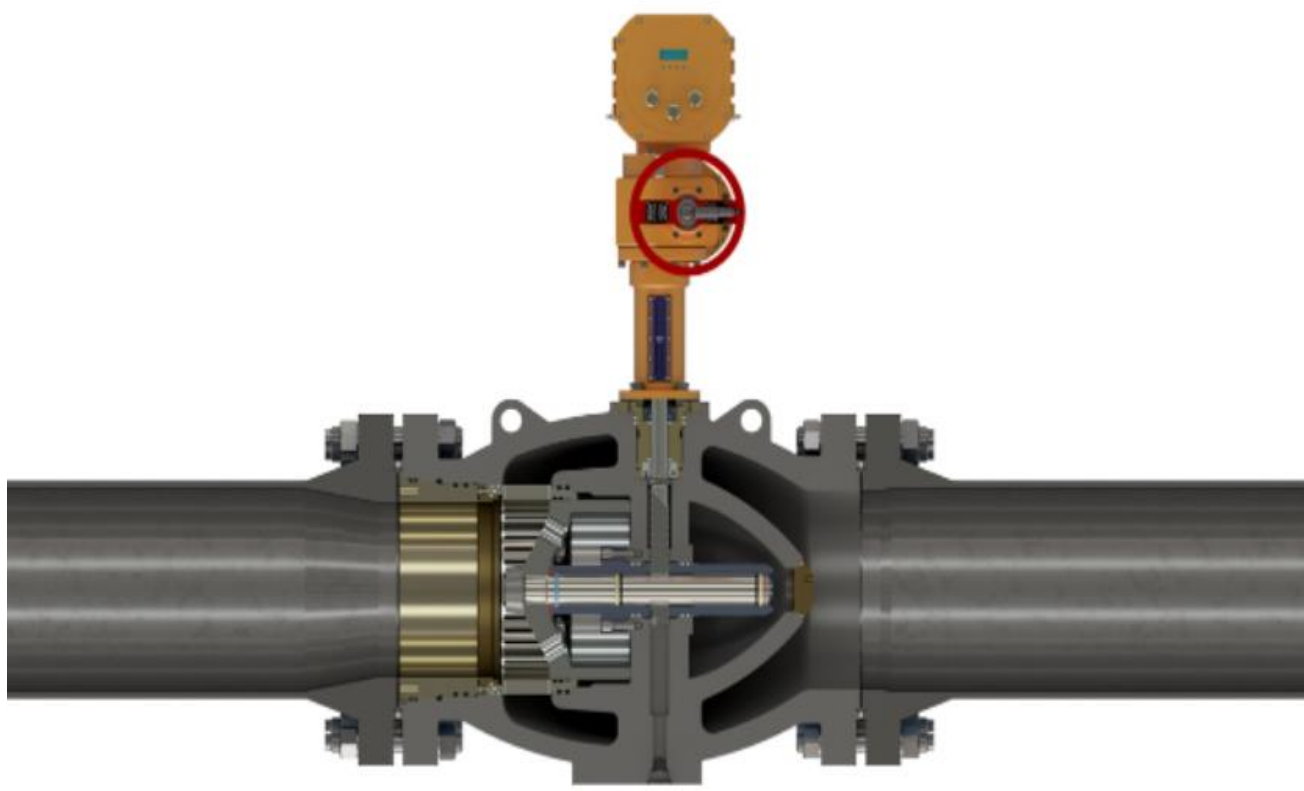


Рисунок 1.1 – Электропривод с регулирующим клапаном осевого типа

Регулирующим элементом в таких клапанах является поршень, перемещающийся параллельно оси трубопровода, а за пропускную характеристику отвечает цилиндрический сепаратор (или клетка), в котором сделана перфорация в виде проходных отверстий определенного профиля. Различные комбинации расположения, размера и формы отверстий позволяют изменять скорость потока рабочей среды и получать любые пропускные характеристики.

## **1.2 Виды приводов для клапанов**

Рассмотрим различные виды приводов, применяемые для управления регулирующими клапанами осевого типа.

Существуют различные виды приводов, подразделяющиеся по виду энергии, такие как электрический, гидравлический и пневматический.

Высокую грузоподъемность, возможность управления в широком диапазоне скоростей и ускорений при относительно невысоких эксплуатационных затратах обеспечивает гидравлический привод. Наибольшие скорости перемещения при ограниченной грузоподъемности обеспечиваются пневматическим приводом. Применение разгрузочных конструкций в сочетании с высокомоментными и высокооборотными электродвигателями способствует расширению применения электрического привода, несмотря на сравнительно низкую напряженность силового поля.

Предпочтительно применяют электрические привода для клапанов регулирующего осевого типа, реже пневматические привода.

### **1.2.1 Электрический привод**

Электрический привод для регулирующего клапана осевого типа — это, специальное устройство представляющие один из видов приводов служащих для регулирования, механизации и автоматизирования трубопроводной арматуры, и повсеместно находящее использование во всех отраслях производства и промышленности, занимая одну из главных ролей в

технологических процессах. В основном электропривода применяют для дистанционного управления арматурой, открыть и закрыть ее, а также для установления состояния арматуры [2].

Силовое ограничительное устройство предназначено для предотвращения выхода из строя или перегрузки регулирующего клапана. Эпизодично выполнено с тормозным устройством (демпфирующим), для устранения воздействия на регулируемую арматуру инерционных сил движущихся деталей. Путевые выключатели предназначены для определения положения привода, выключения источника энергии от двигателя, сопряженности работы электродвигателя с работой других устройств [2].

Редуктор предназначен для трансформации вида и скорости подачи выходных элементов двигателя в соответствии с предназначением регулирующей арматуры.

Крепление привода к регулирующей арматуре как правило имеет в своем составе фланцевое соединение, жестко прикрепляющего корпус привода и трубопроводной арматуры, муфты, связывающей ось привода и арматуры.

Ручной дублер служит для управления арматурой при ремонтных работах, а также в тех случаях, когда отсутствует питание двигателя. Комплектуется переключателем в ручное положение для недопущения травмирования обслуживающего рабочего состава, если привод в этот момент подключен к сети во время ручной регулировки [2].

Указатель положения необходим для местных показаний степени открытости регулирующей арматуры в нужные моменты времени.

Датчик положения привода применяются на регулирующей арматуре для дистанционного показания степени открытия, положения арматуры в текущий момент времени и как компонент обратной связи (по положениям регулирующих органов арматуры) [2].

Повсеместное использование электропривода для регулировки арматуры мотивируется рядом его преимуществ и достоинств в сравнении с другими типами и видами приводов:

— электропривод допускает и обеспечивает централизованное регулирование любыми видотипами и классами арматуры;

— может управлять арматурой разнообразных размеров так называемого условного прохода, от минимального размера до максимального;

— электропривод в отличие от многих других приводов может монтироваться не только просто на арматуре, но и на разных удалениях от неё;

— электропривод может демонтирован с действующей арматуры (для ремонтных работ), при этом не возникает опасности самопроизвольного изменения положения рабочей конструкции;

— есть возможность его применения для механизации рабочих арматурных устройств, снабженных маховиком ручного управления, без конструктивных изменений последней;

— электрические источники питания свободны от недочетов, наблюдающихся в других сетях (засорение, замерзание и т. п.).

— используют один вид энергии, электропривода обеспечивают местную и удаленную сигнализацию, как на конечных положениях, так и на промежуточных;

— подается сигнал на пульт управления в случае блокировке движущихся частей арматуры или попадания каких-либо предметов в её конструкцию;

Электрические привода содержат и некоторые недостатки:

— привод имеет самотормозящее звено (червячная пара) с невысоким КПД. Поэтому ресурс червячных пар не превосходит нескольких тысяч

циклов, что конечно недостаточно, для управления регулирующей трубопроводной арматурой средних и максимальных условных проходов;

— детали конструкции электроприводов подвергаются износу в большей мере, чем детали других приводов, в следствии этого они требуют регулярное обслуживание, уход.

### **1.2.2 Пневматический привод**

Пневматический привод регулирующей арматуры — это специальное устройство, которое является видом пневматических приводов, служат для механизации и автоматизирования трубопроводной арматуры, нашли свое применение во многих видах промышленности, занимая важную роль в технологических процессах многих производств. Более всего пневмопривода применяют для дистанционного управления запорной арматурой, открытия и закрытия, и для определения положений арматуры [2].

Пневматические привода применяют в основной массе для защитной (отсечной) арматуры, так как имеет свои специфические особенности, и кроме того имеется возможность применять арматуру с пневматическим приводом в форме регулирующей [2].

Пневмопривода применяются не так часто, из-за того, что требуются монтаж на производстве специальной компрессорных систем сжатого воздуха.

Пневматические приводы представляют из себя цилиндр, внутри которого под действием сжатого воздуха или пружины передвигается поршень. Они используются для управления арматурой различных видов: задвижек, клапанов, кранов и вентилях [2].

Наиболее существенными особенностями пневмоприводов являются:

— быстрое действие при использовании в качестве управляющего компонента сжатого воздуха или разных газов под разными давлениями.

- возможность получения максимальных ходов и больших напряжений в прямом ходе штока;
- простота исполнения конструкции и небольшое число используемых деталей;
- ограничение усилий добиваются наиболее несложным способом
- ограничением в приводе давления.

Исходя из преимуществ и недостатков приводов будем проектировать электропривод для регулирующего клапана осевого типа так как привода работающие от электроэнергии имеют преимущества в монтаже и техническом обслуживании, компактны и просты в управлении [2].

### 1.3 Современные электропривода для клапанов

Рассмотрим несколько компаний производителей электроприводов для клапанов:

- AUMA – немецкий производитель приводной техники,
- ROTORK – английский производитель приводной техники,
- РэмТЭК – томский производитель приводной техники,

**Компания AUMA** является ведущим производителем электроприводов для автоматизации промышленной арматуры. Электроприводы оснащаются специальными блоками автоматизации из электродвигателей и редукторов, которые создают необходимый крутящий момент для управления задвижками, заслонками, кранами и клапанами. Кроме того, арматура может управляться вручную с помощью маховика. Привод регистрирует данные хода и момента арматуры. Эти данные обрабатываются блоком управления, который, таким образом, контролирует порядок включения и отключения электродвигателя привода. Блок управления и привод, как правило, образуют один узел, на котором

имеется интерфейс электрического соединения с ручной системой управления и панелью местного управления.

Один из электроприводов компании AUMA серии SA 07.1 представлен на (Рис.1.2).

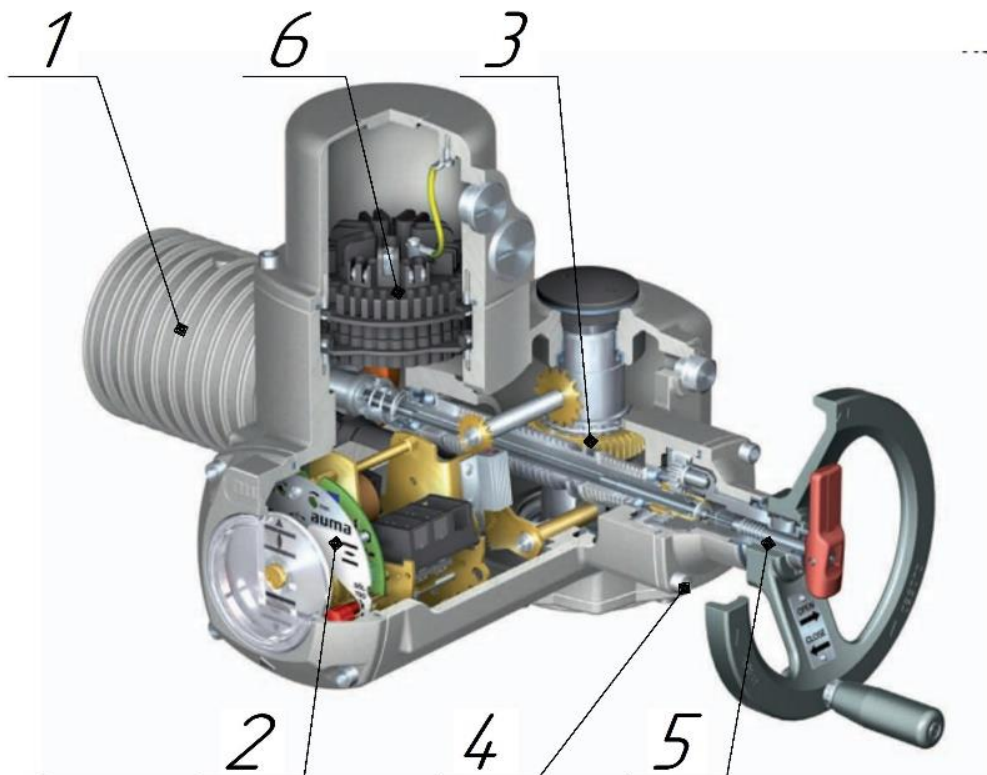


Рисунок 1.2 – Многооборотный электропривод серии SA 07.1

1 – Электродвигатель, 2 – Блок выключателей, 3 – Редуктор,  
4 – Присоединительные фланцы, 5 – Ручное управление,  
6 – Электрическое подключение

**Электродвигатель.** Для срыва задвижки из конечного положения часто требуется высокий стартовый крутящий момент. Разработанные AUMA электродвигатели соответствуют этому требованию.

**Блок выключателей.** В зависимости от типа арматуры привод должен отключаться в конечных положениях либо концевыми, либо моментными выключателями. Для этого в блоке выключателей существуют две независимые системы измерений: перемещений и крутящего момента.

Они измеряют, соответственно, перемещение арматуры и, приложенного на выходном валу, крутящий момент. Выключатели дают сигнал о достижении точек отключения на средства управления приводом, которые отключают двигатель.

**Редуктор.** Для понижения частоты вращения двигателя до требуемой выходной скорости вращения используется хорошо зарекомендовавшая себя червячная передача, иногда в сочетании с планетарным редуктором. Червячный вал и выходной вал с червячным колесом установлены на шарикоподшипниках или подшипниках скольжения. Скользящий червяк установлен на червячном валу между двумя пакетами пружин. Червяка перемещается в зависимости от крутящего момента. Это осевое смещение передается на блок выключателей через рычаг и шестеренчатые колеса.

**Присоединительные фланцы.** Присоединительные фланцы для установки на арматуру выполнены в соответствии с EN ISO 5210 или DIN 3210.

**Ручное управление.** При настройке или в экстренной ситуации возможно управление многооборотного привода от ручного маховика. С помощью красного рычага – переключателя двигателя отсоединяется и включается сцепление с ручным приводом. Поскольку отсоединение двигателя от вала редуктора происходит еще до самотормозящейся червячной передачи, возможно легкое переключение на ручной режим даже в том случае, если на выходном валу привода приложен крутящий момент. При пуске двигателя ручной привод автоматически отсоединяется. Во время работы привода от двигателя ручной маховик не вращается.

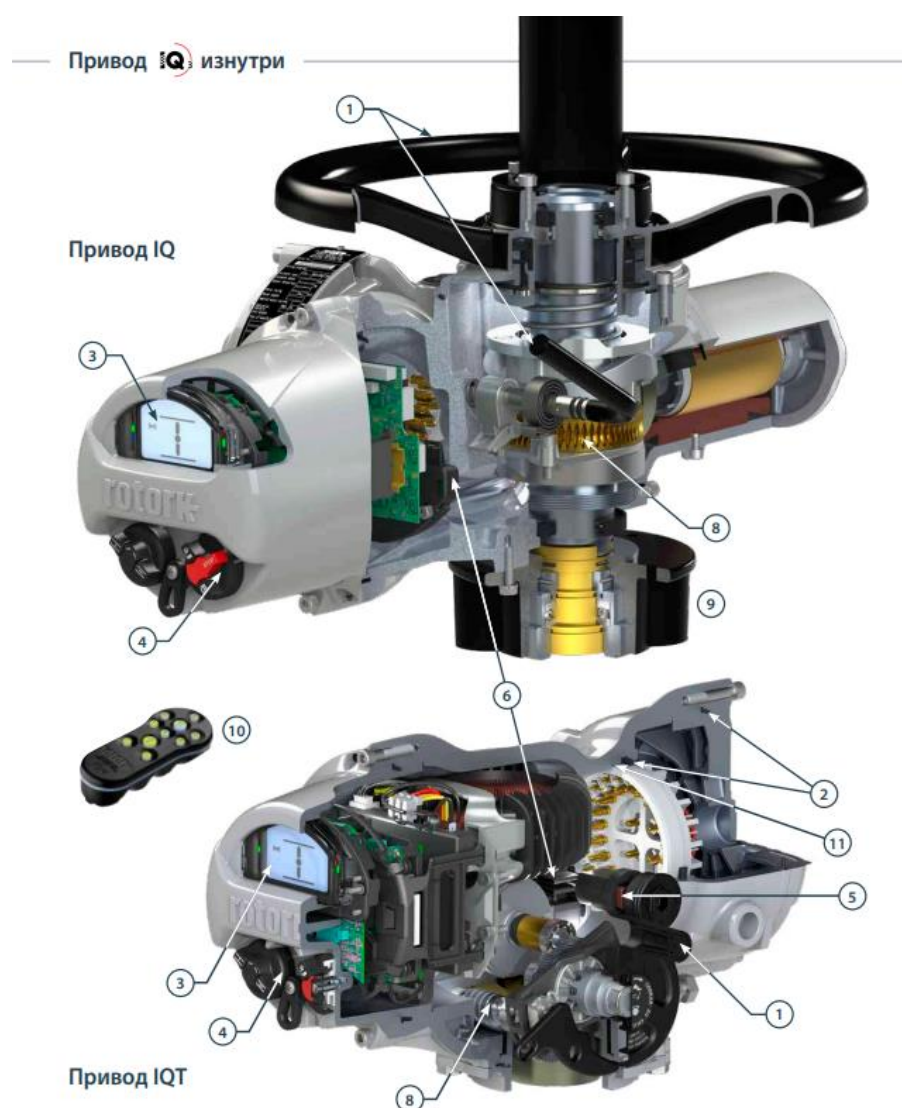
**Компания ROTORK** производит электрические приводы и системы управления трубопроводной арматуры, работающей в тяжелом режиме, по всему миру. ROTORK является домом для флагманской линейки интеллектуальных электрических приводов IQ. Серия IQ отличается легендарными инновациями, включая уникальный корпус ROTORK с



двойным уплотнением, “ненавязчивый” инфракрасный ввод в эксплуатацию, регистрацию данных и возможности профилактического обслуживания. Более поздние инновации включают усовершенствованный дисплей, интерфейс связи Bluetooth и абсолютный энкодер.

Функциональность и надежность IQ доступны для клапанов практически любого размера и описания, в том числе многооборотных (поворотных), четверть оборотных, запорных и регулирующих, с сертификатами водонепроницаемости и взрывоопасных зон по всем международно-признанным стандартам.

Одни из электроприводов компании ROTORK серии IQ и IQT представлены на (Рис.1.3).



### Рисунок 1.3 – Многооборотные электропривода серии IQ и IQT

- 1 – Работа в ручном режиме, 2 – Степень защиты корпуса, 3 – Дисплей,
- 4 – Местное управление, 5 – Батарея, 6 – Измерение положения,
- 7 – Датчика момента, 8 – Приводной механизм, 9 – съемные основания,
- 10 – Пульт настройки ROTORK Pro с Bluetooth,
- 11 – Сертифицирован для работы во взрывоопасных условиях

**Работа в ручном режиме.** Штурвал с непосредственным приводом и штурвал с редуктором рассчитаны для эффективного ручного управления арматурой. Штурвал независим от электродвигателя и включается в блокируемом рукояткой (режим ручной/ автоматический) для безопасной работы даже при работающем электродвигателе.

**Степень защиты корпуса IP66/68.** В сочетании с двойным уплотнением клеммного блока, корпус привода полностью герметичен, что защищает привод от влияния окружающей среды на весь срок эксплуатации.

**Дисплей.** Современный дисплей имеет широкий угол обзора, что делает его легко видимым на расстоянии. Двойной режим дисплея обеспечивает широкий температурный диапазон отображения положения (-50 до +70°C) в дополнении к подробной графической информации.

**Местное управление.** Переключатели Открыть/Закреть и Местный/Стоп/Дистанционный магнитно связаны с полупроводниковыми переключателями внутри крышки. Данное решение, совместно с двойным уплотнением обеспечивает непроникающую защиту привода.

**Батарея.** Батарея обеспечивает питание дисплея, дистанционной индикации и настройку, когда недоступен основной источник питания привода.

**Измерение положения.** Запатентованный высокоточный датчик абсолютного положения может измерить до 8000 оборотов на выходе

привода при любых условиях, в том числе при отсутствии силового питания.

**Датчик момента.** Самый современный пьезоэлектрический датчик момента для IQ обеспечивает надежное измерение крутящего момента в широком диапазоне температур.

**Приводной механизм.** В качестве механической передачи используют червячную передачу.

**Съёмные основания.** Для всех размеров приводов опорное и не опорное основания снимаются с корпуса редуктора, что облегчит установку.

**Пульт настройки ROTORK Pro с Bluetooth.** Искробезопасный пульт настройки предназначен для ввода в эксплуатацию и загрузки данных журнала привода.

**Сертифицирован для работы во взрывоопасных условиях.** Во взрывозащищенном Exde корпусе Rotork имеется взрывонепроницаемое соединение между основным корпусом и клеммным блоком. Это означает, что взрыв с обеих сторон клеммного блока не будет передаваться между отделениями или наружу.

**Компания РэмТэк.** Электроприводы от РэмТэк по праву можно назвать интеллектуальными. Встроенный быстродействующий микропроцессор с энергозависимой памятью обеспечивает оптимальные алгоритмы управления электроприводом, позволяющие увеличить ресурс работы трубопроводной арматуры, поддерживать необходимую точность и быстродействие при регулировании технологических параметров (расход, давление, температура), а также высокую энергоэффективность. Остановка исполнительного органа трубопроводной арматуры с высокой точностью – до 100 мкм для линейного электропривода и до 1 градуса для регулирующего неполнооборотного электропривода – достигается за счет

внедрения высокоточных датчиков положения, редукторов и современных программных решений.

Один из электроприводов компании РэмТэк представлен на (Рис.1.4).

**Базовый модуль.** Базовый модуль электропривода РэмТЭК содержит встроенный транзисторный частотный преобразователь частоты. Он формирует напряжение необходимой амплитуды и частоты, которое подаётся на обмотку встроенного в базовый модуль электродвигателя. За счёт регулирования напряжения и частоты по алгоритмам векторного управления регулируется ток электродвигателя, крутящий момент и скорость на выходном звене электропривода.

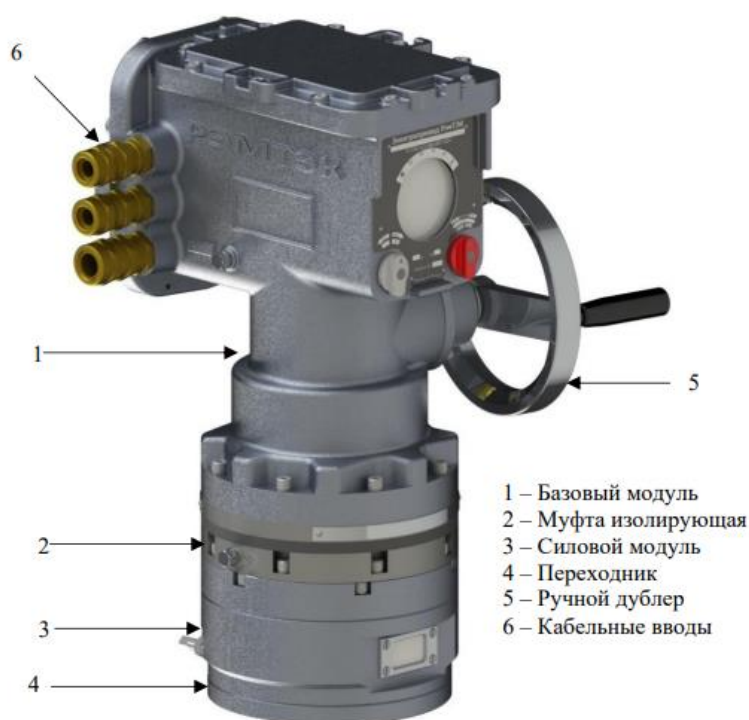


Рисунок 1.4 – Составные части электропривода РэмТЭК

В состав базового модуля входят:

- модуль силового преобразователя;
- источник питания;
- датчик положения;

- информационный модуль с резервным питанием от литиевой батареи;
- пост местного управления;
- модуль управления;
- электродвигатель с датчиком температуры;
- модуль ввода-вывода.

**Модуль силового преобразователя (МСП)** обеспечивает преобразование входного питающего напряжения в напряжение, подаваемое на обмотки электродвигателя. Требуемая точность и стабильность выходных характеристик электропривода обеспечивается с помощью программных регуляторов тока, момента, скорости, положения.

**Источник питания (ИП)** имеет широкий диапазон входного напряжения и служит для обеспечения всех модулей стабилизированным напряжением.

**Модуль управления** обеспечивает управление работой силового инвертора, обмен с системой телемеханики по последовательному и дискретному интерфейсам, работу с ПМУ и ИК-каналом. Контроллер производит анализ текущих параметров блока (токов, напряжений, положения выходного звена) и команд местного и дистанционного управления, формирует управляющие воздействия на силовой инвертор, определяет возникновение аварийных режимов блока, выдает информационные и аварийные сообщения.

**Датчик положения (ДП)** предназначен для контроля текущего углового положения вала электродвигателя и обеспечивает возможность управления перемещением выходного звена электропривода в заданное положение.

**Модуль ввода-вывода (МВВ)** предназначен для обмена данными электропривода с системой телемеханики.

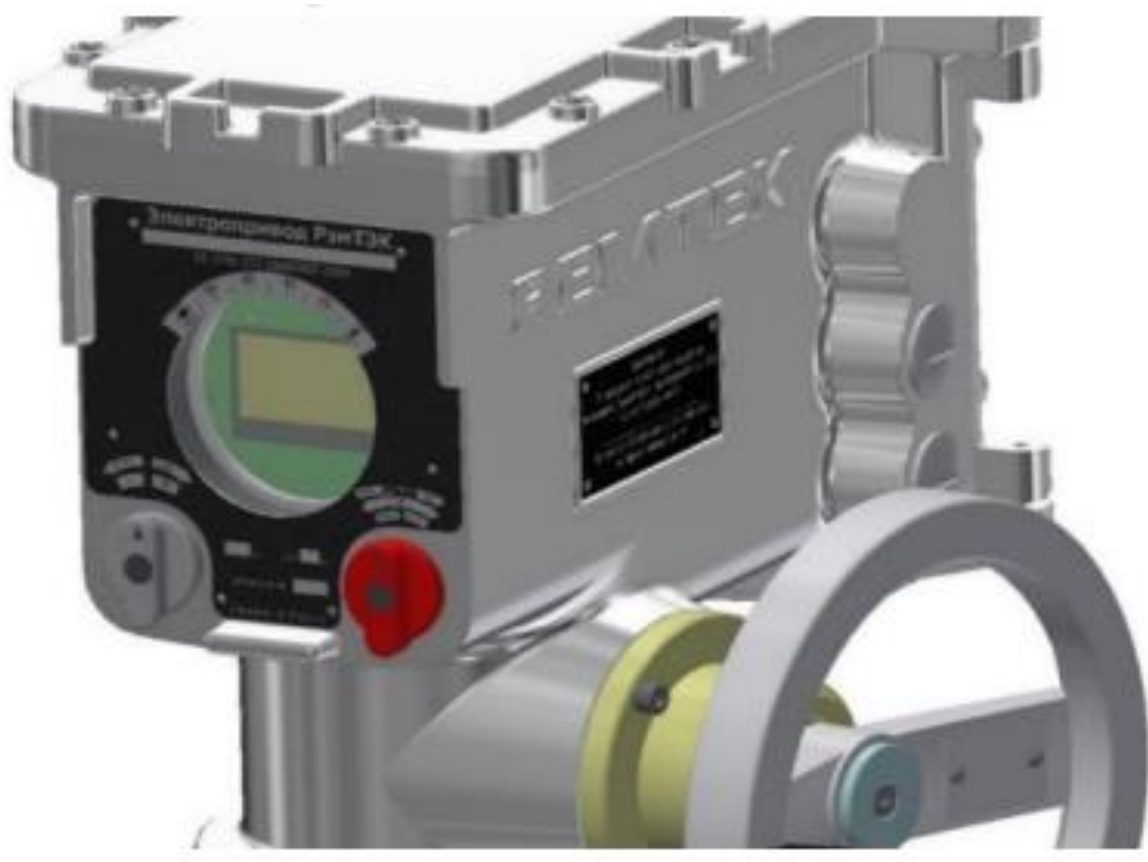
**Литиевый элемент** предназначен для резервного питания информационного модуля, внутренних часов базового модуля и для резервного питания ДП.

**Пост местного управления ПМУ** выполняет функции управления электроприводом непосредственно на месте его установки, индикации текущего режима работы электропривода, аварийных сигналов, а также вывода параметров управления электроприводом для их контроля и изменения обслуживающим персоналом.

Внешний вид ПМУ показан на (Рис. 1.5).

На ПМУ размещены следующие органы управления и индикации:

- ручки – переключатели;
- индикатор программного меню (текстово-графический индикатор);
- единичные индикаторы



## Рисунок 1.5 – Внешний вид ПМУ.

**Ручной дублер.** Ручной дублер обеспечивает возможность управления арматуры ручным способом. Ручной дублер автоматически отключается при пуске электродвигателя.

**Информационный модуль (ИМ)** выполняет следующие функции:

- сбор и хранение информации о состоянии электропривода (контроль состояния переключателей ПМУ и цепей внешнего управления, значения напряжения сети, тока и момента электродвигателя, скорости выходного звена, температур в блоке управления и в электродвигателе);
- хранение расширенного журнала дефектов и событий за 5 секунд до появления дефекта с записью фактов изменения настроечных параметров, как пользовательских, так и параметров изготовителя;
- запись изменения калибровок, в том числе по положению;
- запись команд управления в состояниях "ДУ" и "МУ";

Все записи в ИМ производятся с указанием даты и времени.

**Силовой модуль (редуктор)** имеет несколько ступеней в зависимости от требуемой величины крутящего момента на выходе электропривода.

Силовой модуль может быть прямоходного, неполнооборотного или многооборотного типа и обеспечивает формирование необходимого крутящего момента для управления арматурой.

В зависимости от модификации РэмТЭК в конструкции силовых модулей применяются следующие типы передач:

**Планетарная передача** обладает высоким КПД имеет многопарное зацепление зубьев сателлитов, но имеет малое передаточное отношение, применяется в скоростных приводах или как предварительная ступень.

**Передача с промежуточными телами качения (ПТК).** Главным преимуществом передачи является простота, компактность конструкции и высокий КПД. По величине передаточного отношения передача занимает промежуточное положение между планетарной и цевочной передачей.

**Цветочная (циклоидальная) передача** имеет большую нагрузочную способность при малых габаритах и по этой причине применяется в тяжелонагруженных редукторах.

**Шариковая винтовая передача (ШВП)** используется в линейных модулях, имеет высокий КПД, высокую кинематическую точность и малый люфт.

Высоконадежные редукторы на основе циклоидальной, планетарной и шариковинтовой передач с использованием консистентных авиационных незамерзающих смазок позволяют обеспечивать высокий ресурс электроприводов.

Применение передач с промежуточными телами качения и циклоидальных передач обеспечивает компактность многоступенчатых редукторов и высокие массогабаритные показатели электроприводов РэмТЭК.

#### **1.4 Вывод по обзору приводов**

Исходя из анализа современных рынков электрических приводов для клапанов в основном в качестве механической передачи применяют червячные передачи так как они имеют компактную конструкцию, эффект самоторможения, низкий уровень шума передачи, плавность хода. Реже применяются передачи с промежуточными телами качения и очень редко применяются планетарные зубчатые передачи.



## 1.5 Описание механических передач для электроприводов

### 1.5.1 Планетарные зубчатые передачи

#### Общие сведения

Планетарным называют механизм, состоящий из зубчатых колес, в котором геометрическая ось хотя бы одного из колес подвижна (Рис.1.6) [3].

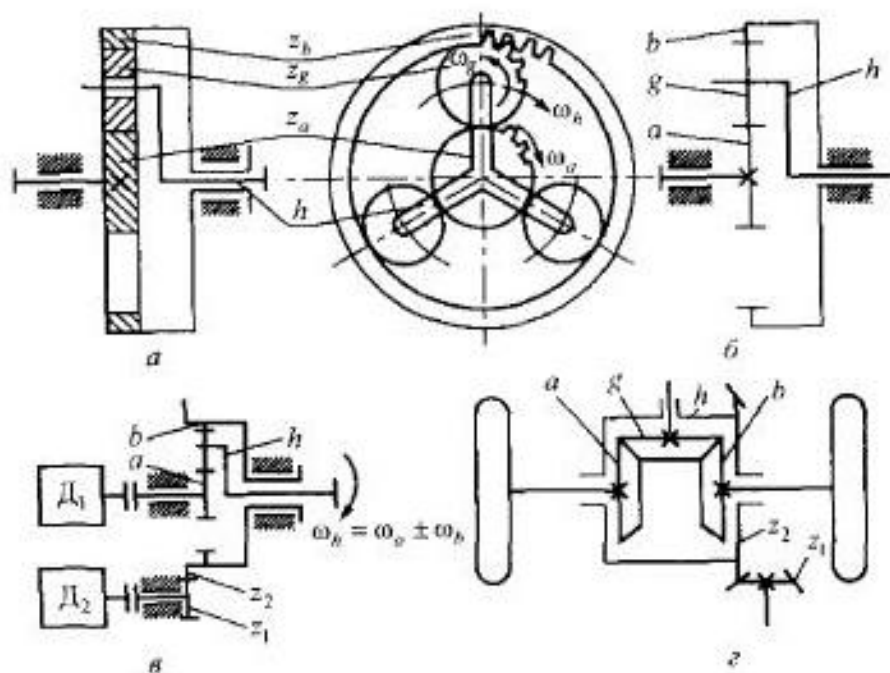


Рисунок 1.6 – Планетарные передачи

а – конструктивная схема; б – кинематическая схема передачи;  
в,г – дифференциальные передачи (суммирующая и раскладывающая скорости вращения)

Простая планетарная передача (рис. 1.6а) включает:  $z_a$  - центральные колеса с внешними и внутренними зубьями,  $z_g$  - сателлиты с внешними зубьями, которые зацепляются одновременно с  $z_a$  и  $z_b$ , где  $z$  - числа зубьев колес,  $n_w$  - число сателлитов, здесь  $n_w = 3$ ,  $h$  - водило, на котором расположены оси сателлитов (здесь водило соединено с тихоходным

валом). Принцип работы планетарных передач: при закреплённом колесе  $z_b$  ( $\omega_b = 0$ ) вращение колеса  $a$  ( $\omega_a$ ) вызывает вращение сателлита  $z_g$  относительно собственной оси со скоростью  $\omega_g$ . Качение сателлита по  $z_b$  перемещает его ось и вращает водило со скоростью  $\omega_h$ . Сателлит совершает вращение относительно водила со скоростью  $\omega = \omega_g - \omega_h$  и вместе с водилом (переносное движение). Его движения напоминают движения планет, поэтому передача называется планетарной. Основными звеньями планетарной передачи называют такие, которые воспринимают внешние моменты. Любое основное звено планетарной передачи может быть остановлено [3].

Дифференциальной называют передачу, в которой все основные звенья подвижны. При этом можно суммировать движение двух звеньев на одном или раскладывать движение одного звена на два остальных.

#### **Преимущества планетарных передач над обычными**

- Меньшие габариты и масса, так как вращающий момент передается по нескольким потокам (сателлитам).
- В некоторых схемах можно получить большие передаточные отношения при малом числе колес.

Нужно помнить, что с увеличением передаточного числа в одной передаче КПД уменьшается. [3]

#### **Недостатки планетарных передач**

- Повышенная точность изготовления.
- Большое количество подшипников качения.
- Наличие долбяка для нарезания колес с внутренними зубьями (долбяк меняет параметры при переточках) [3].

### **1.5.2 Циклоидальные передачи**

#### **Общие сведения**

Циклоидальная передача — механизм, понижающий частоту вращения, и имеющий фиксированное передаточное отношение.

Циклоидальные редукторы при своей компактности имеют большие передаточные отношения. Циклоидальная передача показана на (Рис.1.7)

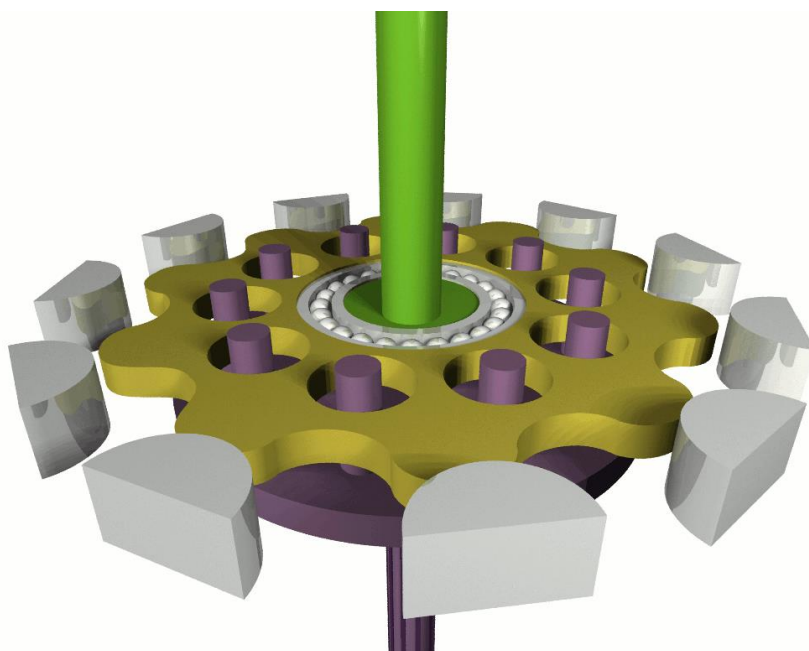


Рисунок 1.7 – Циклоидальная передача

Ведущий вал приводит в движение эксцентриковый вал со шпильками, который, в свою очередь, сообщает циклоидальной пластине эксцентрическое, циклоидальное движение. По окружности на некотором расстоянии от центра пластины расположены круглые отверстия. В эти отверстия вставлены шпильки или ролики, закреплённые на ниже расположенном диске. Посредством стержней и диска вращение передаётся выходному валу. При этом радиальные перемещения циклоидальной пластины не передаются выходному валу [4].

#### **Конструкция, принцип действия циклоидальных передач**

Составные части циклоидальной передачи показаны на (Рис.1.8). Входной (ведущий) вал прикреплен эксцентрично к шарикоподшипнику, принуждая циклоидальную пластину вращаться по окружности. Циклоидальный диск независимо вращается вокруг подшипника. Его вращение происходит за счёт того, что впадины по периметру диска

входят в зацепление с неподвижными выступами («зубьями») на внешнем кольце [4].

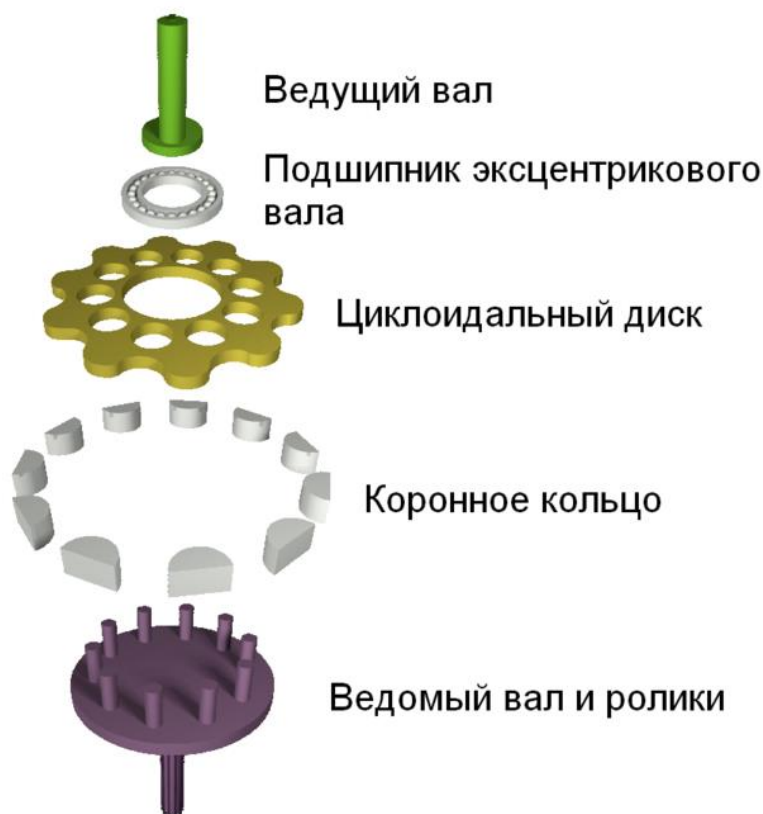


Рисунок 1.8 – Составные части циклоидальной передачи

Направление вращения выходного (ведомого) вала противоположно направлению вращения входного (ведущего) вала. Движение деталей в циклоидальной передаче подобно движению, имеющему место в планетарной передаче [4].

Количество выступов на внешнем кольце больше количества выступов на циклоидальном диске. Это вынуждает диск вращаться относительно входного вала быстрее по сравнению с тем, каким бы было его движение относительно входного вала при отсутствии внешнего кольца. За счёт этой «увеличенной» скорости вращения циклоидального

диска, выходной вал получает вращение в сторону, противоположную направлению вращения входного вала [4].

Циклоидальная диск имеет отверстия, которые немного больше вставленных в них роликов. Ролики в отверстиях движутся по окружности, и таким образом выходной вал получает относительно равномерное вращательное движение от качающегося движения циклоидального диска.

КПД одноступенчатой циклоидальной передачи составляет 95 %, а двухступенчатой— 90 %. При этом, передаточное отношение одноступенчатого циклоидального редуктора достигает значения 119:1, двухступенчатого— 7569:1, трёхступенчатого — до 1 000 000:1[4].

Существуют различные схемы циклоидальных передач, вместо шарикоподшипника может использоваться роликподшипник, имеющий большую несущую способность, а вместо одного эксцентрика могут быть использованы 2 или 3 эксцентрика, расположенные на периферии, в этом случае вращение эксцентрикам сообщают отдельные зубчатые колеса, введенные в зацепление с входным валом. Такая схема дает большую жесткость всей передаче, а также позволяет реализовывать ещё более высокие передаточные отношения. Такие редукторы используются в высокоточных приводах станков и автоматов [4].

#### **Достоинства циклоидальных передач:**

- Компактность при высокой нагрузочной способности;
- Широкий диапазон передаточных чисел в одной ступени (3...191);
- Высокая надежность и повышенный ресурс (до 50000 часов);
- Плавность хода и низкий уровень шума;
- Высокая кинематическая точность [4].

#### **Недостатки циклоидальных передач:**

- высокие требования к точности изготовления, так как эксцентрическое расположение циклоидальной пластины, в случае низкой точности изготовления, может привести к сокращению срока службы редуктора и

возникновению вибраций, которые передаются как на входной, так и на выходной валы. Данную проблему решает установка второй циклоидальной пластины, повернутой относительно первой пластины на пол-оборота;

- высокая стоимость передачи по сравнению со стоимостью передач других типов (следствие из высоких требований точности и больших нагрузок подшипников) [4].

### 1.5.3 Передачи с промежуточными телами качения

#### Теоретические основы

Принципиальная схема передачи представлена на (рис. 1.9).

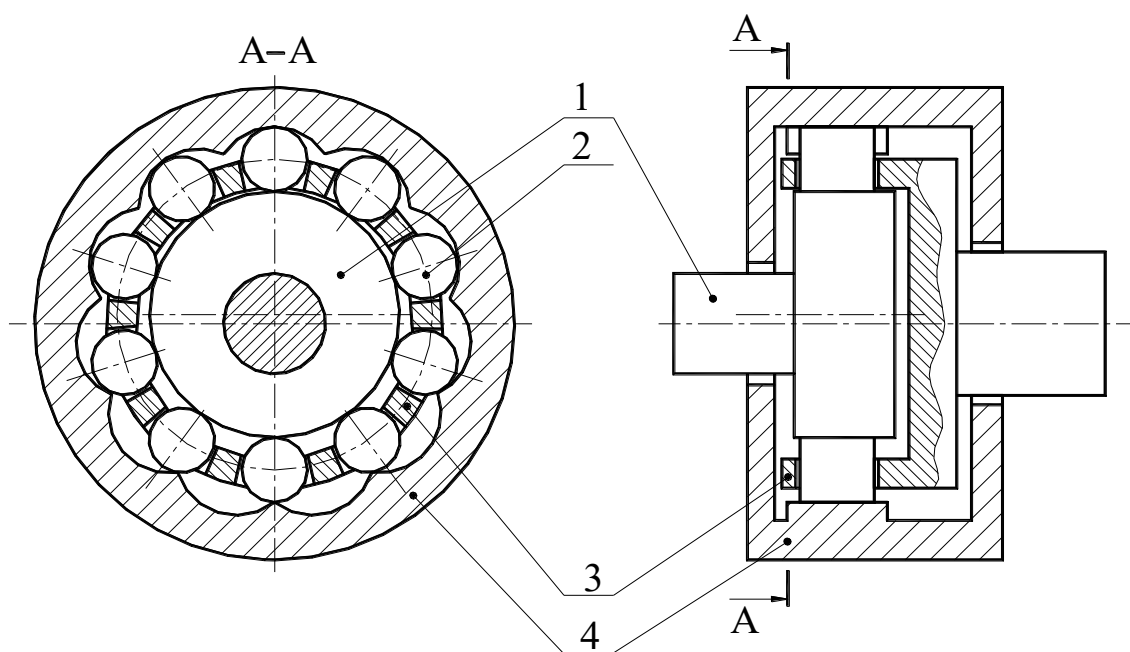


Рисунок 1.9 – Принципиальная схема передачи с промежуточными телами качения:

- 1 – Эксцентрик-генератор;
- 2 – Промежуточное тело качения (шарик или ролик);
- 3 – Сепаратор; 4 – Профильный венец с внутренними зубьями

Передача содержит эксцентриковый генератор 1, выполненный в виде диска, установленного на опорах качения ведущего вала со смещением  $a_w$  относительно оси вращения вала, промежуточные тела качения 2 (шарики или ролики), сепаратор 3, профильный венец с внутренними зубьями 4 [5].

При вращении ведущего вала эксцентриковый диск генератора 1 вызывает радиальные перемещения шариков (роликов) 2 в пазах сепаратора 3, которые, обкатываясь при этом по внутреннему профилю зубчатого венца 4, вызывают его вращение при закрепленном сепараторе 3 или поворачивают сепаратор 3 при закрепленном профильном венце 4. Как правило, количество рабочих профилей на венце на один больше, чем шариков, поэтому за полный оборот ведущего вала при неподвижном сепараторе венец 4 поворачивается в том же направлении на угол, равный шагу профиля [5].

Как следует из принципиальной схемы, механизм передачи дифференциальный, т.е. имеет два выхода при одном входе, что позволяет создавать различные компоновки силовых исполнительных механизмов. Также из принципа работы передачи видно, что она является аналогом традиционной волновой передачи, в которой функции гибкого колеса имитируются сепаратором с подвижными в радиальном направлении промежуточными телами качения [5].

### **Области применения передач**

- электромеханические приводы запорной и регулирующей арматуры для тепловых и атомных электростанций, газонефтепроводов, объектов водоснабжения;
- приводы антенн наземных и космических станций;
- приводы промышленных роботов и других прецизионных исполнительных механизмов;
- приводы грузоподъемных машин, горношахтного оборудования;

- редукторы и мотор-редукторы общепромышленного применения [5].

### **Технико-экономические показатели передач**

1. Компактность конструкции. По сравнению с другими передачами для механизмов с тем же передаточным отношением и крутящим моментом рассмотренные передачи меньше по габаритам в 3 – 16 раз и легче в 3 – 10 раз, в зависимости от типоразмера [5].

2. Высокое передаточное число. В одном и том же габарите, при сохранении нагрузочной способности, передаточное число данных передач выше в 5 – 6 раз, чем в планетарных передачах с зубчатыми колесами.

3. Высокий КПД. В передачах с ПТК силовая передача осуществляется практически обкатными движениями, позволяющими достичь значений КПД на одной ступени не менее 0,9. На специальных конструкциях величина КПД достигается до 0,98 на одной ступени [5].

4. Малый момент инерции и высокий уровень динамичности. В передачах с высокой скоростью вращается только входной вал с эксцентриковым генератором, который имеет незначительную массу и диаметр. Поэтому общий момент инерции масс подвижных звеньев небольшой и сравним с моментом инерции ротора электромотора, что позволяет передачам осуществлять быстро пуск, остановку и изменение направления вращения, что очень затруднительно для зубчатых планетарных механизмов [5].

5. Малый угловой зазор. За счет большой жесткости кинематических звеньев передач, многопарности зацепления, усреднения погрешности изготовления, при номинальных нагрузках общий угловой зазор (включая упругие деформации) передач в 3-6 раз меньше относительно зубчатых передач, в том числе и волновых, при равных передаточных отношениях и нагрузочных показателях [5].



6. Высокий крутящий момент, большие перегрузочные резервы и высокая жесткость кинематических звеньев. Малый угол зацепления в зубчатых передачах не позволяет иметь одновременно в контакте более 2х зубьев, что ограничивает передаваемый крутящий момент. В данных передачах обеспечивается угол зацепления свыше 90 градусов, т.е. достигается многопарное зацепление, что позволяет передавать крутящий момент, в 10 – 15 раз больший относительно традиционных зубчатых передач с многократной кратковременной перегрузкой и практически без упругих деформаций при равных массо-габаритных показателях [5].

7. Повышение числа оборотов. Высокое значение КПД позволяет использовать передачи в мультипликаторах, что значительно расширяет область применения данных передач.

8. Высокая надежность и продолжительный срок службы. Передачи с ПТК отличаются прочной конструкцией и оригинальной компоновкой, решающей задачу самоустановки силовых элементов и оптимального перераспределения нагрузки между ними. Простота конструкции передач позволяет значительно снизить трудоемкость на их обслуживание. Имеется возможность создания специальных необслуживаемых редукторов со сроком службы до 12 лет [5].

#### **1.5.4 Шариковые винтовые передачи**

##### **Общие сведения**

Шариковая винтовая передача (ШВП) состоит из винта и гайки и служит для преобразования вращательного движения в поступательное [6].

В шариковинтовых передачах на винте 1 и в гайке 2 выполнены винтовые канавки (резьба) криволинейного профиля, служащие дорожками качения для шариков, размещенных между витками винта и гайки (Рис.1.10) [6].

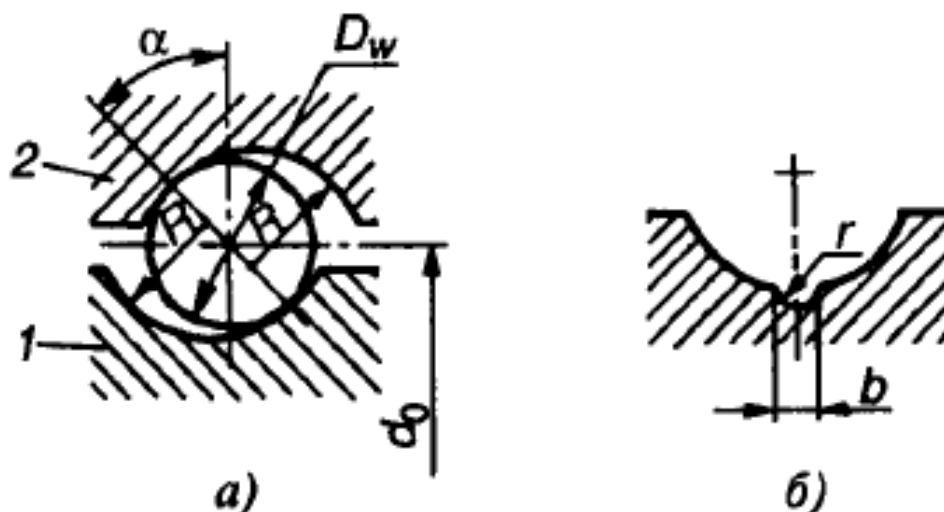


Рисунок 1.10 – Основные параметры полукруглого профиля резьбы

Наибольшее распространение получила резьба с полукруглым профилем. При этом вращение закрепленной от осевых перемещений гайки вызывает поступательное перемещение винта, или вращение закрепленного от осевых перемещений винта приводит к поступательному перемещению гайки. Основные геометрические параметры передачи: номинальный диаметр  $d_0$ , т.е. диаметр расположения центров тел качения, шаг  $P$  резьбы и диаметр  $D_w$  тел качения (обычно  $D_w=0,6P$ ) [6].

#### Устройство и принцип работы

При вращении винта шарики увлекаются в движение по винтовым канавкам, поступательно перемещают гайку и, выкатываясь из резьбы, через перепускной канал (канал возврата) возвращаются в исходное положение. Таким образом, перемещение шарика происходит по замкнутому внутри гайки контуру. Наиболее распространена конструкция ШВП, в которой канал возврата соединяет два соседних витка [6].

В станкостроении применяют трехконтурные гайки. Перепускной канал выполняют в специальном вкладыше, который вставляют в овальное окно гайки. В трехконтурной гайке предусматривают три вкладыша, расположенные под углом 120 градусов один к другому и смещенные по

длине гайки на один шаг резьбы по отношению друг к другу. Таким образом, шарики в гайке разделены на три (по числу рабочих витков) независимых группы. При работе передачи шарики, пройдя по винтовой канавке на винте путь, равный длине одного витка, выкатываются из резьбы в перепускной канал вкладыша и возвращаются обратно в исходное положение на тот же виток гайки [6].

#### **Достоинства шариковинтовой передачи [6]:**

- 1) Возможность создания больших осевых сил;
- 2) Малые потери на трение (КПД передачи 0,9 и выше);
- 3) Возможность получения поступательного перемещения с высокой точностью;
- 4) Малые габариты при высокой несущей способности;
- 5) Значительный ресурс, возможность реализации равномерно поступательного перемещения с высокой точностью, высокое быстродействие. ШВП могут быть легко приспособлены для работы с электрическими

#### **Недостатки шариковой винтовой передачи [6]:**

- 1) Сложность конструкции гайки;
- 2) Необходимость высокой точности изготовления и хорошей защиты передачи от загрязнений;
- 3) Отсутствие самоторможения.

Шариковые винтовые передачи применяют в механизмах точных перемещений, в следящих системах и в ответственных силовых передачах (станкостроение, робототехника, авиационная и космическая техника, атомная энергетика, кузнечно-прессовое оборудование и др.)

## 1.5.5 Червячные передачи

### Определение и классификация червячных передач

Червячная передача – это передача, два подвижных звена которой, червяк и червячное колесо, образуют совместно высшую зубчато-винтовую кинематическую пару, а с третьим, неподвижным звеном, низшие вращательные кинематические пары [7]. Червячная передача показана на (Рис.1.11).

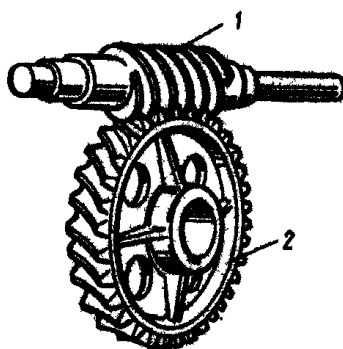


Рисунок 1.11 – Червячная передача: 1 – червяк, 2 – червячное колесо.

Как следует из определения, червячная передача обладает свойствами как зубчатой (червячное колесо на своем ободе несет зубчатый венец), так и винтовой (червяк имеет форму винта) передач. Червячная передача также, как и винтовая, характеризуется относительно высокими скоростями скольжения витков червяка по зубьям червячного колеса [7].

#### Классификация червячных передач:

1. По направлению линии витка червяка [7]:

1.1 правые (при наблюдении с торца червяка и его вращении по часовой стрелке червяк вкручивается в пространство - уходит от наблюдателя);

1.2 левые (при наблюдении с торца червяка и его вращении по часовой стрелке червяк выкручивается из пространства - идёт на наблюдателя);

2. По числу заходов червяка [7]:

2.1 с однозаходным червяком, имеющим один гребень, расположенный по винтовой линии, наложенной на делительный цилиндр червяка;

2.2 с двух-, трёх-, четырёх-, многозаходным червяком, имеющим соответственно 2, 3, 4 или более одинаковых гребней, расположенных по винтовой линии, наложенной на делительный цилиндр червяка;

3. По форме делительной поверхности червяка [7]:

3.1 с цилиндрическим червяком (образующая делительной поверхности – прямая линия);

3.2 с глобоидным червяком (образующая делительной поверхности – дуга окружности, совпадающая с окружностью делительной поверхности червячного колеса);

4. По положению червяка относительно червячного колеса [7]:

4.1 с нижним расположением червяка;

4.2 с верхним расположением червяка;

4.3 с боковым расположением червяка;

5. По пространственному положению вала червячного колеса [7]:

5.1 с горизонтальным валом червячного колеса;

5.2 с вертикальным валом червячного колеса;

6. По форме боковой (рабочей) поверхности витка червяка (рис. 1.12) [7]:

6.1 с архимедовым червяком, боковая поверхность его витков очерчена прямой линией в продольно-диаметральном сечении (обозначается ZA);

6.2 с конволютным червяком, боковая поверхность его витков очерчена прямой линией в нормальном к направлению витков сечении (обозначается ZN);

6.3 с эвольвентным червяком, боковая поверхность его витков в продольно-диаметральном сечении очерчена эвольвентой (обозначается ZI).

Эвольвентный червяк эквивалентен цилиндрическому эвольвентному косозубому колесу с числом зубьев, равным числу заходов червяка [7].

Форма боковой поверхности червяка мало влияет на работоспособность червячной передачи и, в основном, связана с выбранной технологией изготовления червяка (рис. 1.12).

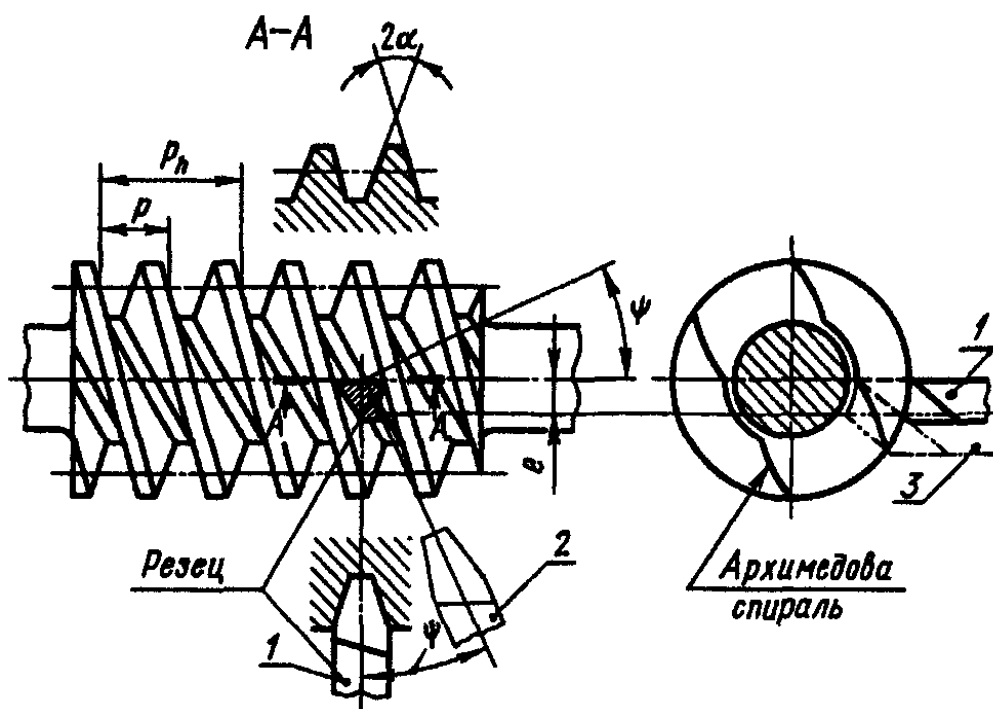


Рисунок 1.12 - Установка резца при нарезании архимедовых (1), конволютных (2) и эвольвентных (3) червяков.

#### Достоинства червячных передач [7]:

- 1) компактность и относительно небольшая масса конструкции;
- 2) возможность получения больших передаточных чисел в одной ступени – стандартные передачи  $u \leq 80$ , специальные –  $u \geq 300$ ;
- 3) высокая плавность и кинематическая точность;
- 4) низкий уровень шума и вибраций;
- 5) самоторможение при обратной передаче движения, то есть невозможность передачи движения в обратном направлении - от ведомого червячного колеса к ведущему червяку.

Недостатки червячные передач обусловлены большими скоростями скольжения витков червяка по зубьям червячного колеса, а также значительными осевыми силами, действующими на валах передачи [7].

### **Недостатки червячных передач:**

- 1) Низкий КПД и высокое тепловыделение;
- 2) повышенный износ и уменьшенный срок службы;
- 3) склонность к заеданию, что вызывает необходимость применения специальных антифрикционных материалов для изготовления зубчатого венца червячного колеса и специальных видов смазки с антизадирными присадками [7].

### **1.6 Выводы по обзору литературы**

Таким образом принято решение дальнейшее проектирование высокоскоростного электропривода вести на базе червячного редуктора, что позволит получить компактную конструкцию, эффект самоторможения, низкий уровень шума передачи, плавность хода. Для того чтобы обеспечить минимальные потери КПД, малое передаточное отношение ( $U \leq 7$ ), скорость открытия/закрытия регулирующего клапана осевого типа в 2-3 секунды и точность позиционирования нужно спроектировать пяти-заходный червячный редуктор. Для того чтобы вращательное движение червячного редуктора преобразовать в линейное будем использовать шариковую винтовую передачу для перемещение вертикального штока.

## Глава 2

### Проектирование червячного редуктора

#### 2.1 Исходные данные

Передаточное отношение для червячной передачи  $u = 6,6$ ;

Момент на выходе вала червячного колеса  $T_2 = 45$  Нм

Обороты электродвигателя  $n_{дв} = 3000$  об/мин

#### 2.2 Выбор электродвигателя

Так как, задан крутящий момент на выходном валу червячного колеса, то можно воспользоваться формулой для расчета мощности на выходе (2.1)

Требуемая мощность электродвигателя на выходном валу червячного Колеса:

$$N_{\text{треб}} = \frac{2\pi \cdot T_2 \cdot n_{\text{вых}}}{60} \quad (2.1)$$

Где  $M$  – заданный крутящий момент на выходном валу червячного колеса,

$n_{\text{вых}}$  – число оборотов на выходном валу червячного колеса.

$\pi$  – число 3,14.

$T_2$  – момент на выходе вала червячного колеса  $T_2 = 45$  Нм

Так как нам известно передаточное отношение и число оборотов электродвигателя найдем число оборотов на выходном валу червячного колеса по формуле (2.2):

$$n_{\text{вых}} = \frac{n_{\text{дв}}}{u} = \frac{3000}{6,6} = 450 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (2.2)$$

Из формулы (2.1) рассчитывается требуемую мощность электродвигателя  $N_{\text{треб}}$ .

$$N_{\text{треб}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 45 \cdot 450}{60} = 2,1 \text{ кВт.}$$

Где,  $T_2 = 45$  Нм ,  $n_{\text{вых}} = 450$  об/мин



Из формулы (2.1) определяем, что мощность электродвигателя будет равна 2,2 кВт.

Таким образом имеем характеристики (Табл.1), которыми должен обладать электродвигатель для разрабатываемого электропривода.

Таблица 2.1 – Технические характеристики электродвигателя

Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	3000
Мощность электродвигателя, кВт	2,2

### 2.3 Расчет червячной передачи.

Число витков червяка  $z_1$  принимаем в зависимости от передаточного числа: при  $u = 6,6$ , принимаем  $z_1 = 5$  [8].

Число зубьев червячного колеса найдем по формуле (2.3) [8]:

$$z_2 = z_1 \cdot u = 5 \cdot 6,6 = 33 \quad (2.3)$$

Где  $z_1$  – число витков червяка,

$u$  – передаточное число.

Выбираем материал червяка и венца червячного колеса. Принимаем для червяка сталь 20Х13 с закалкой сердцевины 35...38 НРС, твердость витков червяка 55...61 с последующим шлифованием [8].

Так как к редуктору не предъявляются специальные требования, то в целях экономии принимаем для венца червячного колеса бронзу БрА9ЖЗЛ (отливка в песчаную форму) [8].

Предварительно примем скорость скольжения в зацеплении  $V_s=5$  м/с. Тогда при длительной работе допускаемое контактное напряжение  $[\sigma_H] = 160$  МПа. Допускаемое напряжение изгиба для нереверсивной работы  $[\sigma_{0F}] = K_{FL}[\sigma_{0F}]'$ . В этой формуле  $K_{FL}=0,543$  при длительной работе, когда число циклов нагружения зуба  $N_\Sigma > 25 \cdot 10^7$ ;  $[\sigma_{0F}]' = 98$  МПа [8];

$$[\sigma_{0F}] = K_{FL}[\sigma_{0F}]' = 0,543 \cdot 98 = 53,3 \text{ МПа} \quad (2.4)$$

Принимаем предварительно коэффициент диаметра червяка  $q = 9$  и коэффициент нагрузки  $K = 1,2$ .

Определяем межосевое расстояние из условия контактной выносливости по формуле (2.5) [8]:

$$a_w = \left(\frac{Z_2}{q} + 1\right)^3 \sqrt{\left(\frac{170}{\frac{Z_2}{q} [\sigma_H]}\right)^2 T_2 \cdot K =}$$

$$= \left(\frac{33}{9} + 1\right)^3 \sqrt{\left(\frac{170}{\frac{33}{9} \cdot 160}\right)^2 45 \cdot 10^3 \cdot 1,2} = 77 \text{ мм} \quad (2.5)$$

Модуль червяка рассчитаем по формуле (2.6) [8]:

$$m = \frac{2 \cdot a_w}{Z_2 + q} = \frac{2 \cdot 76,8}{33 + 9} = 3,65 \text{ мм} \quad (2.6)$$

Принимаем по ГОСТ 2144-76 стандартные значения  $m = 3,5$  мм и  $q = 9$  мм.

Коэффициент смещения червяка и режущего инструмента при нарезании червячного колеса найдем по формуле (2.7) [8]:

$$x = (a_w/m) - 0,5 (Z_2 + q) = 1 \quad (2.7)$$

Фактическое значение межосевого расстояния при стандартных значениях  $m$  и  $q$  найдем по формуле (2.8) [8]:

$$a_w = \frac{m(Z_2 + q + 2x)}{2} = \frac{3,5(33 + 9 + 2)}{2} = 77 \text{ мм} \quad (2.8)$$

Основные размеры червяка [8]:

Делительный диаметр червяка рассчитаем по формуле (2.9):

$$d_1 = q \cdot m = 9 \cdot 3,5 = 31,5 \text{ мм} \quad (2.9)$$

Диаметр вершин витков червяка найдем по формуле (2.10):

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 9 \cdot 3,5 = 38,5 \text{ мм} \quad (2.10)$$

Диаметр впадин витков червяка рассчитаем по формуле (2.11):

$$d_{f1} = d_1 - 2,4m = 31,5 - 2,4 \cdot 3,5 = 23,1 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Длина нарезной части шлифованного червяка по формуле (2.12):

$$b_1 \geq (12,5 + 0,06Z_2)m + 25 = 75,68 \text{ мм} \quad (2.12)$$

Принимаем  $b_1 = 76 \text{ мм}$ ;

Делительный угол подъема витка найдем по формуле (2.13):

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{Z_1}{q} = \frac{5}{9} = 0,555 \quad (2.13)$$

Делительный угол подъема витка  $\gamma = 29^\circ 03' 17''$ .

Начальный угол подъема посчитаем по формуле (2.14):

$$\gamma_w = \operatorname{arctg} \left[ \frac{Z_1}{q + 2x} \right] = \operatorname{arctg} \left[ \frac{5}{9 + 2} \right] = 24^\circ 25' 4'' \quad (2.14)$$

Основные размеры венца червячного колеса [8]:

Делительный диаметр червячного колеса рассчитаем по формуле (2.15):

$$d_2 = Z_2 \cdot m = 33 \cdot 3,5 = 115,5 \text{ мм} \quad (2.15)$$

Диаметр вершин зубьев червячного колеса найдем по формуле (2.16):

$$d_{a2} = d_2 + 2(1 + x)m = 115,5 + 2(1 + 1) \cdot 3,5 = 129,5 \text{ мм} \quad (2.16)$$

Диаметр впадин зубьев червячного колеса найдем по формуле (2.17):

$$d_{f2} = d_2 - 2(1,2 - x)m = 115,5 - 2(1,2 - 1) \cdot 3,5 = 112,4 \text{ мм} \quad (2.17)$$

Наибольший диаметр червячного колеса найдем по формуле (2.18):

$$d_{aM2} = d_{a2} + \frac{6m}{Z_1 + k} = 129,5 + \frac{6 \cdot 3,5}{5 + 2} = 132,5 \text{ мм} \quad (2.18)$$

Ширину венца червячного колеса рассчитаем по формуле (2.19):

$$b_2 \leq 0,67 \cdot d_{a1} = 0,67 \cdot 38,5 = 25,8 \text{ мм} \quad (2.19)$$

Окружная скорость червяка будет равна по формуле (2.20):

$$v_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_{дв}}{60} = \frac{3,14 \cdot 31,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3000}{60} = 4,94 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (1.20)$$

Скорость скольжения найдем по формуле (21):

$$v_s = \frac{v_1}{\cos \gamma} = \frac{4,94}{\cos 29^\circ 03' 17''} = 5,65 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.21)$$

При этой скорости допускаемое контактное напряжение будет равно  $[\sigma_H] \approx 149$  МПа.

$$\text{Отклонение} \frac{160-149}{149} \cdot 100\% = 3,2\%$$

При скорости скольжения равной  $v_s = 5,65$  м/с приведенный коэффициент трения для безоловянной бронзы и шлифованного червяка будет равен:

$$f' = 0,028 \cdot 1,5 = 0,042$$

Приведенный угол трения будет равен  $\rho' = 1^\circ 35'$ .

КПД редуктора с учетом потерь в опорах, потерь на разбрызгивание и перемешивание масла будет равен по формуле (2.22):

$$\eta = (0,95 \div 0,96) \frac{\text{tg} \gamma}{\text{tg}(\gamma + \rho')} \approx 0,89 \quad (2.22)$$

Используя полученный по формуле КПД, уточняем вращающий момент на червяке по формуле (2.23):

$$T_1 = \frac{T_2}{\eta \cdot u} = \frac{45 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 6,6} = 7,6 \text{ Нм} \quad (2.23)$$

Выбираем 7-ю степень точности передачи. В этом случае коэффициент динамичности будет равен  $k_v = 1,1$

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки найдем по формуле (2.24):

$$k_\beta = 1 + \left(\frac{z_2}{\theta}\right)^3 (1 - x) \quad (2.24)$$

Где коэффициент деформации червяка при  $q=9$  и  $z=5$  равен  $\theta = 58$ .

Примем вспомогательный коэффициент  $x = 0,6$  (незначительные колебания нагрузки) и рассчитаем коэффициент неравномерности:

$$k_{\beta} = 1 + \left(\frac{33}{58}\right)^3 (1 - 0,6) = 1,07$$

Коэффициент нагрузки найдем по формуле (2.25):

$$K = k_{\beta} \cdot k_v = 1,07 \cdot 1,1 = 1,17 \quad (2.25)$$

Проверяем контактное напряжение по формуле (2.26):

$$\begin{aligned} \sigma_H &= \frac{170}{\frac{Z_2}{q}} \sqrt{\frac{M \cdot k \left(\frac{Z_2}{q} + 1\right)^3}{a_w^3}} = \frac{170}{\frac{33}{9}} \sqrt{\frac{45 \cdot 10^3 \cdot 1,17 \left(\frac{33}{9} + 1\right)^3}{77^3}} = \\ &= 158 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Результат расчета следует признать удовлетворительным, так как расчетное напряжение ниже допускаемого на 0,7% (разрешается до 15%).

Проверка прочности зубьев червячного колеса на изгиб.

Эквивалентное число зубьев найдем по формуле (2.27):

$$Z_v = \frac{Z_2}{\cos^3 \gamma} = \frac{33}{(\cos 29^{\circ}03'17'')^3} = 49,4 \quad (2.27)$$

Коэффициент формы зуба будет равен  $Y_F = 2,19$  [8]

Напряжение изгиба рассчитаем по формуле (2.28):

$$\sigma_F = \frac{1,2 \cdot M \cdot K \cdot Y_F}{Z_2 \cdot b_2 \cdot m^2} = \frac{1,2 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 1,17 \cdot 2,19}{33 \cdot 25,8 \cdot 3,5^2} = 13,2 \text{ МПа} \quad (2.28)$$

Что значительно меньше вычисленного выше  $[\sigma_{0F}] = 53,3 \text{ МПа}$ .

## 2.4 Проверка долговечности подшипников червячной передачи

Силы в червячном зацеплении показаны на (Рис. 2.1)

Окружная сила на червячном колесе, равная осевой силе на червяке найдем по формуле (2.29):

$$F_{t2} = F_{a1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 45 \cdot 10^3}{115,5} = 779,2 \text{ Н} \quad (2.29)$$

Окружная сила на червяке, равная осевой силе на колесе найдем по формуле (2.30):

$$F_{t1} = F_{a2} = \frac{2 \cdot T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 7,6 \cdot 10^3}{31,5} = 482,5 \text{ Н} \quad (2.30)$$

Радиальные силы на колесе и червяке найдем по формуле (2.31):

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t2} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 779,2 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 282,8 \text{ Н} \quad (2.31)$$

Направление сил представлены на (Рис.2.1); опоры, воспринимающие внешние осевые силы, обозначим цифрами 2 и 4.

Расстояние между опорами на валу червяка  $L_1 = 139 \text{ мм}$ . Делительный диаметр  $d_1 = 31,5 \text{ мм}$ .

Реакции опор (правую опору, воспринимающую внешнюю осевую силу  $F_{a1}$ , обозначим цифрой 2):

В плоскости XZ

$$R_{x1} = R_{x2} = \frac{F_{t1}}{2} = \frac{482,5}{2} = 241,2 \text{ Н};$$

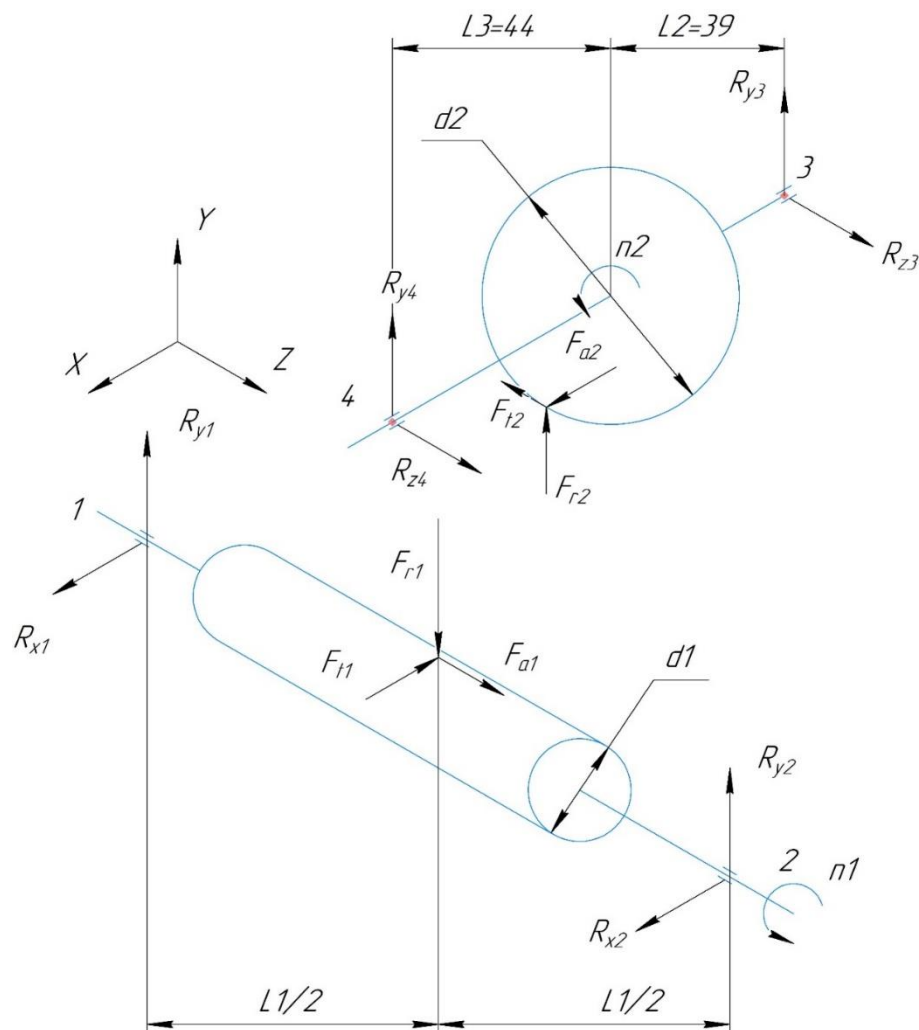


Рисунок 2.1 – Силы в червячном зацеплении и опорные реакции

В плоскости YZ:

$$-R_{y1} \cdot L_1 + F_{r1} \frac{L_1}{2} - F_{a1} \frac{d_1}{2} = 0$$

$$R_{y1} = \frac{F_{r1} \frac{L_1}{2} - F_{a1} \frac{d_1}{2}}{L_1};$$

$$R_{y1} = \frac{282,8 \cdot 69,5 - 779,2 \cdot 15,75}{139} = 53,1 \text{ Н};$$

$$R_{y2} \cdot L_1 + F_{r1} \frac{L_1}{2} - F_{a1} \frac{d_1}{2} = 0$$

$$R_{y2} = \frac{F_{r1} \frac{L_1}{2} + F_{a1} \frac{d_1}{2}}{L_1};$$

$$R_{y2} = \frac{282,8 \cdot 69,5 + 779,2 \cdot 15,75}{139} = 229,7 \text{ Н};$$

Проверка уравнения:  $R_{y1} + R_{y2} - F_{r1} = 53,1 + 229,7 - 282,8 = 0$

Суммарные реакции определим по формулам (2.32 и 2.33):

$$P_1 = P_{r1} = \sqrt{R_{x1}^2 + R_{y1}^2} = \sqrt{241,2^2 + 53,1^2} = 247 \text{ Н}, \quad (2.32)$$

$$P_2 = P_{r2} = \sqrt{R_{x2}^2 + R_{y2}^2} = \sqrt{241,2^2 + 229,7^2} = 333,1 \text{ Н}. \quad (2.33)$$

Осевые составляющие радиальных реакций для радиальных и радиально-упорных подшипников определим по формулам (2.34 и 2.35):

$$S_1 = e_1 P_{r1} = 0,22 \cdot 247 = 54,35 \text{ Н}, \quad (2.34)$$

$$S_2 = e_2 P_{r2} = 0,45 \cdot 333,1 = 149,9 \text{ Н}. \quad (2.35)$$

;Где для подшипников шариковых радиально-упорных с углом  $\alpha=12^\circ$  коэффициент осевого нагружения  $e_2 = 0,45$ , для радиальных шариковых подшипников  $e_1 = 0,22$ .

Осевые нагрузки подшипников [8]. В нашем случае  $S_1 < S_2$ ;  $P_{a1} \geq S_2 - S_1$ ; тогда  $P_{a1} = S_1 = 54,35 \text{ Н}$ ;  $P_{a2} = S_1 + F_{a1} = 54,35 + 779,2 = 833,55 \text{ Н}$ .

Рассмотрим левый (с индексом “1”) подшипник.

Отношение  $\frac{P_{a1}}{P_{r1}} = \frac{54,35}{247} = 0,22 = e_1$ ; осевую нагрузку не учитываем.

Эквивалентная нагрузка определим по формуле (2.36):

$$P_{\Sigma 1} = P_{r1} V K_6 K_T = 247 \cdot 1,3 = 321,1 \text{ Н} \quad (2.36)$$

Где для приводов  $K_6 = 1,3$  [8]

Коэффициенты  $V = 1$  и  $K_T = 1$  [8]

Долговечность определяем по более нагруженному подшипнику.

Рассмотрим правый подшипник (с индексом “2”).

Отношение  $\frac{P_{a2}}{P_{r2}} = \frac{833,55}{333,1} = 2,5 > e_2$

Поэтому эквивалентную нагрузку определяем с учетом осевой по формуле (2.37);

$$P_{\Sigma 2} = (X P_{r2} V + Y P_{a2}) K_6 K_T = (0,45 \cdot 333,1 \cdot 1 + 1,22 \cdot 833,55) \cdot 1,3 = 1,51 \text{ кН} \quad (2.37)$$

Где  $X = 0,45$  и  $Y = 1,22$  [8].

Расчетная долговечность (ресурс) подшипника в миллионах оборотов определим по формуле (2.38):

$$L = \left( \frac{C}{P_{\Sigma 2}} \right)^3 = \left( \frac{10,6}{1,51} \right)^3 = 346 \text{ млн. об} \quad (2.38)$$

Где  $C$  – динамическая грузоподъемность по каталогу 10,6 кН ;

$p$  – показатель степени для шарикоподшипников 3.

Расчетную долговечность в часах найдем по формуле (2.39):

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60n} = \frac{346 \cdot 10^6}{60 \cdot 3000} = 1920 \text{ ч.} \quad (2.39)$$

Где  $n = 3000$  об/мин – частота вращения червяка.



Расстояние между опорами на валу червячного колеса (см.Рис.2.1)  
 $L_2 = 39$  мм,  $L_3 = 44$  мм, делительный диаметр  $d_2 = 115,5$  мм.

Реакции опор (левую опору, воспринимающую внешнюю осевую силу  $F_{a2}$ , обозначим цифрой 4 и при определении осевого нагружения будем считать ее второй).

В плоскости XZ:

$$R_{z3} = R_{z4} = \frac{F_{t2}}{2} = \frac{779,2}{2} = 389,6 \text{ Н}$$

В плоскости YZ:

$$R_{y3}(L_2 + L_3) + F_{r2}L_3 - F_{a2} \frac{d_2}{2} = 0$$

$$R_{y3} = \frac{F_{a2} \frac{d_2}{2} - F_{r2}L_3}{L_2 + L_3};$$

$$R_{y3} = \frac{482,5 \cdot 57,75 - 282,8 \cdot 44}{44 + 39} = 185,8 \text{ Н};$$

$$R_{y4}(L_2 + L_3) - F_{r2}L_2 - F_{a2} \frac{d_2}{2} = 0$$

$$R_{y4} = \frac{F_{a2} \frac{d_2}{2} + F_{r2}L_2}{L_2 + L_3};$$

$$R_{y4} = \frac{482,5 \cdot 57,75 + 282,8 \cdot 39}{44 + 39} = 468,6 \text{ Н};$$

Проверка уравнения:

$$R_{y3} - R_{y4} + F_{r2} = 185,8 - 468,6 + 282,8 = 0$$

Суммарные реакции найдем по формулам (2.40 и 2.41):

$$P_3 = P_{r3} = \sqrt{R_{z3}^2 + R_{y3}^2} = \sqrt{389,6^2 + 185,8^2} = 431,6 \text{ Н}, \quad (2.40)$$

$$P_4 = P_{r4} = \sqrt{R_{z4}^2 + R_{y4}^2} = \sqrt{389,6^2 + 468,6^2} = 609,4 \text{ Н}, \quad (2.41)$$

Осевые составляющие радиальных реакций конических подшипников найдем по формулам (2.42 и 2.43)

$$S_3 = 0,83eP_{r3} = 0,83 \cdot 0,41 \cdot 431,6 = 146,9\text{Н}, \quad (2.42)$$

$$S_4 = 0,83eP_{r4} = 0,83 \cdot 0,41 \cdot 609,4 = 207,4\text{Н}, \quad (2.43)$$

Где для конических подшипников коэффициент осевого нагружения  $e = 0,41$  [8].

Осевые нагрузки подшипников [8]. В нашем случае  $S_3 < S_4$ ;  $P_{a3} \geq S_4 - S_3$ ; тогда  $P_{a3} = S_3 = 146,9$  Н;  $P_{a4} = S_3 + F_{a2} = 146,9 + 482,5 = 629,4$  Н

Для правого (с индексом “1”) подшипника.

Отношение  $\frac{P_{a3}}{P_{r3}} = \frac{146,9}{431,6} = 0,34 < e$ , поэтому при подсчете

эквивалентной нагрузки осевые силы не учитываем.

Эквивалентная нагрузка по формуле (2.44) будет равна:

$$P_{Э3} = P_{r3}VK_6K_T = 431,6 \cdot 1,3 = 561,1 \text{ Н} \quad (2.44)$$

Долговечность определим для левого подшипника (с индексом “4”), для которого эквивалентная нагрузка значительно больше.

Для левого (индекс “4”) подшипника  $\frac{P_{a4}}{P_{r4}} = \frac{629,4}{609,4} = 1,03 > e$ ; мы должны учитывать осевые силы и определять эквивалентную нагрузку по формуле (2.45);

Примем  $K_B = 1,3$ ;  $V = 1$  и  $K_T = 1$ , для конических подшипников при  $\frac{P_{a4}}{P_{r4}} > e$  коэффициенты  $X = 0,4$  и  $Y = 1,459$  [8].

$$P_{Э4} = (XP_{r4}V + YP_{a4})K_6K_T = (0,4 \cdot 609,4 \cdot 1 + 1,459 \cdot 629,4) \cdot 1,3 = 1,51 \text{ кН} \quad (2.45)$$

Расчетную долговечность (ресурс) подшипника в миллионах оборотов рассчитаем по формуле (2.46):

$$L = \left(\frac{C}{P_{Э4}}\right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{80}{1,51}\right)^{\frac{10}{3}} = 550000 \text{ млн. об} \quad (2.46)$$

Где  $C$  – динамическая грузоподъемность по каталогу 80 кН ;

$p$  – показатель степени для шарикоподшипников 10/3.

Найдем расчетную долговечность в часах по формуле (47):

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60n} = \frac{550000 \cdot 10^6}{60 \cdot 450} = 20,3 \cdot 10^6 \text{ ч.} \quad (2.47)$$

Где  $n = 450$  об/мин – частота вращения вала червячного колеса.

## 2.5 Проверка прочности шлицевых соединений

Для облегчения сборки и технологичности деталей было решено использовать шлицевое прямозубое соединение на вал червячный одевается кулачковая муфта с внутренними шлицами кулачковая муфта зацепляется с другой кулачковой муфтой вала электродвигателя.

Рассмотрим шлицевое соединение муфты на двигатель и вала червячного.

Произведем расчет на смятие по формуле (2.48) [6]:

$$\frac{10^3 T_{max}}{\varphi \cdot F \cdot l \cdot r_{cp}} \leq [\sigma_{см}] \quad (2.48)$$

Где,  $T_{max}$  – наибольший допустимый вращательный момент, передаваемый соединением, Нм;

$\varphi$  – коэффициент учитывающий неравномерность распределения нагрузок по рабочим поверхностям зубьев; обычно принимают  $\varphi = 0,75$ ;

$l$  – рабочая длина зуба в нашем случае 16, мм;

$F$  – площадь всех боковых поверхностей зубьев с одной стороны на 1мм

длины, мм<sup>2</sup>/мм;

Для прямобочных зубьев площадь всех боковых поверхностей найдем по формуле (2.49) [6]:

$$F = z \left[ \frac{D_B - d_a}{2} - (f + r) \right] \quad (2.49)$$

Здесь  $z$  – число зубьев в нашем случае равен 5;

$D_B$  – наружный диаметр зубьев вала в нашем случае равен 15, мм;

$d_a$  – диаметр отверстия шлицевой втулки в нашем случае равен 12, мм;

$f$  – размер фаски в нашем случае 0,5, мм;

$r$  – радиус закругления в нашем случае 0,2, мм;

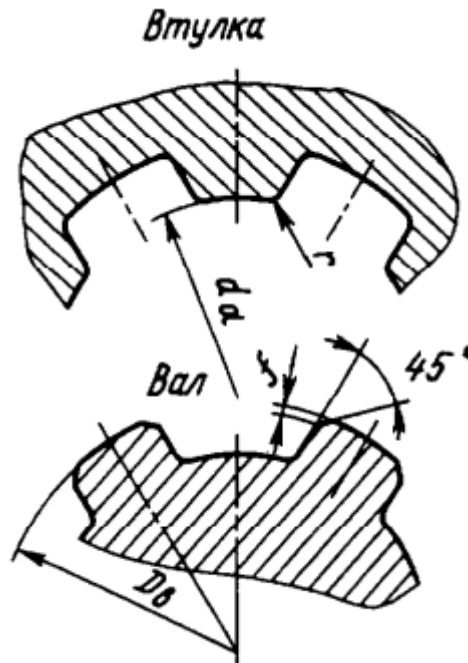


Рисунок 2.2 – Шлицевое соединение

Для прямобочных зубьев средний радиус найдем по формуле (2.50):

$$r_{\text{cp}} = \frac{D_B + d_a}{4} \quad (2.50)$$

$[\sigma_{\text{см}}]$  – допускаемое напряжение на смятие, МПа [6].

Рассчитаем средний радиус:

$$r_{\text{cp}} = \frac{12 + 15}{4} = 6,75 \text{ мм}$$

Рассчитаем площадь всех боковых соединений:

$$F = 5 \left[ \frac{15 - 12}{2} - (0,5 + 0,2) \right] = 4 \text{ мм}^2/\text{мм}$$

Таким образом, рассчитав нужные величины проверим условие прочности на смятие по формуле (48):

$$[\sigma_{см}] \geq \frac{10^3 \cdot 7,6}{0,75 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 6,75} = 23,4 \text{ МПа}$$

Для подвижных соединений без нагрузки с закаленными поверхностями  $[\sigma_{см}] = 20 \dots 35 \text{ МПа}$  [6].

В итоге, при числе зубьев  $Z=5$  Условие на смятие выполняется.

## 2.6 Подбор соединительной муфты

Соединение вала электродвигателя и червячного вала редуктора – кулачковая муфта и шлицевое соединение. Подвижное шлицевое соединение служит для того чтобы отсоединять с помощью ручного дублера в аварийных ситуациях или ремонтных работах вал электродвигатель от червячного вала.

## 2.7 Подбор шпонок и проверочный расчет шпоночного соединения

Для вала электродвигателя  $d_{к2} = 22 \text{ мм}$ , передающего вращающий момент на втулку шлицевую  $M=7,6 \text{ Нм}$ .

Выбираем призматическую шпонку со скругленными концами (по ГОСТ 23360-78 исполнение 1, Рис.2.3)

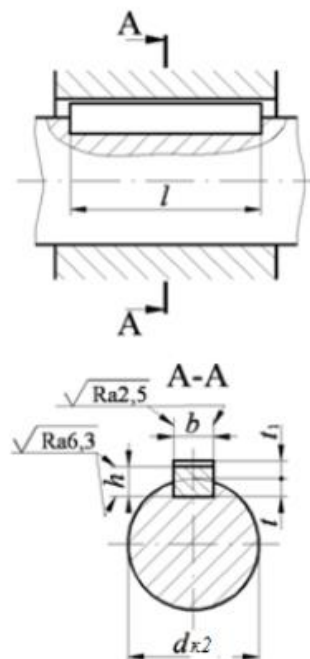


Рисунок 2.3 – Геометрия шпоночного соединения

$b=6$  мм – ширина шпонки,  $h=6$  мм – высота шпонки,  $t=3,5$  мм – глубина паза на валу,  $t_1=2,8$  мм – глубина паза на муфте, Радиус закругления пазов  $0,16 < r < 0,25$  мм,

Учитывая длину вала  $l_{2\text{вых}} = 50$  мм, принимаем длину шпонки  $l_{\text{ш}} = 30$  мм.

Рассчитаем длину шпонки согласно формуле (2.51):

$$l_p = l_{\text{ш}} - b = 30 - 6 = 24 \text{ мм} \quad (2.51)$$

Принимаем материал шпонки сталь 45 с пределом текучести  $\sigma_T = 350$  МПа, допускаемое напряжения  $\sigma_{\text{см}} = 100 \dots 120$  Мпа для стали.

Проверим соединение на смятие по формуле (2.52):

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2M}{d_{k2}(h-t) \cdot l_p} = \frac{2 \cdot 7,6}{22 \cdot 10^{-3}(6-3,5) \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 10^{-3}} = 11,51 \text{ МПа} \quad (2.52)$$

$$\sigma_{\text{см}} = 11,51 \text{ МПа} = 100 \text{ Мпа}$$

Проверим соединение на срез по формуле (2.53):

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2M}{d_{k2} \cdot A_{\text{ср}}} = \frac{2 \cdot 7,6}{22 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \leq [\sigma_{\text{см}}] \cdot 10^{-3}} = 3,83 \text{ МПа} \quad (2.53)$$

Где  $A_{\text{ср}}$  – площадь среза шпонки найдем по формуле (2.54):

$$A_{\text{ср}} = b \cdot l_{\text{ш}} = 30 \cdot 6 = 180 \text{ мм}^2 \quad (2.54)$$

$$\tau_{\text{ср}} = 3,83 \text{ МПа} \leq [\tau_{\text{ср}}] = 60 \text{ Мпа}$$

Исходя из расчетов прочность шпоночного соединения обеспечена.

## 2.8 Уточненный расчет валов

Червячный вал проверять на прочность не следует, так как размеры его поперечных сечений, принятые при конструировании после расчета геометрических характеристик ( $d_1 = 31,5$  мм,  $d_{a1} = 38,5$  мм, и  $d_{f1} = 23,1$  мм), значительно превосходят те, которые могли быть получены расчетом на кручение. Диаметр выходного конца вала равен  $d_{в1} = 15$  мм.

Проверим стрелу прогиба червяка (расчет на жесткость).

Приведенный момент инерции поперечного сечения червяка найдем по формуле (2.55) [8]:

$$J_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d_{f1}^4}{64} \left( 0,375 + 0,625 \frac{d_{a1}}{d_{f1}} \right) =$$

$$\frac{3,14 \cdot 23,1^4}{64} \left( 0,375 + 0,625 \frac{38,5}{23,1} \right) = 1,98 \cdot 10^4 \text{ мм}^4 \quad (2.55)$$

Рассчитаем стрелу прогиба по формуле (2.56):

$$f = \frac{l_1^3 \sqrt{F_{r1}^2 + F_{r2}^2}}{48EJ_{\text{пр}}} = \frac{139^3 \sqrt{482,5^2 + 282,8^2}}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,98 \cdot 10^4} = 0,00752 \text{ мм} \quad (2.56)$$

Допускаемый прогиб рассчитывается по формуле (2.57):

$$[f] = (0,005 \div 0,01)m = (0,005 \div 0,01)3,5 = 0,017 \div 0,035 \text{ мм} \quad (2.57)$$

Исходя из расчета жесткость обеспечена, так как

$$f = 0,00752 \text{ мм} < [f]$$

При проверочном расчете валы рассматривают как прямые брусья, лежащие на шарнирных опорах и работающие на изгиб и на кручение. На данном этапе учитываем не только крутящий, но и изгибающие моменты. Выполняется на этапе эскизной компоновки, когда предварительно выбраны подшипники, известна длина всех участков вала, известно положение всех деталей на валу, рассчитаны силы, действующие на вал [8].

Расстояние между опорами на валу червяка  $L_1 = 139$  мм. Делительный диаметр  $d_1 = 31,5$  мм. Осевая сила на червяке  $F_{a1} = 779,2$  Н. Радиальная сила на червяка  $F_{r1} = 282,8$  Н. Окружная сила на червяке  $F_{t1} = 482,5$  Н. Крутящий момент на червяке  $M_{\text{кр}} = 7,6$  Нм. Реакции опор, посчитанные ранее назовем по-другому:

$$R_{y1} = R_{yA1} = 53,1 \text{ Н}, R_{y2} = R_{yB1} = 229,7 \text{ Н}, R_{x1} = R_{xA1} = 241,2 \text{ Н},$$

$$R_{x2} = R_{xB1} = 241,2 \text{ Н}.$$

Рассчитаем ведущий вал червячный (Рис.2.4)

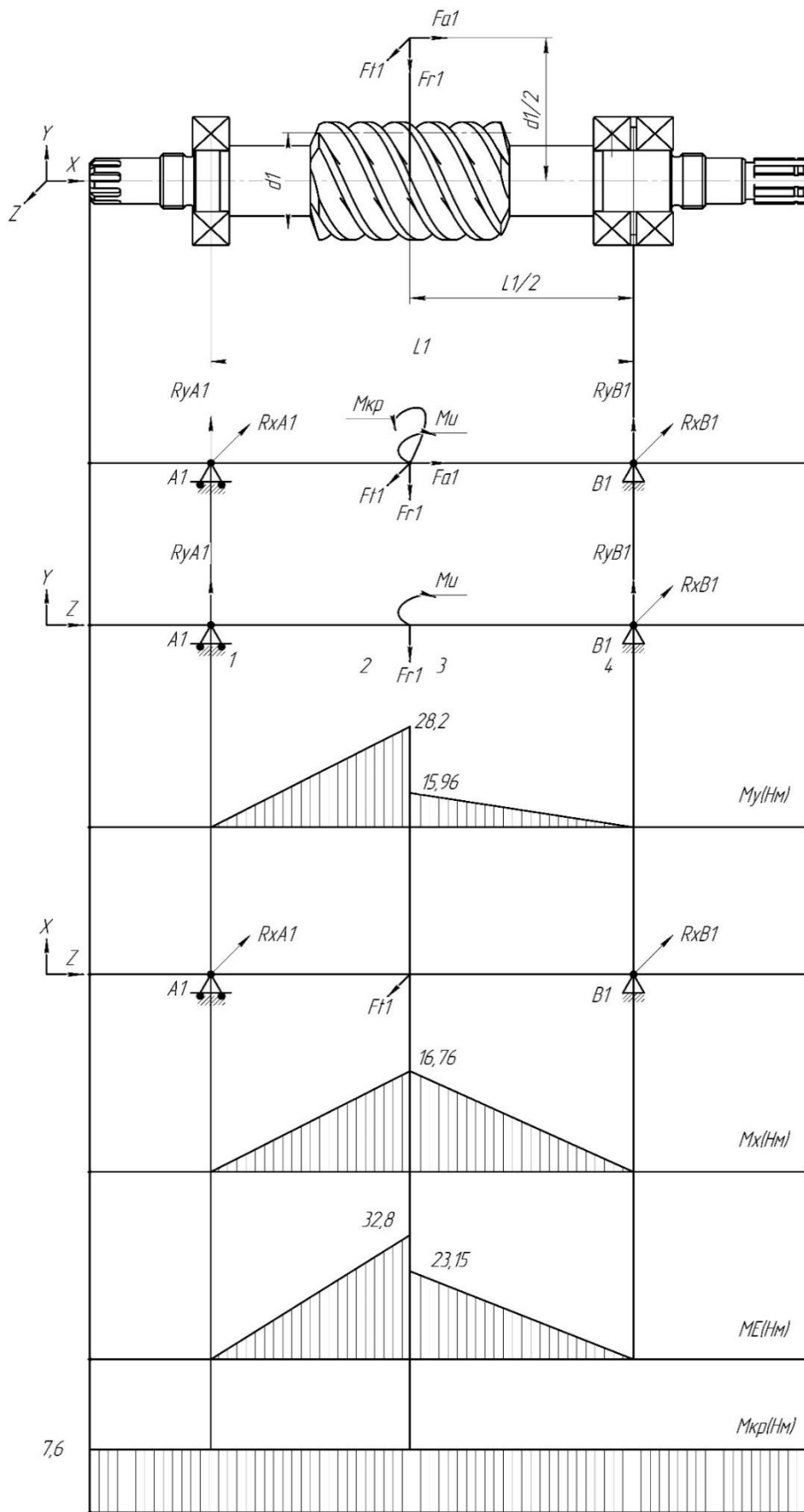


Рисунок 2.4 – Эпюры изгибающих и крутящих моментов на валу червячном



Плоскость YZ

Рассчитаем изгибающий момент составив уравнения:

$$M_{y1} = 0,$$

$$M_{y2} = R_{yB1} \cdot \frac{L_1}{2} + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2} = 229,7 \cdot \frac{139}{2} + 779,2 \cdot \frac{31,5}{2} = 28,2 \text{ Нм},$$

$$M_{y3} = R_{yB1} \cdot \frac{L_1}{2} = 229,7 \cdot \frac{139}{2} = 15,96 \text{ Нм},$$

$$M_{y4} = 0.$$

Плоскость XZ

Рассчитаем изгибающий момент составив уравнения:

$$M_{x1} = 0,$$

$$M_{x2} = R_{xB1} \cdot \frac{L_1}{2} = 241,2 \cdot \frac{139}{2} = 16,76 \text{ Нм},$$

$$M_{x2} = M_{x3} = 16,76 \text{ Нм},$$

$$M_{x4} = 0.$$

Суммарный изгибающий момент найдем по формуле (2.58):

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (2.58)$$

Найдем суммарный изгибающий момент для всех 4 сечений:

$$M_{\Sigma1} = 0,$$

$$M_{\Sigma2} = \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2} = \sqrt{16,76^2 + 28,2^2} = 32,8 \text{ Нм},$$

$$M_{\Sigma3} = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2} = \sqrt{16,76^2 + 15,96^2} = 23,15 \text{ Нм},$$

$$M_{\Sigma4} = 0$$

Опасным сечением является сечение 2:

$$M_{\Sigma2} = 32,8 \text{ Нм}$$

Максимальное напряжение изгиба найдем по формуле (2.59):

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\Sigma 2}}{0,1 d_{f1}^3} = \frac{32,8}{0,1 \cdot 0,0231^3} = 26,6 \text{ МПа} \quad (2.59)$$

Максимальное напряжение кручения найдем по формуле (2.60):

$$\tau_{\text{к}} = \frac{M_{\text{кр}}}{0,2 d_{f1}^3} = \frac{7,6}{0,2 \cdot 0,0231^3} = 3,08 \text{ МПа} \quad (2.60)$$

Условие прочности по формуле (2.61):

$$\sigma_{\text{р}} = \sqrt{\sigma_{\text{и}}^2 + 3\tau_{\text{к}}^2} \leq [\sigma] \quad (2.61)$$

Допускаемые напряжения можно принять по формуле (2.62):

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{[S_m]} = \frac{1390}{3} = 463 \text{ МПа} \quad (2.62)$$

Где  $\sigma_{\text{т}}$  – предел текучести материала сталь 40Х13 вала червячного  
 $[S_m] = 2 - 3$ , рекомендуемый коэффициент запаса прочности  
 по пределу текучести.

Рассчитаем максимальное эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{\text{р}} = \sqrt{\sigma_{\text{и}}^2 + 3\tau_{\text{к}}^2} = \sqrt{26,6^2 + 3 \cdot 3,08^2} = 28,2 \text{ МПа} \leq 463 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

Расстояние между опорами на валу червячного колеса  $L_2 = 39$  мм.  
 $L_3 = 44$  мм. Делительный диаметр  $d_2 = 115,5$  мм. Осевая сила на колесе  
 $F_{a2} = 482,5$  Н. Радиальная сила на колесе  $F_{r2} = 282,8$  Н. Посадочный  
 диаметр для колеса  $d_{k2} = 82$  мм. Окружная сила на колесе  $F_{t2} =$   
 $779,2$  Н. Крутящий момент на колесе  $M_{\text{кр}} = 45$  Нм. Реакции опор,  
 посчитанные ранее назовем по-другому:

$$R_{y3} = R_{yA2} = 185,8 \text{ Н}, R_{y4} = R_{yB2} = 468,6 \text{ Н}, R_{z3} = R_{zA2} = 389,6 \text{ Н}, R_{z4} =$$

$$= R_{zB2} = 389,6 \text{ Н}.$$

Рассчитаем ведомый вал червячного колеса (Рис.2.5)

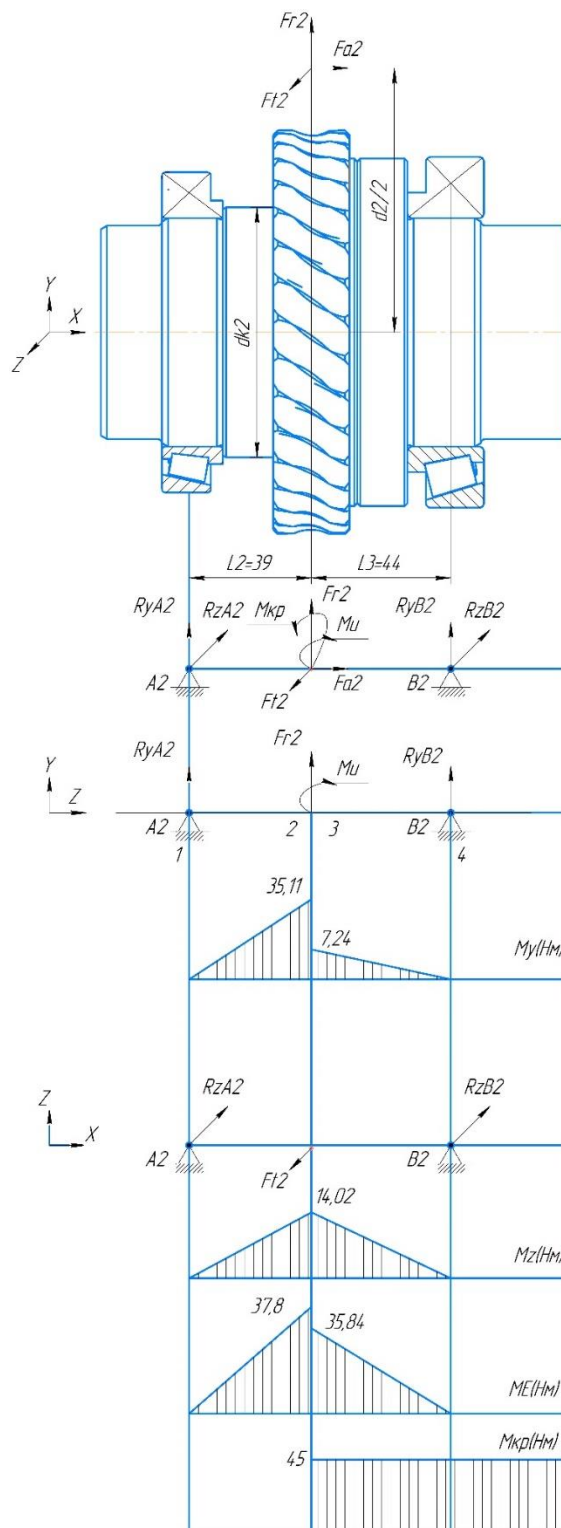


Рисунок 2.5 – Эпюры изгибающих и крутящих моментов на валу колеса

Плоскость YZ

Рассчитаем изгибающий момент составив уравнения:

$$M_{y1} = 0,$$

$$M_{y2} = R_{yA2} \cdot L_2 + F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} = 185,8 \cdot 39 + 482,5 \cdot \frac{115,5}{2} = 35,11 \text{ Нм},$$

$$M_{y3} = R_{yA2} \cdot L_2 = 185,8 \cdot 39 = 7,24 \text{ Нм},$$

$$M_{y4} = 0.$$

Плоскость ZX

Рассчитаем изгибающий момент составив уравнения:

$$M_{z1} = 0,$$

$$M_{z2} = R_{zA2} \cdot L_2 = 389,6 \cdot 39 = 14,02 \text{ Нм},$$

$$M_{z2} = M_{z3} = 14,02 \text{ Нм},$$

$$M_{z4} = 0.$$

Найдем суммарный изгибающий момент для всех 4 сечений:

$$M_{\Sigma 1} = 0,$$

$$M_{\Sigma 2} = \sqrt{M_{z2}^2 + M_{y2}^2} = \sqrt{14,02^2 + 35,11^2} = 37,8 \text{ Нм},$$

$$M_{\Sigma 3} = \sqrt{M_{z3}^2 + M_{y3}^2} = \sqrt{7,24^2 + 35,11^2} = 35,84 \text{ Нм},$$

$$M_{\Sigma 4} = 0$$

Опасным сечением является сечение 2:

$$M_{\Sigma 2} = 37,8 \text{ Нм}$$

Максимальное напряжение изгиба найдем по формуле (2.63):

$$\sigma_{и} = \frac{M_{\Sigma 2}}{0,1 d_{k2}^3} = \frac{37,8}{0,1 \cdot 0,082^3} = 0,68 \text{ МПа} \quad (2.63)$$

Максимальное напряжение кручения найдем по формуле (2.64):

$$\tau_{к} = \frac{M_{кр}}{0,2 d_{k2}^3} = \frac{45}{0,2 \cdot 0,082^3} = 0,4 \text{ МПа} \quad (2.64)$$

Допускаемые напряжения можно принять по формуле (2.65):

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{т}}{[S_m]} = \frac{450}{3} = 150 \text{ МПа} \quad (2.65)$$

Где  $\sigma_T$  – предел текучести материала Сталь 20Х13 вала червячного колеса

$[S_m] = 2 - 3$ , рекомендуемый коэффициент запаса прочности по пределу текучести.

Рассчитаем максимальное эквивалентное напряжение:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_n^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{0,68^2 + 3 \cdot 0,4^2} = 0,96 \text{ МПа} \leq 150 \text{ МПа}$$

Условие выполняется.

## 2.9 Выбор посадок и расчет полей допусков

Посадка червячного колеса на вал  $\frac{H7}{k6}$  диаметр 82 мм по ГОСТ 25347-82.

Определяем предельные отклонения, предельные размеры, допуски, предельные зазоры или натяги, допуск посадки (Рис.2.6).

Посадка в системе отверстия, вид посадки переходная. Номинальный размер  $D = 82$  мм.

Детали соединения:

Отверстие диаметром 82, квалитет 7;

Вал диаметром 82, квалитет 6;

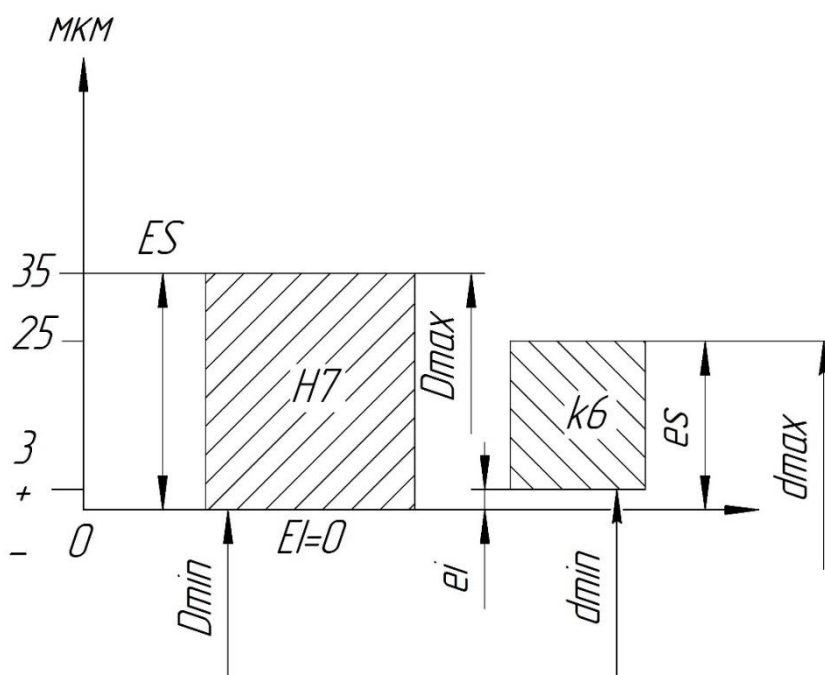


Рисунок 2.6 – Схема поля допуска посадки червячного колеса на вал  
Предельные отклонения на отверстие червячного колеса по ГОСТ 25347-92:  $ES = +0,035$  мм = 35 мкм,  $EI = 0$ .

Предельные отклонения на вал червячного колеса по ГОСТ 25347-92:  $es = +0,025$  мм = 25 мкм,  $EI = +0,003 = 3$  мкм.

Рассчитаем предельные размеры на отверстие червячного колеса  $D_{max}$  и  $D_{min}$  по формулам (2.66 и 2.67):

$$D_{max} = D + ES = 82 + (+0,035) = 82,035 \text{ мм} \quad (2.66)$$

$$D_{min} = D + EI = 82 + 0 = 82 \text{ мм} \quad (2.67)$$

Наибольший  $\varnothing 82,035$  мм, Наименьший  $\varnothing 82$ .

Теперь рассчитаем предельные размеры на вал червячного колеса  $d_{max}$  и  $d_{min}$  по формулам (2.68 и 2.69):

$$d_{max} = D + es = 82 + (+0,025) = 82,025 \text{ мм} \quad (2.68)$$

$$d_{min} = D + ei = 82 + (+0,003) = 82,003 \text{ мм} \quad (2.69)$$

Наибольший  $\varnothing 82,025$  мм, Наименьший  $\varnothing 82,003$ .

Рассчитаем допуск на отверстие червячного колеса используя предельные размеры или предельные отклонения по формуле (2.70):

$$TD = D_{max} - D_{min} = ES - EI = 82,035 - 82 = 0,035 - 0 = 0,035 \text{ мм} \quad (2.70)$$

Рассчитаем допуск на вал червячного колеса используя предельные размеры или предельные отклонения по формуле (2.71):

$$Td = d_{max} - d_{min} = es - ei \quad (2.71)$$

$$Td = 82,025 - 82,003 = 0,025 - 0,003 = 0,022 \text{ мм}$$

Основное отклонение отверстия червячного колеса равно нулю, основное отклонения вала червячного колеса равно  $+0,003$  мм.

Рассчитаем предельные зазоры и натяги для данного сопряжения.

Наибольший зазор найдем по формуле (2.72):

$$S_{max} = ES - ei = 0,035 - 0,003 = 0,032 \text{ мм} \quad (2.72)$$

Наименьший зазор найдем по формуле (2.73):

$$S_{min} = EI - es = 0 - 0,025 = -0,025 \text{ мм} \quad (2.73)$$

Средний зазор найдем по формуле (2.74):

$$S_m = \frac{S_{min} + S_{max}}{2} = \frac{-0,025 + 0,032}{2} = 0,007 \text{ мм} \quad (2.74)$$

Наибольший натяг найдем по формуле (2.75):

$$N_{max} = es - EI = 0,025 - 0 = 0,025 \text{ мм} \quad (2.75)$$

Наименьший натяг найдем по формуле (2.76):

$$N_{min} = ei - ES = 0,003 - 0,035 = -0,032 \text{ мм} \quad (2.76)$$

Средний натяг найдем по формуле (2.77):

$$N_m = \frac{N_{min} + N_{max}}{2} = \frac{-0,032 + 0,025}{2} = -0,007 \text{ мм} \quad (2.77)$$

Допуск посадки найдем по формуле (2.78):

$$TS(TN) = S_{max} + N_{max} = 0,032 + 0,025 = 0,057 \text{ мм} \quad (2.78)$$

Шейки под подшипники червячного вала и червячного колеса выполняем с отклонением вала кб.

## Глава 3

### Сборка привода

Сборку производят в соответствии со сборочным чертежом привода.

Так как привод состоит из 5 сборочных единиц изначально нам придется собрать каждую из сборочных единиц прежде чем начать собирать привод

Привод состоит из: Редуктора червячного, ручного дублера, редуктора линейного ШВП, адаптера, опоры, модуля датчика положения.

В процессе сборки все подшипники и посадочные места смазываются консистентной смазкой ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433-80.

Все винты закрутить на фикстор резьбы Loctite 243.

Сборку линейного редуктора ШВП начнем со сборки фланца подшипникового верхнего 3:

Сборка привода начинается со сборки червячного редуктора.

Сборка червячного редуктора.

Сборку червячного редуктора начнем со сборки полости вала червячного колеса 13:

1. Устанавливаем на фланец колеса 11 резиновые кольца 40 и 41.
2. Устанавливаем во фланец колеса 11 манжету 47 и кольцо дистанционное 17.
3. Устанавливаем наружное кольцо подшипника 51 во Фланец колеса 11.
4. На корпус 5 ставим кольцо дистанционное фланца 2 поз 22 и устанавливаем фланец колеса в сборе в корпус 5.
5. Устанавливаем на фланец колеса 11 крышку фланца колеса 10 и притягиваем винтами 35 с шайбами 54 и 56.
6. На вал червячного колеса 13 устанавливаем червячное колесо 14 и притягиваем винтами 33 с шайбой 55.



7. К червячному колесу 14 на вал червячного колеса 13 устанавливаем зубчатое колесо 15 и притягиваем винтами 32 с шайбами 55 и 58.
8. На вал червячного колеса 13 устанавливаем внутреннее кольцо подшипника 51 со стороны зубчатого колеса 15.
9. С другой стороны вала червячного колеса 13 устанавливаем внутренне кольцо подшипника 50.
10. Устанавливаем вал червячного колеса в сборе 13 в корпус 5 до упора.
11. Устанавливаем на фланец колеса F10 поз 12 кольцо 39.
12. Устанавливаем в фланец колеса F10 поз 12 манжету 47 и наружное кольцо подшипника 50.
13. Устанавливаем на корпус 5 кольцо дистанционное фланца 1 поз. 21 и за ним устанавливаем фланец колеса F10 поз 12 в сборе до упора и притягиваем винтами 34 и шайбой 56
14. Крышки не закручивать до конца первый раз проверяем вращения вала червячного колеса 13 чтобы было плавное без заеданий.  
Сборка под узла вала червячного колеса 13 закончена.  
Теперь начнем сборку с полости червячного вала 16:
  1. Устанавливаем на червячный вал 16 стопорное кольцо 38, кольцо дистанционное червяка 1 поз 19.
  2. Устанавливаем внутреннее кольцо подшипника 49 на вал червячный 16.
  3. Накручиваем гайку в сборе 1 на червячный вал 16 и затягиваем до упора.
  4. Наружное кольцо подшипника 49 устанавливаем в фланец червяка на дублер 7.
  5. Устанавливаем червячный вал в сборе 16 в фланец червяка на дублер 7 до упора и закрепляем стопорным кольцом 38.

6. Устанавливаем фланец червяка на дублер 7 в сборе с валом червячным 16 в корпус 5 и входим в зацепление червячной передачи проворачивая вал червячного колеса 13 или вал червячный 16.
7. Первый подшипник 48 устанавливаем во фланец подшипниковый 8 затем устанавливаем дистанционное кольцо червяка 2 поз. 20 затем второй подшипник 48.
8. Устанавливаем на фланец подшипниковый 8 кольцо 44 и 42.
9. Фланец подшипниковый в сборе 8 устанавливаем в корпус 5 и на вал червячный 16 затем закручиваем на вал червячный 16 гайку в сборе 1.
10. Устанавливаем на фланец двигателя 9 кольцо 44 и 43.
11. Устанавливаем фланец к двигателю 9 в фланец подшипниковый 8 и притягиваем винтами 30 и шайбами 54,56 к корпусу 5.
12. Проверяем осевой люфт подшипников 48 при необходимости убираем люфт гайкой в сборе 1 через пространство под манжету 46.
13. Проверяем общее вращение редуктора чтобы было плавное без заеданий.
14. После проверки плавности движения проверяем пятно контакта передачи намазав на червяк пасту.
15. Устанавливаем манжету 46 в фланец подшипниковый 8 и поджимаем стопорным кольцом 63.
16. Устанавливаем манжету 46 в фланец червяка на дублер 7 и поджимаем стопорным кольцом 63.
17. Устанавливаем муфту червяка 18 на шлицевое соединение червячного вала 16 и поджать стопорным кольцом 36.
18. Установить пружину лепестковую 23 на фланец к двигателю 9 и притянуть винтами 62 и шайбами 60,61.
19. Прикрутить 3 пробки 52 к корпусу 5.

20. Прикрутить 2 рым-болта 53 к корпусу 5.

Сборка червячного редуктора окончена.

#### Сборка линейного редуктора ШВП

Винт ШВП при установке смазать ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433-80.

Сборку линейного редуктора ШВП начнем со сборки фланца подшипникового верхнего 3:

1. Во фланец подшипниковый верхний 3 устанавливаем манжету 20.
2. Устанавливаем на фланец подшипниковый верхний 3 кольцо 13 и 17.
3. Во втулку 5 устанавливаем гайку 30.
4. На втулку 5 устанавливаем внутренне кольцо подшипника 22.
5. На гайку 30 устанавливаем гайку 6 и стягиваем винтами 15 и шайбами 25.
6. На гайку 6 устанавливаем внутреннее кольцо подшипника 23.
7. Фланец в сборе 3 устанавливаем в корпус ШВП 2 и прикручиваем винтами 14 и шайбами 26.
8. В корпус 2 устанавливаем наружное кольцо подшипника 22.
9. Гайку в сборе 6 устанавливаем в корпус 2.
10. Устанавливаем наружное кольцо подшипника 23 в корпус в сборе 2.
11. Устанавливаем кольцо дистанционное 7 в корпус в сборе 2.
12. Устанавливаем на фланец подшипниковый нижний 4 кольцо 18.
13. Устанавливаем фланец подшипниковый 4 в корпус в сборе 2 и фиксируем винтами 14 и шайбами 26.
14. Во фланец подшипниковый нижний 4 устанавливаем манжету 19.
15. Закручиваем винт ШВП 8 в гайку 30.

16.Закручиваем масленку 21 в корпус 2.

17. Устанавливаем шайбу 16 в корпус 2 и закручиваем пробкой 24.

18.Пробуем вращать втулку 5 и проверяем чтобы винт ШВП 8 вращался свободно без заклинивания и закусывания.

Сборка линейного редуктора ШВП окончена.

Сборка адаптера.

Сборку адаптера начнем со сборки вала адаптера 2:

1.На вал адаптера 2 устанавливаем подшипник 9.

2.На вал адаптера 2 устанавливаем кольцо распорное 3.

3.На вал адаптера 2 устанавливаем подшипник 9.

4.Вал адаптера 2 в сборе устанавливаем в корпус адаптера 1.

5.Устанавливаем стопорное кольцо 6 на вал адаптера 2.

6.Устанавливаем стопорное кольцо 7 в корпус адаптера 1.

7. Закручиваем масленку 8 в корпус адаптера 1.

8. Пробуем вращаться вал адаптера 2, он должен вращаться свободно без заклиниваний и заеданий.

Сборка адаптера окончена.

Сборка модуля датчика положения

Сборку модуля датчика положения начнем со сборки фланца ЭБУ 3 поз.

1:

1.В фланец ЭБУ 3 поз.1 устанавливаем подшипник 15.

2.В фланец ЭБУ 3 поз.1 устанавливаем шайбу 4.

3. В фланец ЭБУ 3 поз.1 устанавливаем подшипник 15 и закрепляем стопорным кольцом 11.

4. Устанавливаем в фланец в сборе ЭБУ 3 поз.1 вал Z-36 поз.2 до подшипника 15.

5. Устанавливаем шпонку 17 на вал Z-36 поз.2.

6. Устанавливаем шестерню Z-36 поз.3 на шпонку 17 далее устанавливаем шайбу 16 и закручиваем корончатой гайкой 10.

7. Устанавливаем шплинт 18 в отверстие вала Z-36 поз.2.

8. Устанавливаем кольца 13 и 12 на фланец в сборе ЭБУ 3 поз.1

9. Устанавливаем манжету 14 в фланец в сборе ЭБУ 3 поз.1

10. Пробуем вращать вал Z-36 поз.2, он должен вращаться без заклинивания и заедания.

Сборка модуля датчика положения окончена.

#### Сборка ручного дублера

Сборку модуля ручного дублера начнем со сборки корпуса 1:

1. Устанавливаем подшипник 22 в корпус 1.

2. Устанавливаем втулку 5 в корпус 1.

3. Устанавливаем подшипник 22 в корпус 1.

4. Устанавливаем стопорное кольцо 19 в корпус 1.

5. Устанавливаем ось 2 через подшипники 22 и втулку 5 в корпус 1.

6. Устанавливаем на ось 2 стопорное кольцо 17.

7. Устанавливаем манжету 21 на ось 2.

8. Устанавливаем на штурвал 11 ручку 30.

9. Устанавливаем шпонку 26 на ось 2 и одеваем штурвал 11 в сборе.

10. Закручиваем гайку 10 на ось 2 и сверлим отверстие под винт 15 и шайбу 23 и закручиваем.

11. На ось центральную 3 устанавливаем муфту дублер-редуктора 6, следом пружину муфты дублера 7, шайбу 24 и закрепляем стопорным кольцом 16.

12. Ось центральную в сборе 3 устанавливаем в ось 2 через шлицевое соединение.

13. Устанавливаем манжету 20 в ось 2 и закрепляем стопорным кольцом 18.

14. Закручиваем кнопку 4 в ось центральную 3, следом сверлим отверстие через кнопку 4 и ось центральную 3 и устанавливаем шплинт 25.

Сборка ручного дублера окончена.

#### Сборка опоры

1. В опору со сваркой 1 установить кольцо 10, следом установить смотровое стекло 2 и прикручиваем винтами 7.

2. В опору со сваркой 1 установить два кольца 9 и закрутить две пробки резьбовые 8.

Сборка опоры окончена.

#### Сборка привода

1. В червячный редуктор 1 в отверстие вала червячного установить ось центральную 2 и вставить шарик 22.

2. К червячному редуктору 1 прикручиваем ручной дублер 5 винтами 10 и шайбами 15.

3. К червячному редуктору 1 прикручиваем модуль датчика положения 4 винтами 9 и шайбами 14.

4. Проверяем вращение модуля датчика положения 4 чтобы было без заедания и заклинивания.

5. Устанавливаем в червячный редуктор 1 со стороны червячного вала втулку 8 по шлицевому соединению до упора.

6. Берем адаптер 3 и попадаем в пазы втулки 8 и потом прикручиваем адаптер 3 к червячному редуктору 1 винтами 11 и шайбами 16.

7. Берем линейный редуктор ШВП 2 и попадаем в пазы адаптера 3 и прикручиваем линейный редуктор ШВП 2 к Адаптеру 3 винтами 12 и шайбами 17.

8. Опору 6 устанавливаем в линейный редуктор ШВП 2 и прикручиваем болтами 13 и шайбами 17.

9. Проверить вращение привода в сборе без заклинивания и заедания  
После приработки привод готов к эксплуатации.

### **Описание работы привода**

Спроектированный высокоскоростной привод для регулирующего клапана работает следующим образом.

Электродвигатель подключается к сети через преобразователь частоты. Крутящий момент от вала электродвигателя при помощи муфты передается на вал червячный червячного редуктора. На выходном валу червячного редуктора сделано шлицевое эвольвентное соединение. В эти шлицы вставляется втулка с эвольвентными шлицами передает крутящий момент на адаптер который вставлен в втулку ответными пазами. Через адаптер передаем крутящий момент на линейный редуктор ШВП с помощью ответных пазов таким образом мы переводим вращательный момент адаптера в поступательное движение винта ШВП который жестко связан со штоком клапана коническим штифтом. Винт ШВП таскает вертикальный шток клапана тем самым переводя регулирующий клапан в открытое либо закрытое положение с высокой скоростью и точностью позиционирования.

Ручной дублер служит для управления арматурой при ремонтных работах, а также в тех случаях, когда отсутствуют питание двигателя. Комплектуется переключателем в ручное положение для недопущения травмирования обслуживающего рабочего состава, если привод в этот момент подключен к сети во время ручной регулировки.

Когда нам нужно отключить электродвигатель от редуктора чтобы перейти в ручной режим работы привода нужно нажать кнопку на ручном дублере она по средству пружины установленной на центральной оси оттолкнет через шарик и другую центральную ось установленную в редукторе муфту двигателя после этого начинаем вращать ручку штурвала чтобы перевести шток клапана в нужное нам положение. После того как мы прекратим вращение штурвала пружина на электродвигателе отожмет ось назад и по ходу вращения двигателя войдет в зацепление с кулачковой муфтой и электродвигатель будет снова подключен к редуктору.



## Заключение

В заключении стоит отметить, что поставленная цель диссертации достигнута, разработан высокоскоростной привод для клапана компактного исполнения на базе червячного редуктора.

Все поставленные задачи решены:

- Произведен обзор современных конструкций приводов для регулирующих клапанов;
- Выполнены необходимые расчеты для создания конструкции червячного редуктора.
- Спроектирован высокоскоростной привод компактного исполнения.
- Оформлена конструкторская документация в соответствии с требованиями ЕСКД.

Спроектированный привод может быть использован во взрывоопасных средах так как он выполнен во взрывонепроницаемой оболочке. Благодаря саморегулируемому обогреву оболочки привод способен сохранять работоспособность при внешней температуре до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Конструкция и качество исполнения механических частей привода позволяет осуществлять регулировку положения с высокой точностью без потерь в скорости движения

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

Студенту:

Группа	ФИО		
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Машиностроения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Бюджет НИ
4. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Гасанов М.А.	д.э.н профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич		

## Глава 4

### **Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

#### **Введение**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. 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 его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Определение возможных альтернатив;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

## 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

### 4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их 53 комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Виды работ	
	Разработка технологического процесса	Изготовление детали
Компания 1	+	+
Компания 2	-	+
Компания 3	+	-

Как видно из таблицы 4.2, наиболее перспективной является фирма 1, так как она задействована во всех сегментах рынка.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на

рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. В настоящий момент в Томске можно выделить два наиболее влиятельных предприятий-конкурентов в области использования устройства «Высокоскоростного привода клапана на базе червячного редуктора»: ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева» и ООО «ТРЭМ Иновации».

В таблице 4.3 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области производства детали. Таким образом, на основании таблицы 4.3 можно сделать вывод, что разработанный в ходе исследовательской работы технологический процесс может составить серьезную конкуренцию уже имеющимся на российском рынке производителям. Главными преимуществами данной разработки является довольная высокая производительность и срок службы при относительно низкой цене.

Таблица 4.2 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии катализатора							
1. Производительность	0,2	4	5	4	0,8	1,5	0,8
2. Срок службы	0,4	4	5	4	1,6	2	1,6
Экономические критерии оценки эффективности							
3. Цена	0,2	5	3	4	1	0,6	0,8
4. Уровень проникновения на рынок	0,1	4	5	4	0,3	0,5	0,4
5. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
Итого:	1	20	23	21	4,1	5,2	4,1

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной исследовательской работы;

Б<sub>к1</sub> – ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева»;

Б<sub>к2</sub> – ООО «ТРЭМ Иновации».

## 4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и её перспективность на рынке, а также позволяющий принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Таблица 4.3 – Оценка разработки

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительная значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Скорость производства	0,06	80	100	0,8	0,048
2. Энергоэффективность	0,05	50	100	0,5	0,025
3. Универсальность техпроцесса	0,1	50	100	0,5	0,05
4. Простота контроля изделия	0,1	65	100	0,65	0,065
5. Потребность в специальной оснастке	0,01	100	100	1	0,01
6. Такт выпуска изделия	0,1	70	100	0,7	0,07
7. Сложность исполнения	0,01	60	100	0,6	0,006
8. Трудоёмкость	0,04	50	100	0,5	0,02
9. Материалоёмкость	0,1	75	100	0,75	0,075
10. Безопасность	0,01	80	100	0,8	0,008
11. Экологичность	0,02	70	100	0,7	0,014
12. Технологичность	0,08	90	100	0,9	0,072
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
13. Конкурентоспособность продукта	0,03	75	100	0,75	0,0225
14. Ликвидность	0,06	85	100	0,85	0,051
15. Перспективность рынка	0,07	90	100	0,9	0,063
16. Цена	0,1	90	100	0,9	0,09

17. Послепродажное обслуживание	0,01	10	100	0,1	0,001
18. Финансовая эффективность	0,02	60	100	0,6	0,012
19. Срок выхода на рынок	0,02	70	100	0,7	0,014
20. Наличие патента	0,01	10	100	0,1	0,001
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>0,7175</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (4.1):

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где:  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

$P_{cp} = 0,7175$ , значит технологический процесс имеет перспективность выше среднего.

### 4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. На основе анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы, был составлен SWOT-анализ научно-исследовательского проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Матрица первого этапа SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны:</b> С1. Высокое качество получаемой продукции; С2. Широкая область применения; С3. Более низкая стоимость производства; С4. Актуальность проекта; С5. Требуется малая номенклатура станков;	<b>Слабые стороны:</b> Сл1. Отсутствие квалифицированного персонала; Сл2. Обработка станками с ЧПУ; Сл3. Обслуживание оборудования. Сл4. Требуется большая номенклатура станков;
<b>Возможности:</b> В1. Изготовление детали на любом предприятии; В2. Возможность удешевления ТП; В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Увеличение такта выпуска деталей.		
<b>Угрозы:</b> У1. Разработка более совершенного техпроцесса; У2. Перенасыщение рынка; У3. Отсутствие спроса.		

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 4.5–4.8.



Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	+	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	+	+	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Возможности проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	0	+	-	+
	B3	+	0	0	-	0
	B4	-	0	+	+	+

Таблица 4.7 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

<b>Сильные стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	+	-	-	-
	У3	+	0	0	0	-

Таблица 4.8 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

<b>Слабые стороны проекта</b>						
<b>Угрозы проекта</b>		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-
	У3	+	-	-	+	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.9.

Таблица 4.9 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>  С1. Высокое качество получаемой продукции;  С2. Широкая область применения;  С3. Более низкая стоимость производства;  С4. Актуальность проекта;  С5. Требуется малая номенклатура станков</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>  Сл1. Отсутствие квалифицированного персонала;  Сл2. Обработка станками с ЧПУ;  Сл3. Обслуживание оборудования.</p>
<p><b>Возможности</b>  В1. Изготовление детали на любом предприятии;  В2. Возможность удешевления ТП;  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок  В4. Увеличение такта выпуска деталей.</p>	<p><b>Направления развития</b>  В результате получения высокого качества продукции возможно повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b>  Отсутствие квалифицированного персонала влияет на возможность удешевления ТП.</p>
<p><b>Угрозы</b>  У1. Разработка более совершенного техпроцесса;  У2. Перенасыщение рынка;  У3. Отсутствие спроса.</p>	<p><b>Угрозы развития</b>  Когда продукция имеет широкую область применения, спрос на новые технологии производства отсутствует.</p>	<p><b>Уязвимости:</b>  Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца влияет на разработку более совершенного техпроцесса.</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 SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

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 научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследования	1	Определение актуальности разработки	Научный руководитель
	2	Анализ существующих решений	Научный руководитель, исполнитель
	3	Определение требований к разработке	Исполнитель
Теоретическая разработка проекта	4	Разработка общей схемы проекта	Исполнитель
	5	Описание геометрических параметров	Исполнитель
	6	Подбор основных комплектующих	Исполнитель
	7	1-й этап компоновки	Исполнитель
	8	Расчёт необходимых параметров	Исполнитель
	9	Подбор всех необходимых комплектующих	Исполнитель
	10	2-й этап компоновки	Исполнитель
Конструкторская часть	11	Разработка 3D моделей	Исполнитель
	12	Расчёт необходимых параметров	Исполнитель
	13	Оформление технической документации	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	14	Оценка качества исполнения	Научный руководитель, Исполнитель

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ож.i} = \frac{3t_{min.i} + 3t_{max.i}}{5} \quad (4.2)$$

где  $t_{ож.i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{min.i}$  – 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож.i}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ож.i}$  – 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 (4.4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (4.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле (4.5):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работы в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
		$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни		Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
		Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель				
1	Определение актуальности разработки	2	-	3	-	1,4	-	2,4	-	2	-
2	Анализ решений	-	1	-	2	-	1,4	-	0,7	-	1
3	Определение требований к разработке	-	4	-	5	-	4,4	-	2,2	-	4
4	Разработка общей схемы проекта	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
5	Описание геометрических параметров	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7	1	1
6	Подбор основных комплектующих	-	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	10
7	1-й этап компоновки	-	6	-	7	-	6,4	-	6,4	-	10
8	Расчёт необходимых параметров	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
9	Подбор всех необходимых комплектующих	1	2	1,5	3	1,2	2,4	0,6	1,2	1	2
10	2-й этап компоновки	1	3	2	4	1,4	3,4	0,7	1,7	1	3

Продолжение Таблицы 4.11

11	Разработка 3D моделей	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
12	Расчёт необходимых параметров	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
13	Оформление технической документации	-	15	-	20	-	17	--	17	-	26
14	Составление пояснительной записки	-	5	-	6	-	5,4	-	5,4	-	8

Таблица 4.12 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работы	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. Дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Определение актуальности разработки	Руководитель	2	■														
2	Анализ решений	Исполнитель	1	■														
3	Определение требований к разработке	Исполнитель	4	■	■													
4	Разработка общей схемы проекта	Исполнитель	3		■	■												
5	Описание геометрических параметров	Исполнитель	1			■												
6	Подбор основных комплектующих	Исполнитель	10			■	■	■										
7	1-й этап компоновки	Исполнитель	10				■	■	■									
8	Расчёт необходимых параметров	Исполнитель	18				■	■	■	■								
9	Подбор всех необходимых комплектующих	Исполнитель	3							■								
10	2-й этап компоновки	Исполнитель	4							■	■							
11	Разработка 3D моделей	Исполнитель	10								■	■	■					
12	Расчёт необходимых параметров	Исполнитель	10									■	■	■				
13	Оформление технической документации	Исполнитель	26										■	■	■	■		
14	Составление пояснительной записки	Исполнитель	8														■	■



### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	1000	5	5000
Картридж для лазерного принтера	700	1	700
Офисные бумаги А4 (в форме малой коротки)	1000	1	1000
Итого:			6700

#### 4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4,6)$$

Где:  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t \quad (4,7)$$

где:

$I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $t$  – время использования, мес.

Таблица 4.14 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер (ноутбук)	1	4	95	95
<b>Итого</b>		95 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года по формуле (4.6):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле 4.7):

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t = \frac{0,25 \times 95000}{12} \times 13 = 25\,730 \text{ руб}$$

### 4.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата исполнителя и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Исходными нормативами заработной платы данных категорий, работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ. Величина расходов на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{М}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (4.8)$$

где:  $З_{\text{ТС}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  –премиальный коэффициент, равный 0,3 (т. е. 30% от  $З_{\text{ТС}}$ );

$k_{\text{д}}$  –коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$  –районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Величину тарифной ставки сообщил руководитель проекта.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{Дн}} = \frac{З_{\text{М}} \cdot \text{М}}{F_{\text{Д}}} \quad (4.9)$$

где:  $З_{\text{М}}$  –месячный должностной оклад работника, руб.;

$\text{М}$  –количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{Д}}$  –действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 4.15 – Заработная плата

Исполнители	З <sub>ТС</sub> , руб.	k <sub>пр</sub>	k <sub>д</sub>	k <sub>р</sub>	З <sub>М</sub> , руб.	З <sub>Дн</sub> , руб.	T <sub>рi</sub> , раб.дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	6,2	13313,6
Исполнитель	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	78,8	137356,28
<b>Всего:</b>								150669,88

Таблица 4.16 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/12	52/12
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24/-	24/-
Действительный годовой фонд рабочего времени	253	253

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{дп} = Z_{осн} \cdot k_{дп} = 13313,6 \cdot 0,15 = 1997,04 \text{ руб.} \quad (4.10)$$

– для исполнителя:

$$Z_{дп} = Z_{осн} \cdot k_{дп} = 137356,28 \cdot 0,15 = 20603,442 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

где  $k_{дп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

#### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ): - 22 % – на

пенсионное страхование; - 5,1 % – на медицинское страхование; - 2,9 % – на социальное страхование.

#### 4.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т. д.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{нак}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.12)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

#### 4.3.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НТИ по статьям

Статьи							
Материальная	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисление на соц. нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
6700	25730	150669,88	22600,482	51981.11	205700,4	59960,12	265660,5

## Заключение

Целью данного раздела магистерской работы является проектирование и создание конкурентоспособных разработок.

В результате проведенных исследований, установлено, что разработанный механизм обладает высокой производительностью труда, поэтому данный научно-исследовательский проект является конкурентоспособным. Также можно сказать, что задачи, поставленные в данном разделе выпускной квалификационной работы, решены в полном объеме. А именно:

1)Была выявлена конкурентоспособность использования данного устройства в современных реалиях;

2)Проведен SWOT-анализ, в котором рассматриваются все сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы, связанные с проектом;

3)Был распланирован график НИР, по которому руководителю отводится 8 календарных дней, Исполнителю 106 рабочих дней;

4)Расчитан бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4АМОК		Беннер Александр Яковлевич	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение машиностроения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 «Машиностроение»

Тема ВКР:

**Проектирование высокоскоростного привода на базе червячного редуктора для шиберного клапана**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> силовая машина которая преобразует электрическую энергию в механическую</p> <p><i>Область применения:</i> машиностроение, механика, строительство.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> офисное помещение</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 13*9м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> персональный компьютер, ноутбук, принтер, офисная канцелярия.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> технические расчеты в программах моделирования, математическое программирование, разработка чертежей и различных схем, расчеты.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ;</li> <li>– Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя ГОСТ 12.2.032-78;</li> <li>– ГОСТ 21889-76 Система "Человек-машина". Кресло человека-оператора</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поражение электрическим током, вызванной разницей потенциалов;</li> </ol> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего</li> <li>3. Психофизические факторы (монотонность труда, вызывающая монтонию, длительное сосредоточенное наблюдение, умственное перенапряжение);</li> <li>4. Повышенный уровень шума на рабочем месте</li> </ol>

<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<b>Воздействие на литосферу:</b> твердые пластиковые отходы – ABS пластик и жидкие химические отходы – литий, использующийся в АКБ офисной техники
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	Наиболее типичная ЧС: -пожар;
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
<b>15.02.2022</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ИШНКБ ТПУ	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич		



## Глава 5

### Социальная ответственность

#### Введение

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-конструктора в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды. Целью данной работы является проектирование компактного высокоскоростного привода для регулирующего клапана на базе червячного редуктора. Данный редуктор при работе с электродвигателем позволит получить стабильные технические характеристики, необходимые для обеспечения точности позиционирования.

Привода являются важнейшей составляющей автоматизированных систем управления производственными процессами промышленных предприятий. Они широко применяются для насосов, запорной арматуры, систем автоматического регулирования, компрессоров, устройств перемешивания в нефтегазовом хозяйстве, энергетической и химической отрасли; прокатных станков, смесителей, конвейеров, транспортеров, бегунов в металлургии; мельниц и дробилок в горнорудной промышленности; шлифовальных, металлообрабатывающих, деревообрабатывающих станков и центров в станкостроении; лебедок, талей, кранов и другого подъемно-транспортного оборудования в различных сферах производства.

Рабочим местом является офис машиностроительного предприятия, рабочей зоной является компьютерный стол.

## 5.1 Производственная безопасность

При разработке высокоскоростного привода на базе червячного редуктора были выявлены следующие опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 5.1:

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
<p>1) Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения</p> <p>2) Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего</p> <p>3) Психофизические факторы (монотонность труда, вызывающая монтонию, длительное сосредоточенное наблюдение, умственное перенапряжение);</p>	<p>1) Поражение электрическим током, вызванной разницей потенциалов</p>	<p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.1 005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;</p> <p>ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности;</p> <p>ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организации воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи</p>

4) <i>Повышенный уровень шума на рабочем месте</i>		
--	--	--

## **5.2 Анализ выявленных вредных факторов при разработке проектируемого решения**

### **5.2.1 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего**

Микроклимат производственных помещений – состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека.

Согласно ГОСТ 12.1 005-88 ССБТ показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

Нарушение теплового баланса в условиях высокой температуры может привести к перегреву тела, и как следствие, к тепловым ударам с потерей сознания. В условиях низкой температуры воздуха возможно переохлаждение организма, могут возникнуть простудные болезни, радикулит, бронхит и другие заболевания [9].

Основные виды работ, выполняемые инженером-конструктором, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, приведены в ГОСТ 12.1 005-88 ССБТ. Допустимые и оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочем помещении приведены в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Допустимые и оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочем помещении

Категория работы	Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		оптим.	допуст.	оптим.	допуст.	оптим.	допуст.
Легкой тяжести, Ia	Холодный	18-20	17-23	40-60	Не более 75	Не более 0,2	Не более 0,3
	Теплый	21-23	18-27	40-60	Не более 55 при 28 °С 60 при 27 °С 65 при 26 °С 70 при 25 °С 75 при 24 °С	Не более 0,3	0,2-0,4

В помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В теплое время года температурный режим в помещении зависит от погодных условий на улице. Таким образом, в жаркие дни температура в помещении превышает установленные нормы. Для того чтобы температурный режим в помещении соответствовал норме необходимо установить в кабинет кондиционер, во избежание негативных последствий от высокой температуры в помещении. Для подачи свежего воздуха в помещение проводится периодическое проветривание.

## **5.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения**

Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям.

Согласно СП 52.13330.2016 работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности III разряда зрительной работы для помещений жилых и общественных зданий. При данном виде работ общее освещение должно быть 500 лк. Уровни освещенности могут быть обеспечены дневным светом, если он имеется, или электрическим светом от общего или локализованного освещения, например, настольных ламп или комбинацией дневного и естественного света. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно.

При правильном проектировании освещения помещения необходимо правильно подбирать схему размещения, количество осветителей и их типа. Широкое применение получили люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ:

- по спектральному составу света они близки к дневному, естественному свету;
- обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания);
- более длительный срок службы.

## Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Задачи расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света.

- Л71Б03 - мощность лампы 10х30 Вт

- Л71Б84-мощность лампы 8х40 Вт

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

- обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места
- наиболее экономичное создание нормированной освещенности

Как показали исследования, в зависимости от типа светильников существует расстояние между светильниками по формуле:

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad ()$$

Где L - расстояние между светильниками;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние от стен помещения до крайних светильников рекомендуется брать  $L/3$

Выбираем люминесцентный светильник с защищённой решёткой: тип ОДО,  $\lambda = 1.4$ . размеры помещения  $A=13$  м,  $B=9$  м,

$$H=4-0,5-0,8=2,7 \text{ м};$$

$$L=1,2 \times 2,7=3,24 \text{ м};$$

$L/3=1$ м. Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 6 светильников типа ОДО мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 5.1).

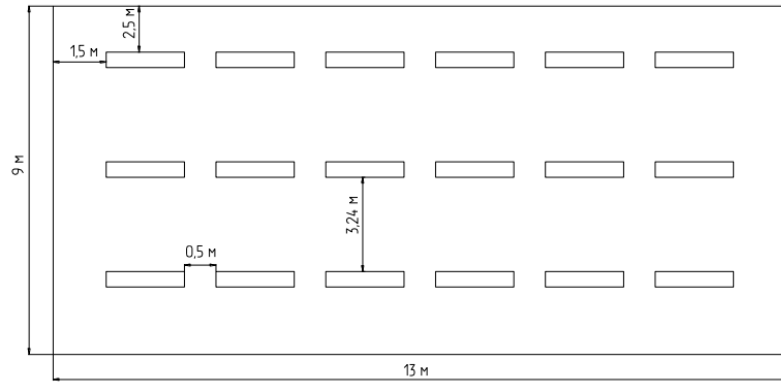


Рисунок 5.1 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $n = 36$ .

Расчет производится методом коэффициента использования. Применяя этот метод можно определить световой поток лампы, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отраженного стёклами и потолками. Метод коэффициента использования применяется только при расчете общего равномерного освещения. Величина светового потока лампы определяется по формуле (5.1):

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N_{\text{л}} \eta'} \quad (5.1)$$

Где:

$N_{\text{л}}$  – число ламп в помещении;

$E_H$  – минимальная нормативная освещенность лк.;

$S$  – площадь освещаемого помещения;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения;

$k_3$  – коэффициент запаса, учитывающий уменьшение светового потока лампы в результате загрязнения светильников в процессе эксплуатации;

$\eta'$  – коэффициент использования светового потока.

Рассчитаем индекс помещения по формуле (5.2):

$$i = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{117}{2,5 \cdot (13 + 9)} = 2 \quad (5.2)$$

Коэффициент использования светового потока составит:  $\eta' = 0,6$ .

Коэффициенты отражения:

$P_n=70\%$  - состояние потока;  $P_0=70\%$  - состояние стен.

Коэффициент неравномерности  $Z$  введен в формулу светового потока, потому что освещенность, подсчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента  $Z$  это несоответствие устраняется. Для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$   $E = 500$  лк - нормативная освещённость для конструкторского бюро, принимается по СП 52.13330.2016.

$$\Phi = \frac{500 \cdot 1,5 \cdot 117 \cdot 1,1}{36 \cdot 0,6} = 4468,7 \text{ лк}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛДЦ 80 Вт с потоком 5200 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$\text{Получаем } -10\% \leq 14\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P=36 \times 80=2880 \text{ Вт}$$



### **5.2.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте**

На рабочем месте инженера-конструктора в кабинете машиностроительного предприятия, исходя из ГОСТ 12.1.003–83, действует постоянный шум. Шум в конструкторском бюро создается кондиционерами и вентиляторами для охлаждения нагреваемых частей ЭВМ.

Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д.

При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в ГОСТ 12.1.003–83.

В кабинете производства, где выполняется работа, основной шум исходит от системного блока компьютера. Величина данного шума около 30 дБ, что не превышает нормы. С целью уменьшения негативного воздействия электромагнитного излучения, возникающего от экрана компьютера, используются специальные

### **5.2.4 Психофизические факторы**

Психофизическими факторами при данном виде работ являются: статическое положение тела в течение длительного времени, монотонность работы и умственные перегрузки. К статическим факторам, прежде всего, относится вынужденное положение тела во время работы, длительное напряжение отдельных групп мышц.

Профилактика сводится к механизации и автоматизации труда, рационализации рабочей позы путем совершенствования конструкций рабочих мест, гимнастике, смене положения во время перерывов (работал стоя – отдыхаешь сидя и наоборот) и др.

Долгая работа за компьютером является монотонной, что быстро приводит к общей усталости, снижению концентрации и т.п. Для избегания данного фактора выполнялись различные виды работ, делались перерывы на отдых.

Умственные перегрузки связаны с большим объемом информации, обрабатываемой во время проведения исследований и разработки. Они приводят к головным болям, усталости, нервозности и т.п. Для избегания данного фактора было сделано распределение времени на работу с информацией и выполнением других работ, не связанных с умственными нагрузками [10].

### **5.3 Анализ выявленных опасных факторов при разработке проектируемого решения**

#### **5.3.1 Поражение электрическим током вызванное разницей потенциалов**

Кабинет машиностроительного предприятия относится к категории помещений без повышенной опасности, т.к. в помещении не имеется токопроводящих полов, токопроводящей пыли, повышенной влажности и т.д.[11].

Блок питания компьютера, монитор, принтер подключены к сети питания имеющей защитное заземление.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает тепловое (ожоги, нагрев сосудов), механическое (разрыв тканей, сосудов при судорожных сокращениях мышц), химическое (электролиз крови), биологическое (раздражение и возбуждение живой ткани) или комбинированное воздействие.

Основными средствами и способами защиты от поражения электрическим током являются: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения; защитное заземление, зануление или отключение; вывешивание предупреждающих надписей; контроль за состоянием изоляции электрических установок.

Требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения приведены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

Кабинет предприятия, в которой выполнялись работы, является безопасной, все приборы, потребляющие электроэнергию, исправны и подключены к сетевым фильтрам, имеющим предохранитель.

## **5.4 Экологическая безопасность**

### **5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

#### **Воздействие на литосферу.**

В конкретном случае на рабочем месте выявлен предполагаемый источник загрязнения окружающей среды, а именно воздействие на литосферу в результате образования твердых пластиковых отходов и жидких химических отходов образующихся при поломке предметов вычислительной техники и оргтехники.

Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПК и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. Перед утилизацией все комплектующие должны быть разделены на различные группы по классам опасности отходов согласно Статье 4.1 Федерального закона об отходах производства и потребления от 22.05.98. Составные части компьютера разбиваются на группы:

- ртутные лампы, используемые в ПК, ноутбуках, мониторах, являются чрезвычайно опасными, поэтому отнесены к I классу;
- платы и аккумуляторы, которые содержат свинец, кадмий или олово, относятся ко II классу опасности;
- трансформаторы и провода – к III классу;
- металлические детали практически безопасны, и им присвоена V степень опасности.

При этом утилизация должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. Все отходы необходимо сдавать на переработку в организации имеющие лицензии на переработку отходов соответствующих классов опасности.

Утилизировать люминесцентные лампы так же необходимо специальным образом, передавая их на обработку организациям, имеющим лицензию на утилизацию и переработку отходов I и II классу опасности.

Перевозить отработанные люминесцентные источники освещения можно в специальных контейнерах, которые уберегут стеклянные корпуса от повреждений. Существует несколько вариантов утилизации:

- Демеркуризация. Лампы подают на конвейере в специальную дробильную установку. Пары ртути осаждают сорбентом.
- Термокриогенная утилизация. Ртуть попадает в глубоковакуумную ловушку при температуре 170 °С. Вредные пары замораживают жидким азотом. По окончании ртуть размораживается и стекает в приемник.
- Дробление. Под давлением воздуха в противоточной системе лампа распадается в разные приемники на стеклобой, цоколь и люминофор. Этот метод – наиболее бюджетный, но уступает другим по эффективности.

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы

#### **5.4.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды**

Любое устройство содержит в себе множество деталей и элементов, обеспечивающих его работу. Соответственно, если даже какая-то часть

выходит из строя, остальные же в полном порядке могут быть использованы и в дальнейшем. Благодаря этому существенно сокращаются затраты на производство новой техники, да и подобный сбор и переработка отходов – это выгодное и рациональное решение.

При работе компьютер образует вокруг себя электростатическое поле, которое деионизирует окружающую среду, а при нагревании платы и корпус монитора испускают в воздух вредные вещества. Все это делает воздух очень сухим, слабоионизированным, со специфическим запахом и в общем “тяжелым” для дыхания.

Исходя из этого, и с целью продуктивно использовать мусор, а также защитить окружающую среду от опасных выбросов, разрабатываются специальные программы по утилизации электронных устройств, пришедшей в непригодность, позволяющие уничтожить её качественно и безопасно. Естественно, что такой воздух не может быть полезен для организма и может привести к заболеваниям аллергического характера, болезням органов дыхания и другим расстройствам. Наши электронные устройства почти наверняка содержат бериллий, ртуть, которые относятся к первому классу опасности с предельно допустимой концентрацией не менее 0,1 мг/м<sup>3</sup> и свинец, мышьяк, бор которые относятся ко второму классу опасности с предельно допустимой концентрацией от 0,1-1 мг/м<sup>3</sup> [11].

Чтобы обезопасить себя и окружающую среду если есть возможность надо ремонтировать вышедшее из строя устройство, а не покупать новое, продавать и просто дарить устаревшую технику, приобретать товары с минимальным объемом упаковочных материалов, избегать слишком дешевой продукции с коротким сроком службы, с ответственностью подходить к утилизации сломанных или исчерпавших свой ресурс устройств.

Метод утилизации люминесцентных источников света начинается с их сбора и последующей транспортировки на предприятия, которые занимаются демеркуризацией. На практике использованные лампы всех типов должны сдаваться в пункты приема подобных отходов.

Так же специальной утилизации подвергаются люминесцентные лампы. Люминесцентные лампы в г. Томске утилизируются в компании Экотом.

### **5.5 Безопасность в ЧС**

Чрезвычайными ситуациями в кабинете предприятия могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76.

Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. Горение сопровождается, выделением большого количества тепла, дыма и свечением.

В ЭВМ большая плотность расположения элементов электронных схем. При этом питание электричеством происходит через электропровода. При протекании через них тока, выделяется большое количество теплоты. Отдельные узлы могут нагреваться до больших температур, вследствие чего, возможно оплавление и возникновение короткого замыкания. Для предотвращения этого используют вентиляторы, различные системы охлаждения, например, водяное.

Также причинами пожаров могут являться: неосторожное обращение с огнём; несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических устройств; самовозгорание веществ и материалов; разряды статического электричества; грозовые разряды; поджоги.

Горючими компонентами в помещениях являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

Кабинет предприятия, в котором выполнялась работа, относится к категории Д [22].

### **5.5.1 Обоснование мероприятий по предотвращению пожара и разработка порядка действия в случае его возникновения**

Тушение горящего электрооборудования под напряжением должно осуществляться имеющимися огнетушителями ОУ-5. Чтобы предотвратить пожар в кабинете, необходимо: содержать помещение в чистоте, убирать своевременно мусор. По окончании работы должна проводиться влажная уборка всех помещений; работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании; на видном месте должен быть вывешен план эвакуации из кабинета с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь; из помещения последним должен проверить выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключение силовой и осветительной электрической сети.

Для предотвращения пожара в кабинете соблюдаются организационные мероприятия: правильная эксплуатация приборов, установок; правильное содержание помещения; противопожарный инструктаж сотрудников аудитории; издание приказов по вопросам усиления ПБ; организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий; наличие наглядных пособий и т.п

#### **Алгоритм действий при пожаре**

1. Необходимо немедленно вызвать пожарную охрану по телефону "01», сообщив свой точный адрес, объект пожара и встретить пожарную охрану.
2. Если горение только началось, его легко затушить водой, накрыть толстым одеялом, покрывалом, забросать песком, землей;
3. Ни в коем случае не тушить водой горящие электропроводку и электроприборы, находящиеся под напряжением - это опасно для жизни;
4. Если невозможно справиться с огнем, и пожар принимает угрожающие размеры, срочно покиньте помещение.

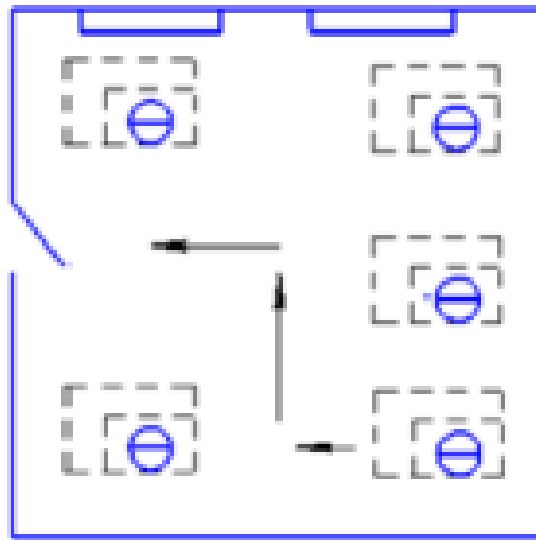


Рисунок 5.2 – План эвакуации из кабинета



## Заключение

Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе, за исключением фактора, обладающего свойствами психофизического воздействия на организм человека. Для минимизации влияния данного фактора на организм человека, достаточно соблюдать меры, приведенные в МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [20].

Категория помещения по электробезопасности согласно ПУЭ соответствует первому классу - «помещение без повышенной опасности»

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать 1 группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы 1 по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током [18].

Категория тяжести труда в кабинете машиностроительного предприятия по СанПин 1.2.3685-21 относится к категории 1А (работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением с интенсивностью энергозатрат до 120ккал/час) [21].

Помещение где работает конструктор относится к категории помещения группы Д, возможный класс пожара А [22].

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам IV категории [22].

## Список литературы

1. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура: Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. 368 с., ил.
2. Коршак А.А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник. – Ростов н/Д: Феникс, 2016. – 540с.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.
4. Андриенко, Л.А. Детали машин: учебник для вузов. Под ред. О.А. Ряховского. 3-е изд., перераб. и доп. / Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 520 с.
5. Панкратов, Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика. – Томск: изд-во Том. ун-та, 1998. 296 с.
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т.: Т. 2. 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.: ил.
7. Гузенков П.Г. Детали машин: Учеб. пособие для студентов вузов.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1982.- 351 с.
8. Курсовое проектирование деталей машин: Учеб. Пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов/ С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 416 с.: ил.
9. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
10. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
11. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

12. ТОО Р-45-081-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере
13. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;
14. ГОСТ 12.1 005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
15. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;
16. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ Шум. Общие требования безопасности;
17. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
18. СП 2.4.3648-20 Санитарно-эпидемиологические требования к организации воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи
19. МР 2.2.9.2311 – 07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности
20. СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания
21. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
22. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ Об охране окружающей среды

## Приложение А

Глава 1  
Обзор литературы  
Chapter 1  
Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМОК	Беннер Александр Яковлевич		

Консультант отделения Машиностроения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Ефременков Егор Алексеевич	к.т.н		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ ШБИП :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыскина А.А.	к.ф.н		

# Chapter 1

## Literature review

### 1.1 Valve classification

Valves of various types are one of the most demanded elements of pipelines. Their purpose is to block the flow of gas or liquid in the pipeline, regulate its strength and direct. A valve is a mechanical device that controls the flow and pressure of a fluid in a system or process. So basically it controls flow and pressure.

During operation, they experience constant loads, and therefore are subject to increased wear.

There are several types of valves, depending on the purpose and device.

1. Shut-off valves or valves. Their main application is to deafly block the flow in the pipeline. As a rule, this requires a small effort when turning the shutter. A high-quality valve will close tightly, excluding even the smallest gaps, for complete sealing [1]

2. Return valve rotary type. Its task is to close the pipeline in the event of a pressure drop, in order to avoid the formation of a reverse flow. The shutter in such valves rotates around an axis shifted from the center. Depending on the design, two modifications are distinguished - simple and shockless valves. In the first one, the axis of rotation is outside the pipeline, and in the second one, it crosses it [1].

3. Lift type check valve. The shutter automatically extends perpendicular to the direction of flow in the pipeline. Special intake valves are also used, installed at the beginning of the pipeline. Often they are equipped with a special mesh for filtering [1].

4. The safety valve is an important element of any high pressure pipeline. It is triggered if the internal pressure rises above a critical level. After depressurizing, it returns to the closed state. The most widely used valves with a spring mechanism. The spring is selected depending on the required

maximum pressure. This makes it possible to manufacture valves for a wide range of operating pressures using springs of different elasticity [1].

5. Regulating valves. They are a complex element consisting of electronic and mechanical parts. The electronic part monitors various parameters in the pipeline - temperature, pressure, density. Based on the received data, the valve position is changed. Such valves are used in mechanisms where the creation of specific conditions for the flow of the technological process is required [1].

6. Mixing valves. Are applied to mixing of streams from several pipelines. Thus, the temperature of liquids is regulated or the necessary mixtures are prepared [1].

Let's consider axial-type control valves in more detail, as we are designing an actuator for this type of valve.

Axial control valves are used in pipelines, field and gas collection points, gas processing plants, underground gas storage facilities, the linear part of main gas pipelines, technological piping of compressor, booster, gas distribution and gas measuring stations to control flow and pressure in pipeline systems by changing the valve flow area.

Axial valves are one of the types of safety and control fittings that are necessary to ensure nominal operation and prevent damage to compressors, pumps, pipeline systems and other equipment operating under high pressure.

The design of such valves is based on the principle of axial flow, which implies the presence of a streamlined, axisymmetric profile of the flow path, in which the flowing medium does not change its direction, reducing turbulence and providing maximum flow with minimum resistance, noise and vibration levels. This design also prevents rapid erosive wear of the flow path and control element.

Axial type valves are an excellent alternative to double seated and single seated S-valve where the medium flow is rotated 90 degrees relative to the pipeline for adjustment. Also, valves can be used instead of ball valves and gate valves,

combining control and shut-off functions with a tightness class of shut-off valves "A". The motorized axial type control valve is shown in (Fig. 1.1).

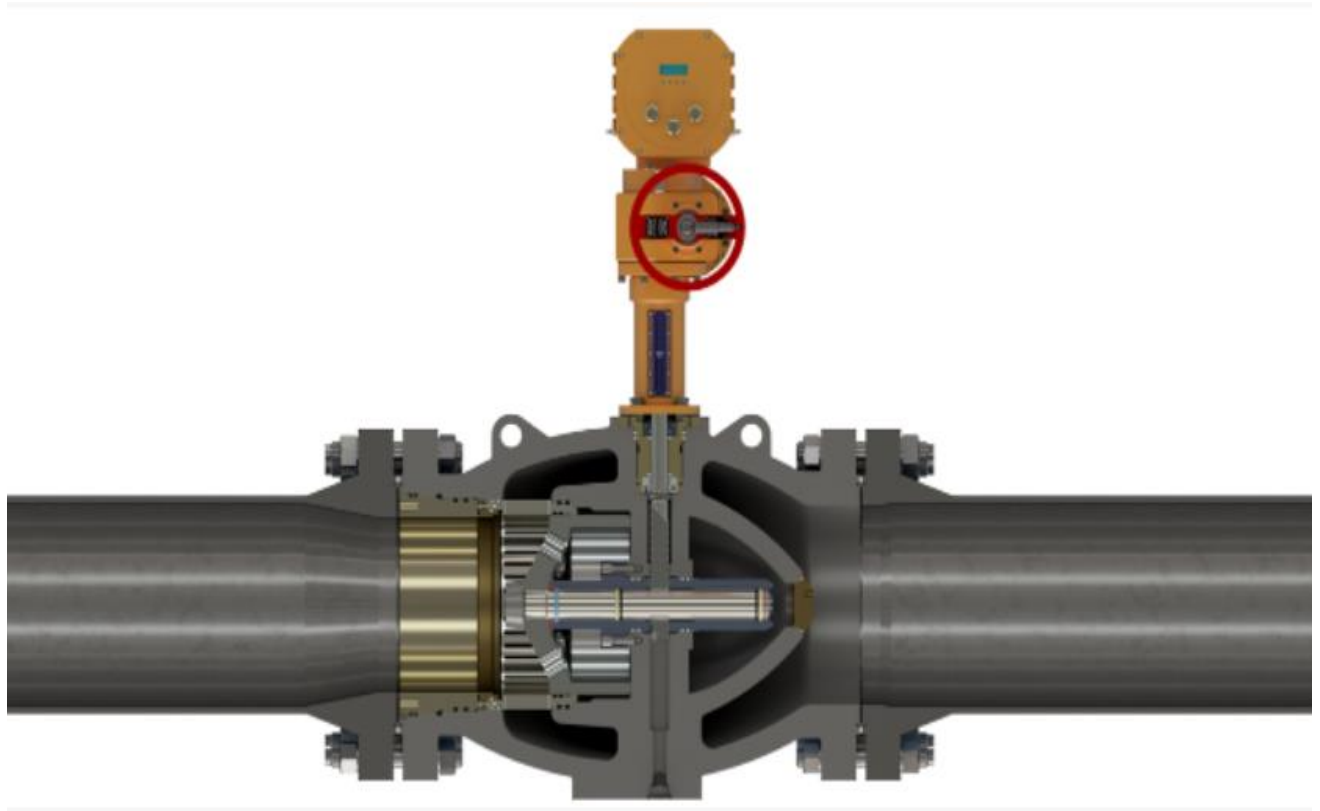


Figure 1.1 - Electric actuator with an axial type control valve

The control element in such valves is a piston moving parallel to the axis of the pipeline, and a cylindrical separator (or cage) is responsible for the throughput characteristic, in which perforation is made in the form of through holes of a certain profile. Various combinations of the location, size and shape of the holes allow you to change the flow rate of the working medium and obtain any throughput characteristics.

### **1.2 Types of actuators for valves**

Consider the various types of actuators used to control axial-type control valves.

There are various types of actuators, classified according to the type of energy, such as electric, hydraulic and pneumatic.

High load capacity, the ability to control a wide range of speeds and accelerations at relatively low operating costs provides a hydraulic drive. The highest travel speeds with limited load capacity are provided by a pneumatic drive. The use of unloading structures in combination with high-torque and high-speed electric motors contributes to the expansion of the use of an electric drive, despite the relatively low strength of the force field.

Preferably, electric actuators are used for axial-type control valves, less often pneumatic actuators.

### **1.2.1 Electric drive**

The electric actuator for an axial type control valve is a special device representing one of the types of actuators used for regulating, mechanizing and automating pipeline valves, and is widely used in all branches of production and industry, playing one of the main roles in technological processes. Basically, the electric drive is used to remotely control the valve, open and close it, as well as to establish the state of the valve [2].

The power limiting device is designed to prevent failure or overload of the control valve. Occasionally made with a braking device (damping), to eliminate the impact on control valves of inertial forces of moving parts. The limit switches are designed to determine the position of the drive, turn off the energy source from the engine, the conjugation of the operation of the electric motor with the operation of other devices [2].

The reducer is designed to transform the type and feed rate of the output elements of the engine in accordance with the purpose of the control valves.

The fastening of the actuator to control valves, as a rule, includes a flange connection that rigidly attaches the actuator housing and pipeline valves, a coupling that connects the axis of the actuator and valves.

The manual override is used to control valves during repair work, as well as in cases where there is no power to the engine. It is completed with a switch to the



manual position to prevent injury to the operating staff, if the drive is connected to the mains at this moment during manual adjustment [2].

The position indicator is necessary for local indications of the degree of openness of the control valve at the right time.

The drive position sensor is used on control valves for remote indication of the degree of opening, the position of the valve at the current time and as a feedback component (by the positions of the control valves) [2].

- can control fittings of various sizes of the so-called conditional passage, from the minimum size to the maximum;

- the electric drive, unlike many other drives, can be mounted not only simply on the armature, but also at different distances from it;

- the electric drive can be dismantled from the existing fittings (for repair work), while there is no danger of spontaneous change in the position of the working structure;

- there is a possibility of its application for mechanization of working reinforcing devices equipped with a manual control flywheel, without constructive changes to the latter;

- electrical power sources are free from defects observed in other networks (clogging, freezing, etc.).

- use one type of energy, electric drives provide local and remote signaling, both at the end positions and at intermediate ones;

- a signal is sent to the control panel in case of blocking of the moving parts of the armature or ingress of any objects into its structure;

Electric drives also contain some disadvantages:

- the drive has a self-braking link (worm pair) with low efficiency. Therefore, the resource of the worm pairs does not exceed several thousand cycles, which of course is not enough to control the control pipeline valves of medium and maximum conditional passages;

– parts of the design of electric drives are subject to wear to a greater extent than parts of other drives, as a result of which they require regular maintenance and care.

### **1.2.2 Pneumatic drive**

The pneumatic actuator of control valves is a special device, which is a type of pneumatic actuator, used for mechanization and automation of pipeline valves, found its application in many types of industry, playing an important role in the technological processes of many industries. Most of all, the pneumatic actuator is used for remote control of valves, opening and closing, and for determining the positions of valves [2].

Pneumatic actuators are mainly used for protective (cut-off) valves, as they have their own specific features, and in addition, it is possible to use valves with a pneumatic actuator in the form of a control valve [2].

Pneumatic actuators are not used so often, due to the fact that installation in the production of special compressed air compressor systems is required.

Pneumatic actuators are a cylinder inside which a piston moves under the action of compressed air or a spring. They are used to control fittings of various types: gate valves, valves, taps and gates [2].

The most significant features of pneumatic actuators are:

- fast action when using compressed air or different gases under different pressures as a control component.
- the possibility of obtaining maximum strokes and high stresses in the direct stroke of the rod;
- simplicity of design and a small number of parts used;
- the limitation of gains is achieved in the most simple way - by limiting the pressure in the drive.

Based on the advantages and disadvantages of drives, we will design an electric drive for an axial-type control valve, since drives powered by electricity

have advantages in installation and maintenance, are compact and easy to operate [2].

### 1.3 Modern valve actuators

Consider several manufacturers of electric actuators for valves:

- AUMA is a German manufacturer of drive technology,
- ROTORK is an English manufacturer of drive technology,
- RemTEK – Tomsk manufacturer of drive equipment,

AUMA is a leading manufacturer of electric actuators for the automation of industrial valves. Electric actuators are equipped with special automation units from electric motors and gearboxes that create the necessary torque to control gate valves, dampers, taps and valves. In addition, the valve can be operated manually using a handwheel. The actuator records valve stroke and torque data. This data is processed by the control unit, which thus controls how the drive motor is switched on and off. The control unit and the drive usually form one unit, which has an electrical connection interface with the manual control system and the local control panel.

One of the AUMA SA 07.1 electric actuators is shown in (Fig. 1.2).

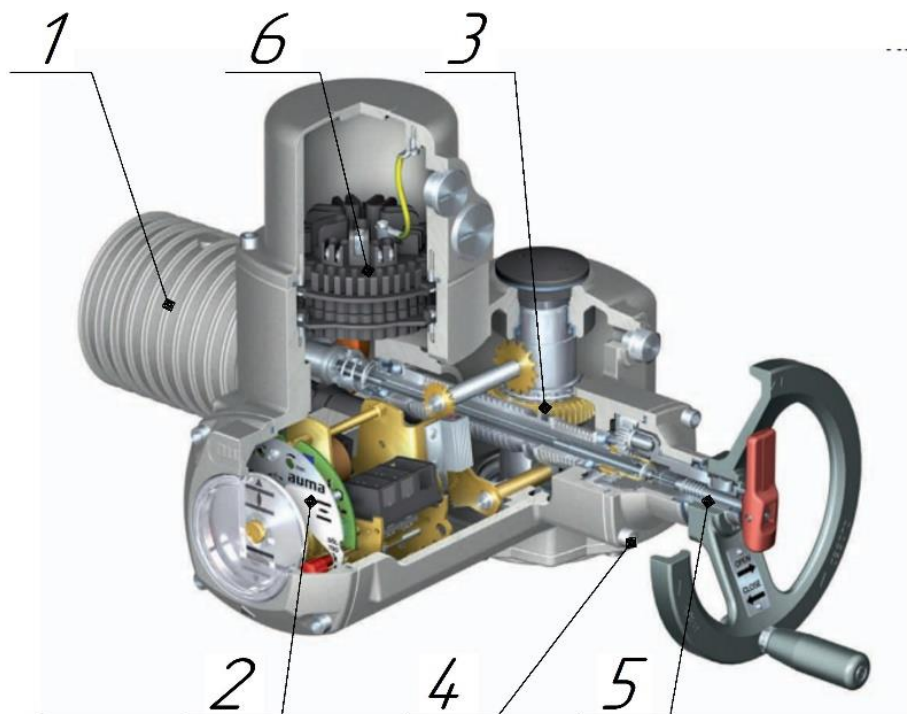


Figure 1.2 - Multi-turn actuator series SA 07.1

- 1 - Electric motor, 2 - Switch box, 3 - Reducer,
- 4 - Mounting flanges, 5 - Manual control,
- 6 - Electrical connection

Electric motor. Breaking the valve out of its end position often requires a high starting torque. The electric motors developed by AUMA meet this requirement.

Block of switches. Depending on the type of valve, the actuator must be switched off in the end positions either by limit or torque switches. To do this, there are two independent measurement systems in the switch block: displacements and torque. They measure, respectively, the movement of the armature and the torque applied on the output shaft. The switches signal that trip points have been reached to the drive controls, which shut down the motor.

Reducer. A well-proven worm gear is used to reduce the engine speed to the desired output speed, sometimes in combination with a planetary gearbox. The worm shaft and output shaft with worm wheel are mounted on ball bearings or plain bearings. The sliding worm is mounted on the worm shaft between two spring packs. The worm moves according to the torque. This axial displacement is transmitted to the switch box via a lever and gear wheels.

Connecting flanges. Mounting flanges for valve mounting are made in accordance with EN ISO 5210 or DIN 3210.

Manual control. When setting up or in an emergency, the multi-turn actuator can be operated from the handwheel. With the help of the red lever - the engine switch is disconnected and the clutch with a manual drive is engaged. Because the motor is disengaged from the gear shaft before the self-braking worm gear, it is possible to easily switch to manual mode even if torque is applied to the drive output shaft. When the engine is started, the hand drive is automatically disengaged. During engine drive operation, the handwheel does not rotate.

ROTORK manufactures electrical actuators and heavy duty valve control systems worldwide. ROTORK is home to the flagship IQ line of intelligent electric actuators. The IQ Series features legendary innovations including the unique ROTORK double sealed housing, “non-intrusive” infrared commissioning, data

logging and predictive maintenance capabilities. More recent innovations include an improved display, a Bluetooth communication interface, and an absolute encoder.

The functionality and reliability of the IQ is available for valves of almost any size and description, including multi-turn (rotary), quarter-turn, shut-off and control, with watertight and hazardous area certifications to all internationally recognized standards.

One of the ROTORK electric drives of the IQ and IQT series is shown in (Fig.3).

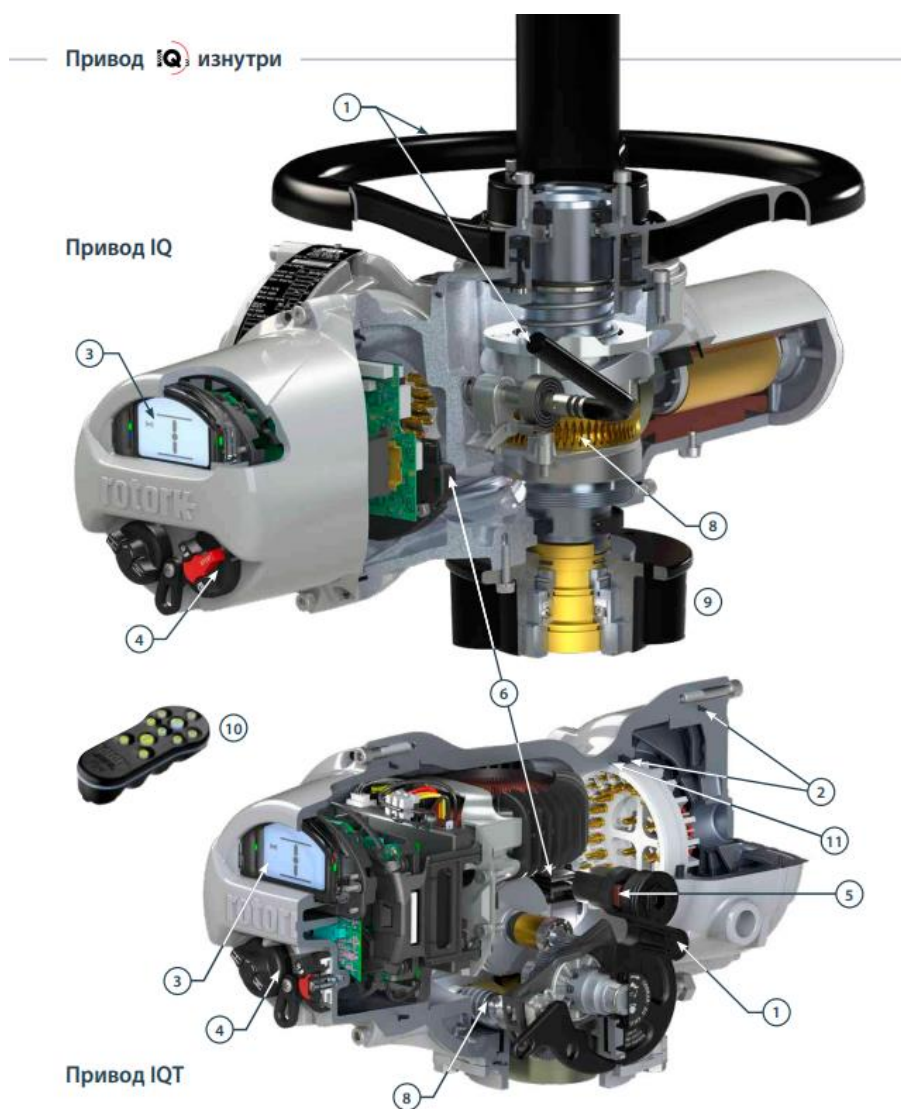


Figure 3 - Multi-turn electric actuators of the IQ and IQT series

- 1 - Operation in manual mode, 2 - Degree of protection of the housing,
- 3 - Display, 4 - Local control, 5 - Battery, 6 - Position measurement,
- 7 - Torque sensor, 8 - Drive mechanism, 9 - removable bases,

10 - ROTORK Pro Setting Tool with Bluetooth,

11 - Certified for use in explosive environments

Work in manual mode. The direct drive handwheel and the geared handwheel are designed for effective manual control of the valve. The handwheel is independent of the electric motor and engages in a lockable handle (manual/automatic mode) for safe operation even when the electric motor is running.

Degree of protection of the case IP66/68. In combination with the double sealing of the terminal block, the drive housing is completely sealed, which protects the drive from environmental influences for its entire operating life.

Display. The modern display has a wide viewing angle, making it easy to see from a distance. The dual display mode provides a wide temperature position display range (-50 to +70°C) in addition to detailed graphical information.

Local government. The Open/Close and Local/Stop/Remote switches are magnetically connected to solid state switches inside the cover. This solution, together with a double seal, provides non-penetrating protection to the drive.

Battery. The battery provides power to the display, remote indication and setup when the main power supply to the drive is not available.

Position measurement. The patented, high-precision absolute position encoder can measure up to 8000 revolutions at the output of the drive under all conditions, including the absence of power supply.

Moment sensor. The most advanced piezoelectric torque transducer for IQ provides reliable torque measurement over a wide temperature range.

Drive mechanism. A worm gear is used as a mechanical transmission.

Removable bases. For all sizes of actuators, the support and non-support bases are removable from the gearbox housing for ease of installation.

ROTORK Pro Setting Tool with Bluetooth. The IS Setting Tool is designed for commissioning and downloading drive log data.

Certified for operation in explosive environments. The Rotork Flameproof Exde enclosure has a flameproof connection between the main body and the terminal

block. This means that the explosion on both sides of the terminal block will not be transmitted between compartments or to the outside.

RemTek company. Electric actuators from RemTek can rightly be called intelligent. The built-in high-speed microprocessor with volatile memory provides optimal electric drive control algorithms that allow increasing the service life of pipeline valves, maintaining the required accuracy and speed when adjusting process parameters (flow, pressure, temperature), as well as high energy efficiency. Stopping the actuator of pipeline valves with high accuracy - up to 100 microns for a linear electric drive and up to 1 degree for a control part-turn electric drive - is achieved through the introduction of high-precision position sensors, gearboxes and modern software solutions.

One of the RemTek electric drives is shown in (Fig. 4).

Base module. The base module of the RemTEK electric drive contains a built-in transistorized frequency converter. It generates a voltage of the required amplitude and frequency, which is applied to the winding of the electric motor built into the base module. Due to the regulation of voltage and frequency according to the vector control algorithms, the electric motor current, torque and speed at the output link of the electric drive are regulated.

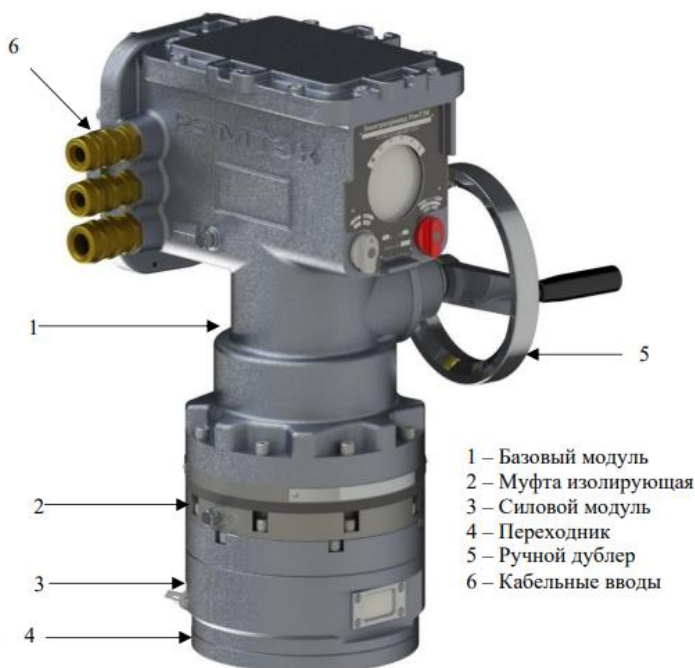


Figure 4 - Component parts of the RemTEK electric drive

The base module includes:

- power converter module;
- source of power;
- position sensor;
- information module with a backup power supply from a lithium battery;
- local government post;
- control module;
- electric motor with temperature sensor;
- input-output module.

The Power Converter Module (PCM) converts the input supply voltage into a voltage applied to the motor windings. The required accuracy and stability of the output characteristics of the electric drive is provided with the help of software controllers for current, torque, speed, position.

The power supply (PS) has a wide input voltage range and serves to provide all modules with a stabilized voltage.

The control module provides control of the operation of the power inverter, exchange with the telemechanics system via serial and discrete interfaces, operation with the PMU and the IR channel. The controller analyzes the current parameters of the unit (currents, voltages, position of the output link) and local and remote control commands, generates control actions on the power inverter, determines the occurrence of emergency modes of the unit, issues information and emergency messages.

The position sensor (DP) is designed to control the current angular position of the motor shaft and provides the ability to control the movement of the output link of the electric drive to a predetermined position.

The I/O module (IOM) is designed to exchange data between the electric drive and the telemechanics system.



The lithium cell is intended for the backup power supply of the information module, the internal clock of the base module, and for the backup power supply of the DP.

The PMU local control post performs the functions of controlling the electric drive directly at the place of its installation, indicating the current operating mode of the electric drive, alarms, as well as outputting the electric drive control parameters for their control and change by maintenance personnel.

The appearance of the PMU is shown in (Fig. 5).

The PMU has the following controls and indications:

- handles - switches;
- program menu indicator (text-graphic indicator);
- single indicators

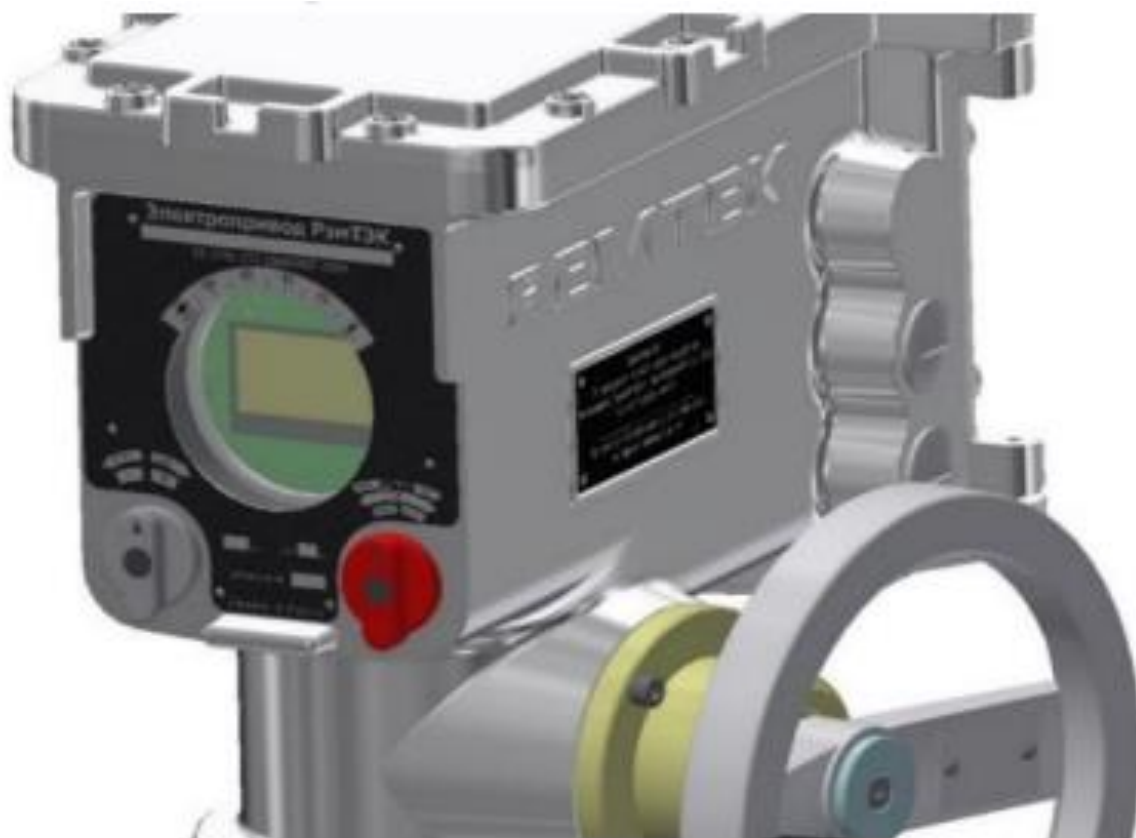


Figure 5 - Appearance of the PMU.

Manual doubler. Manual override provides the ability to control valves manually. The manual override will automatically disengage when the motor is started.

Information module (IM) performs the following functions:

- collection and storage of information about the state of the electric drive (control of the state of the PMU switches and external control circuits, the value of the mains voltage, current and torque of the electric motor, the speed of the output link, temperatures in the control unit and in the electric motor);

- storage of an extended log of defects and events 5 seconds before the appearance of a defect with a record of the facts of changing the settings, both user and manufacturer's parameters;

- recording of changes in calibrations, including by position;

- recording of control commands in the states "DU" and "MU";

All entries in the IM are made with the date and time.

The power module (reducer) has several steps depending on the required torque value at the output of the electric drive.

The power module can be of a linear, part-turn or multi-turn type and provides the necessary torque to control the valve.

Depending on the modification of RemTEK, the following types of gears are used in the design of power modules:

The planetary gear has a high efficiency, has a multi-pair gearing of the satellite teeth, but has a low gear ratio, is used in high-speed drives or as a preliminary stage.

Transmission with intermediate rolling elements (PTK). The main advantage of the transmission is simplicity, compact design and high efficiency. In terms of

gear ratio, the transmission occupies an intermediate position between the planetary and pinion gears.

Flower (cycloidal) transmission has a large load capacity with small dimensions and for this reason it is used in heavily loaded gearboxes.

Ball screw drive (BSC) is used in linear modules, has high efficiency, high kinematic accuracy and low backlash.

Highly reliable gearboxes based on cycloidal, planetary and ball screw gears with the use of non-freezing aviation greases ensure a long service life of electric drives.

The use of gears with intermediate rolling elements and cycloidal gears ensures the compactness of multistage gearboxes and high weight and size parameters of RemTEK electric drives.

#### **1.4 Summary of the drive overview**

Based on the analysis of modern markets for electric actuators for valves, worm gears are mainly used as a mechanical transmission, as they have a compact design, self-braking effect, low transmission noise, smooth running. Gears with intermediate rolling elements are used less often and planetary gears are used very rarely.

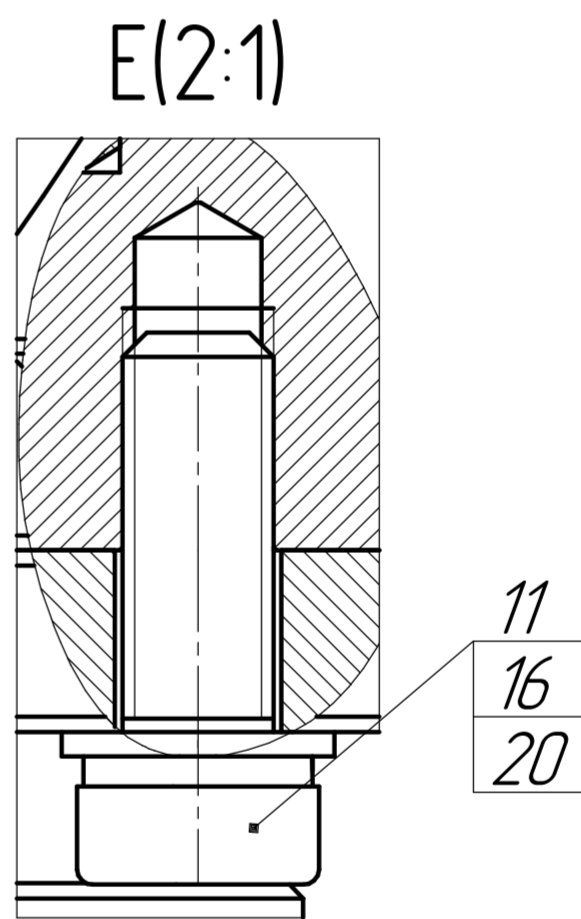
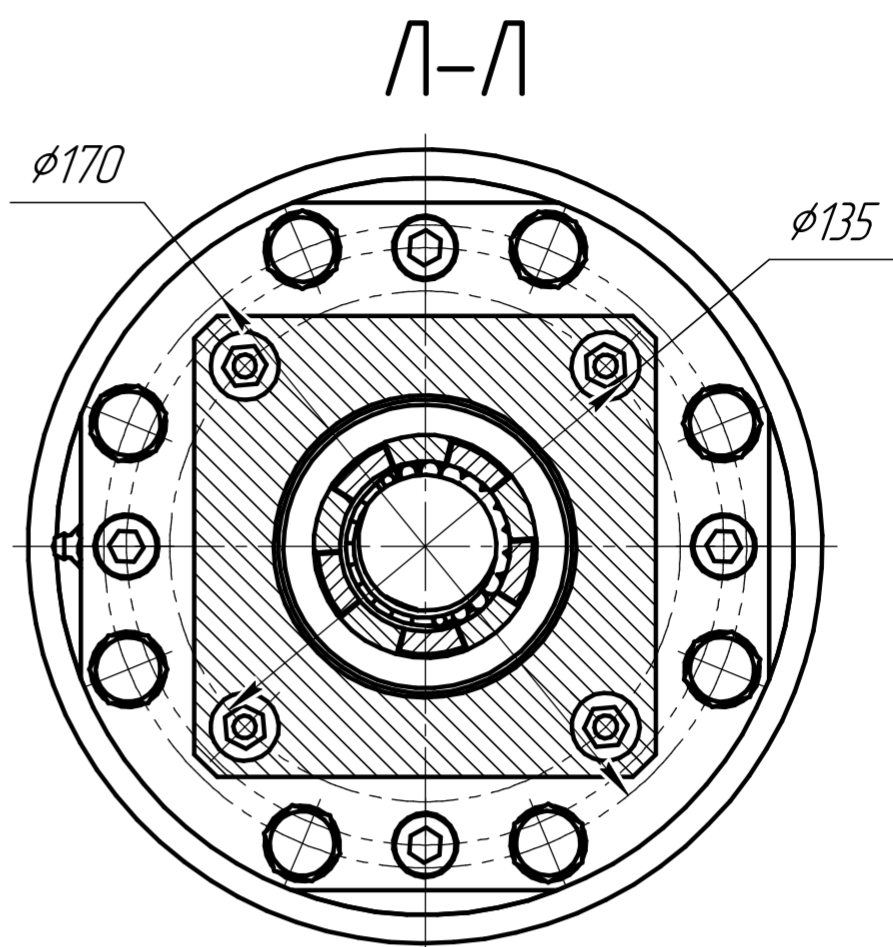
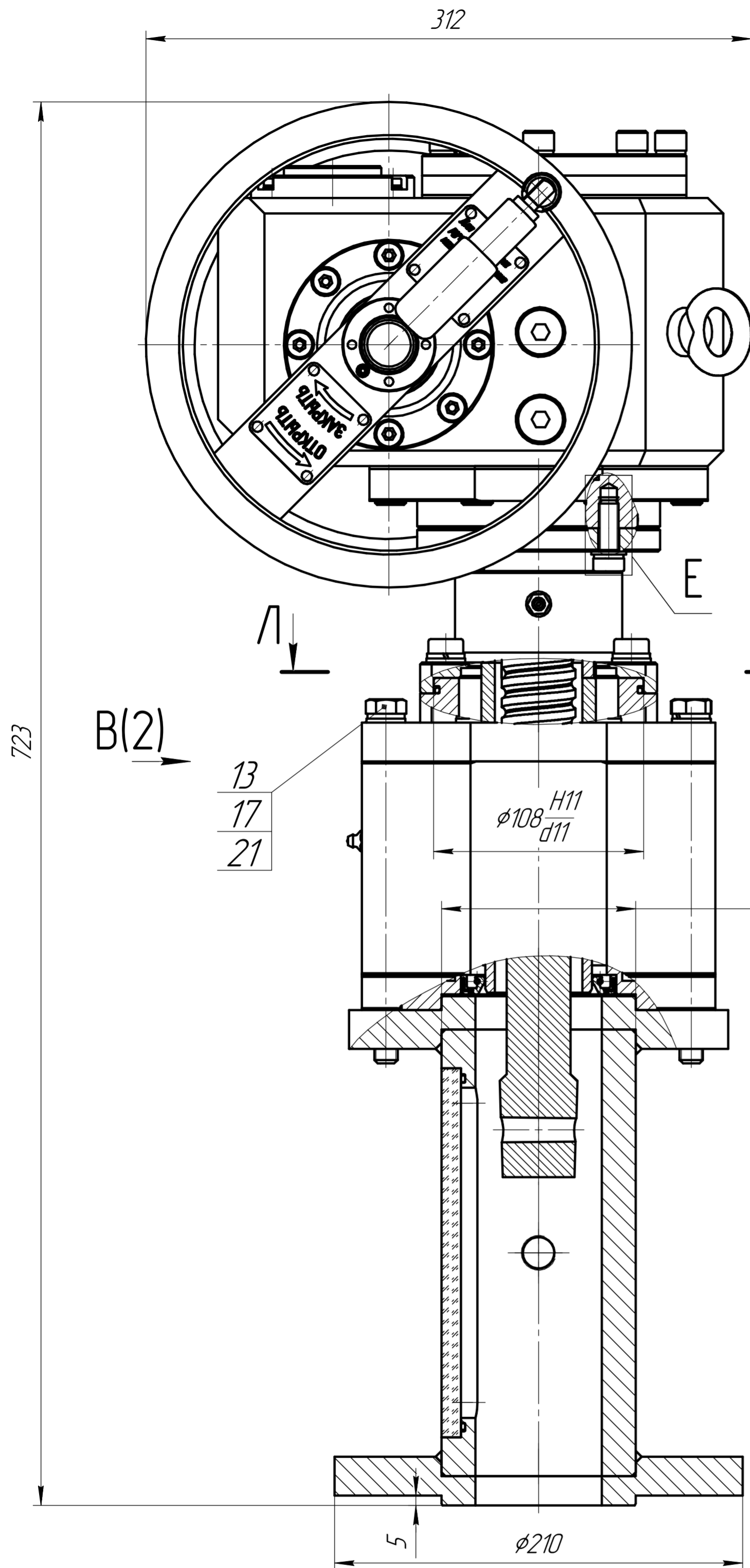
## Приложение Б

Комплект конструкторской документации на изделие  
«Привод прямоходный»

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<u>Документация</u>			
		A2			ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.00 СБ	Сборочный чертеж		3 листа	
						<u>Сборочные единицы</u>			
		A3	1		ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00	Редуктор червячный	1	2 листа	
		A3	2		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00	Редуктор линейный ШВП	1		
		A3	3		ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00	Адаптер	1		
		A3	4		ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.00	Модуль датчика положения	1		
		A3	5		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00	Ручной дублер	1		
		A3	6		ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.00	Опора в сборе	1		
						<u>Детали</u>			
		A4	7		ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.01	Ось центральная 2	1		
		A3	8		ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.02	Втулка 42 F10	1		
						<u>Стандартные изделия</u>			
			9			Винт DIN 6912-M5x16	4		
			10			Винт DIN 6912-M8x40	8		
					ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.00				
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разраб.	Беннер А.Я.				Лит.	Лист	Листов
		Пров.	Ефременков Е.А.				У	1	2
		Н.контр.					ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК		
		Утв.							
					Привод прямоходный				
Не для коммерческого использования					Копировал		Формат А4		





Технические характеристики

- 1. Max усилие на выходе - 40кН.
- 2. Ход - 150 мм.
- 3. Скорость 75 мм/сек.
- 4. Масса не более - 80 кг.
- 5. Климатическое исполнение - УХЛ1.
- 6. Степень защиты - IP68.

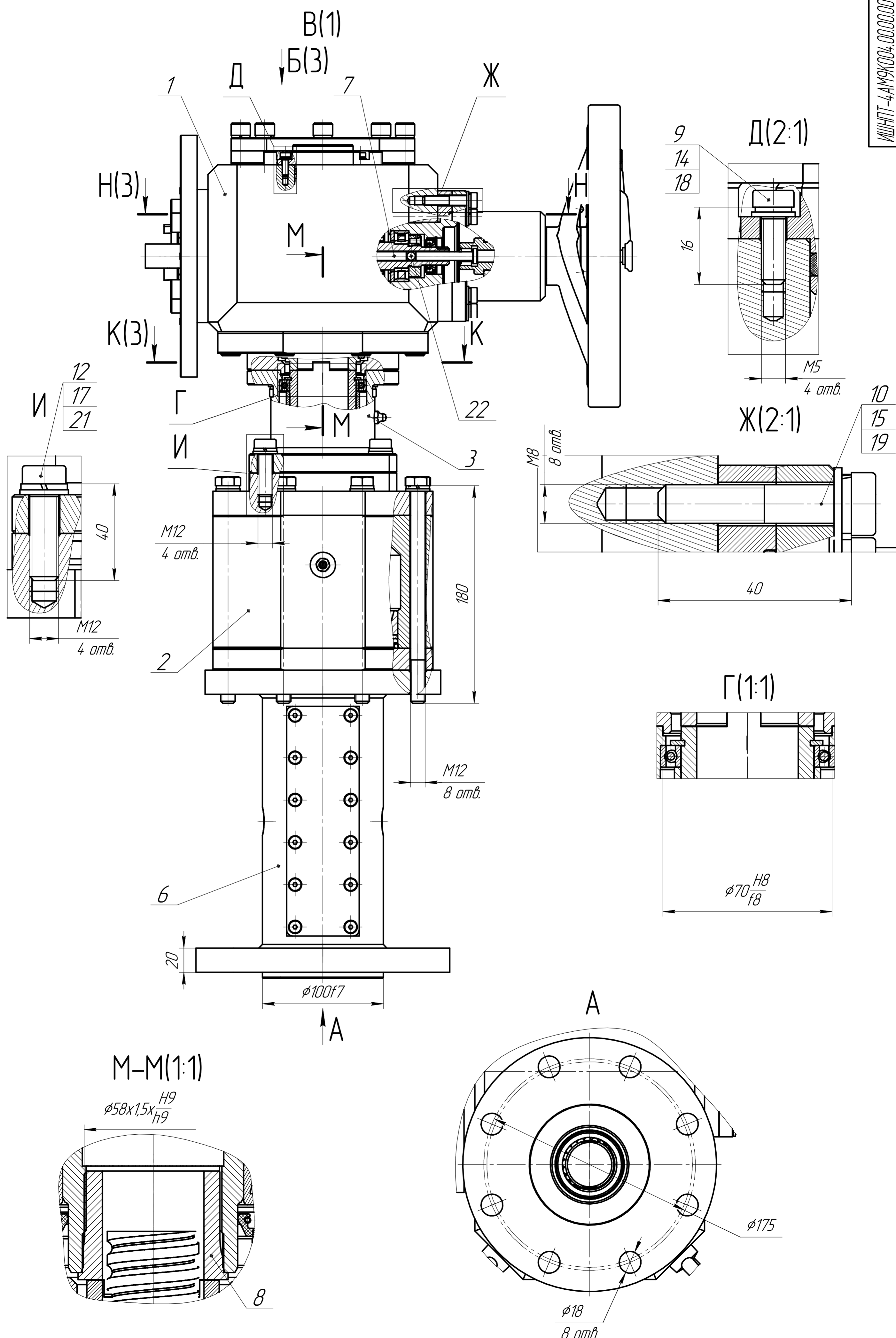
Технические требования

- 1. Все размеры для справок.
- 2. Винты и болты поз. 9, 10, 11, 12, 13 поставить на фиксатор резьбы Loctite 243

Перв. поимен.
Справ. №

Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №

				ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.00 СБ			
				Привод прямоходный сборочный чертеж			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
					4	76,43	1:2
				Лист	1	Листов	3
				ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК			
				Формат А2			

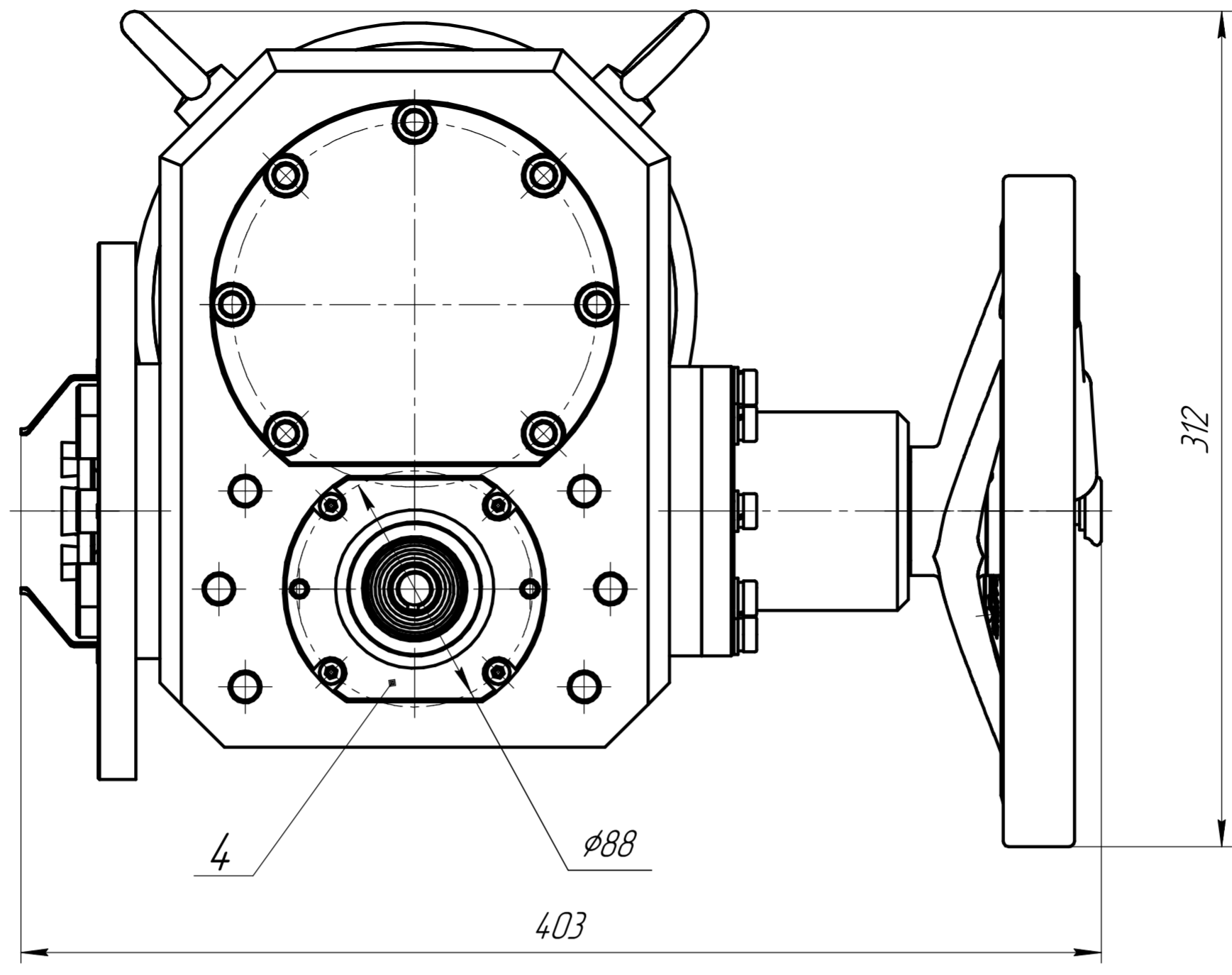


КОМПАС-ЭП 1/9 Учредитель: ООО "АКОН-Системы проектирования". Россия. Все права защищены.  
 Инв. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № подл. Подп. и дата.

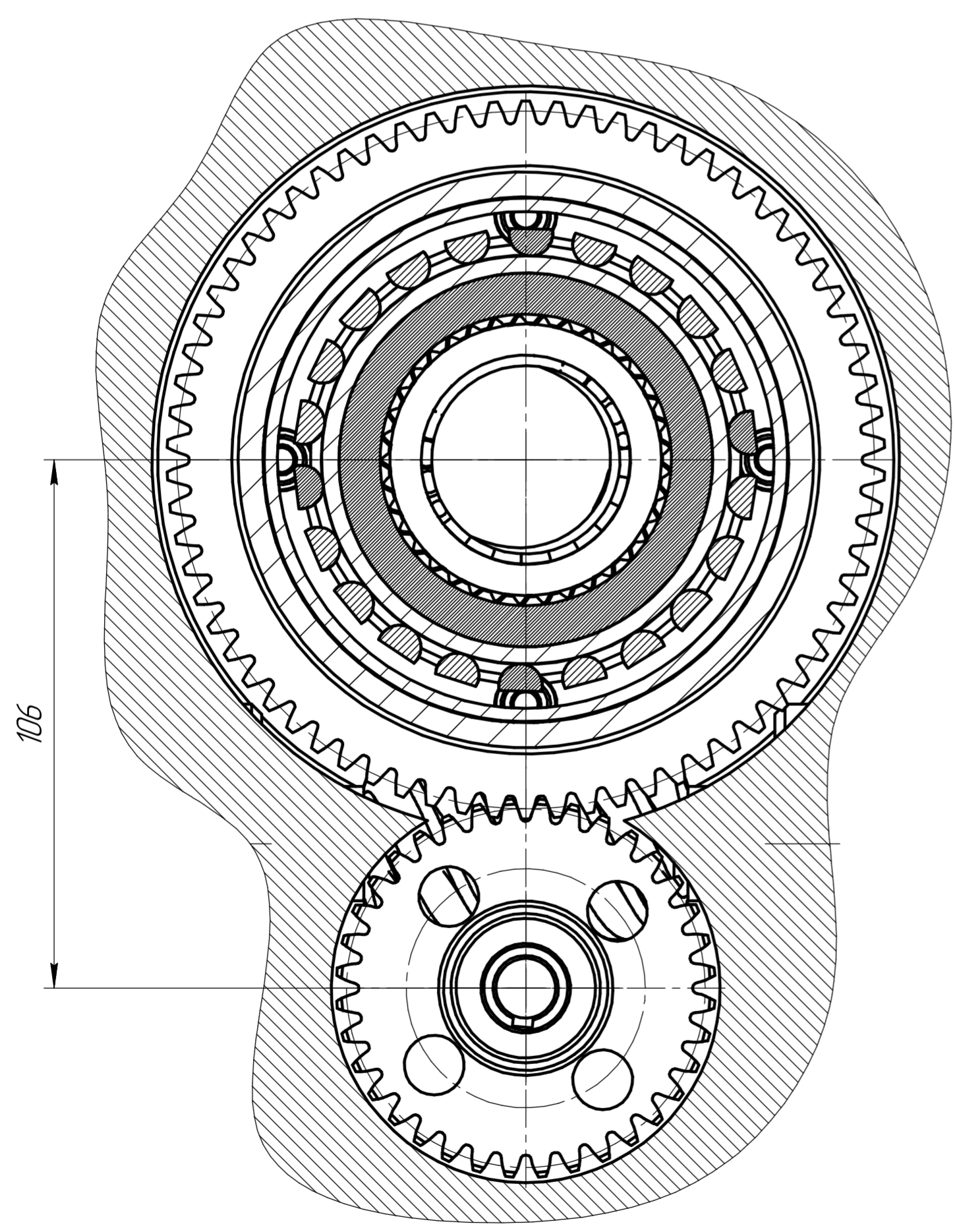
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ИШНПТ-4АМ9К004.00.00.00 СБ	Лист
						2



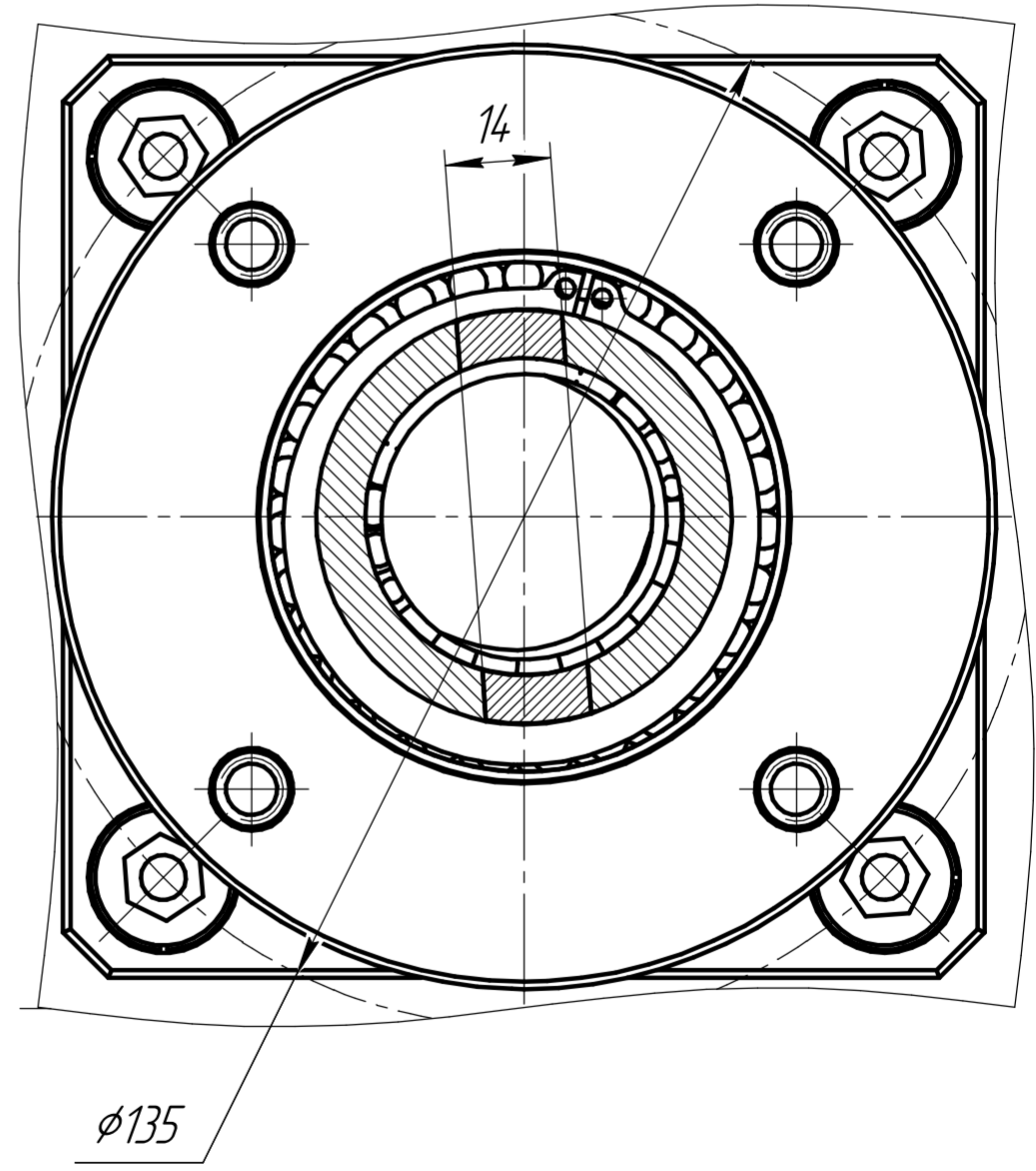
Б(2)



Н-Н(2) (1:1)



К-К (2) (1:1)



КОМПАС-ЭП 1/19 Учебная версия © 2021 ООО "АКРОС-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Инв. № подл. Подл. и дата. Версия. Инв. № докл. Подл. и дата.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A3			ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00СБ	Сборочный чертеж		2 листа
<i>Сборочные единицы</i>						
A4		1	ИШНПТ-4АМ9К004.01.01.00	Гайка в сборе	2	
<i>Детали</i>						
A3		5	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.02	Корпус	1	
A3		7	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.03	Фланец червяка на дублер	1	
A3		8	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.04	Фланец подшипниковый	1	
A3		9	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.05	Фланец к двигателю	1	
A4		10	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.06	Крышка фланца колеса	1	
A3		11	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.07	Фланец колеса	1	
A3		12	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.08	Фланец колеса F10	1	
A3		13	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.09	Вал червячного колеса	1	
A3		14	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.10	Колесо червячное	1	
A3		15	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.11	Колесо зубчатое	1	
A3		16	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.12	Вал червячный	1	
A4		17	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.13	Кольцо дистанционное	1	
A4		18	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.14	Муфта червяка	1	
A4		19	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.15	Кольцо дист. червяка 1	1	
A4		20	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.16	Кольцо дист. червяка 2	1	
A4		21	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.17	Кольцо дистанционное фланца 1	1	
<b>ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00</b>						
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Беннер А.Я.				
Пров.		Ефременков Е.А.				
Нач. отд.						
Н.контр.						
Утв.						
<b>Редуктор червячный</b>				Лит.		
				У	1	3
				ТПУ ИШНПТ		
				Группа 4АМОК		
Не для коммерческого использования				Копировал		Формат А4

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № докл.	Подп. и дата

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A4		22	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.18	Кольцо дистанционное фланца 2	1	
A3		23	ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.19	Пружина лепестковая	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		30		Винт M10x40 DIN 912	8	
		32		Винт M6x25 DIN 912	4	
		33		Винт M6x35 DIN 912	8	
		34		Винт M10x25 DIN 912	8	
		35		Винт M10x45 DIN 912	7	
		36		Кольцо 15 DIN 471	1	
		38		Кольцо 42 DIN 472	1	
		39		Кольцо 145x150x36-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
		40		Кольцо 110x116x36-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
		41		Кольцо 096x102x36-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
		42		Кольцо 058x063x30-1-3 ГОСТ 9833-73	2	
		43		Кольцо 045x049x25-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
		44		Кольцо 099x105x36-1-3 ГОСТ 9833-73	2	
		45		Кольцо 068x074x36-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
		46		Манжета 1.1-15x30-3 ГОСТ 8752-79	2	
		47		Манжета 1.1-70x95-3 ГОСТ 8752-79	2	
		48		Подшипник 36104 (7004) ГОСТ 831-75	2	
		49		Подшипник 6004-2RS DIN 625	1	
		50		Подшипник 2007115A (36115) ГОСТ 27365-87	1	
		51		Подшипник 2007915A (1046915) ГОСТ 27365-87	1	
		52		Пробка M18x1,5 DIN 908	3	
		53		Рым-болт M10 ГОСТ 4751-73	2	
		54		Шайба M10 DIN 433	15	
		55		Шайба M6 DIN 7980	12	
		56		Шайба M10 DIN 7980	23	
		58		Шайба M6 DIN 125	4	
		59		Шайба M18 DIN 125 (Медная)	3	

**ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00**

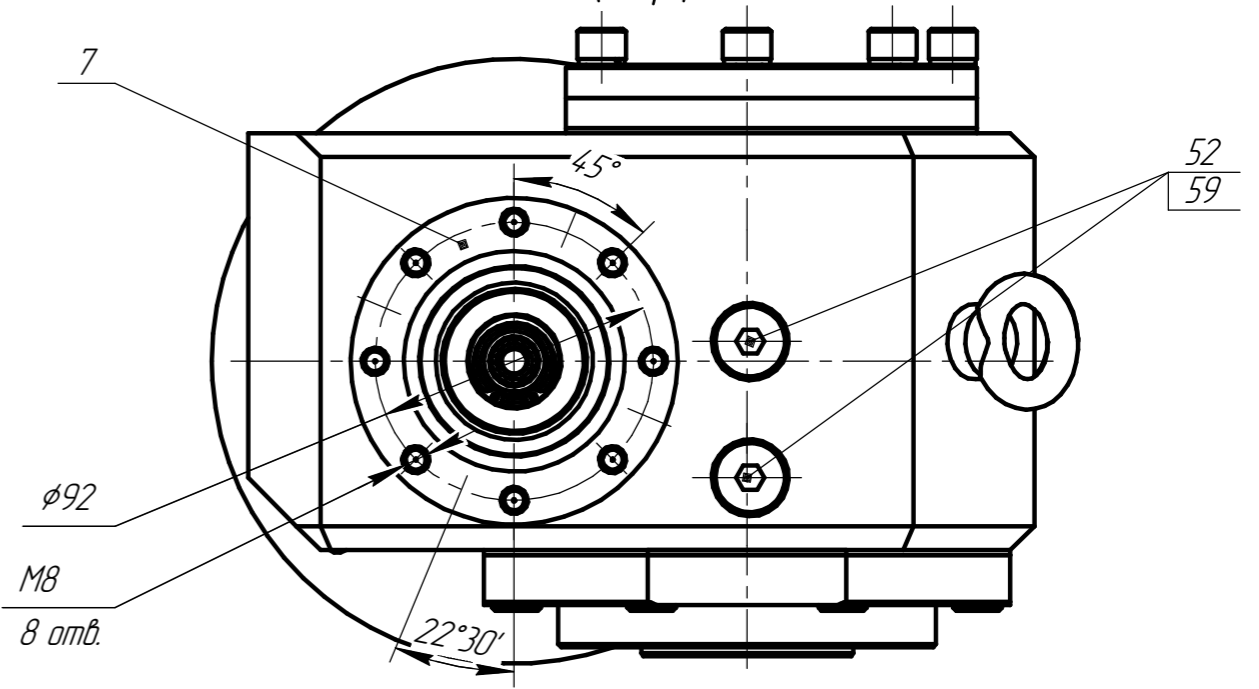
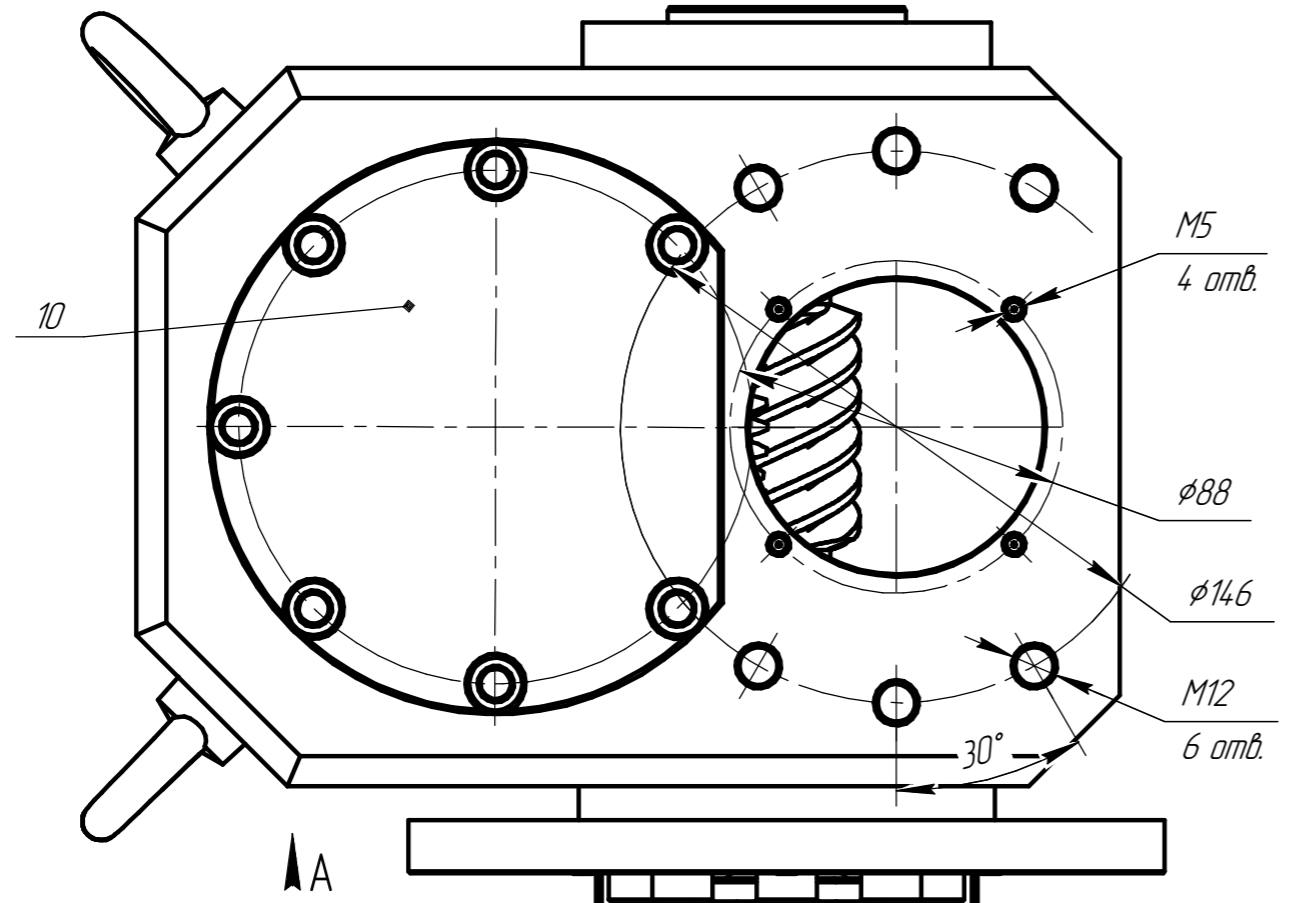
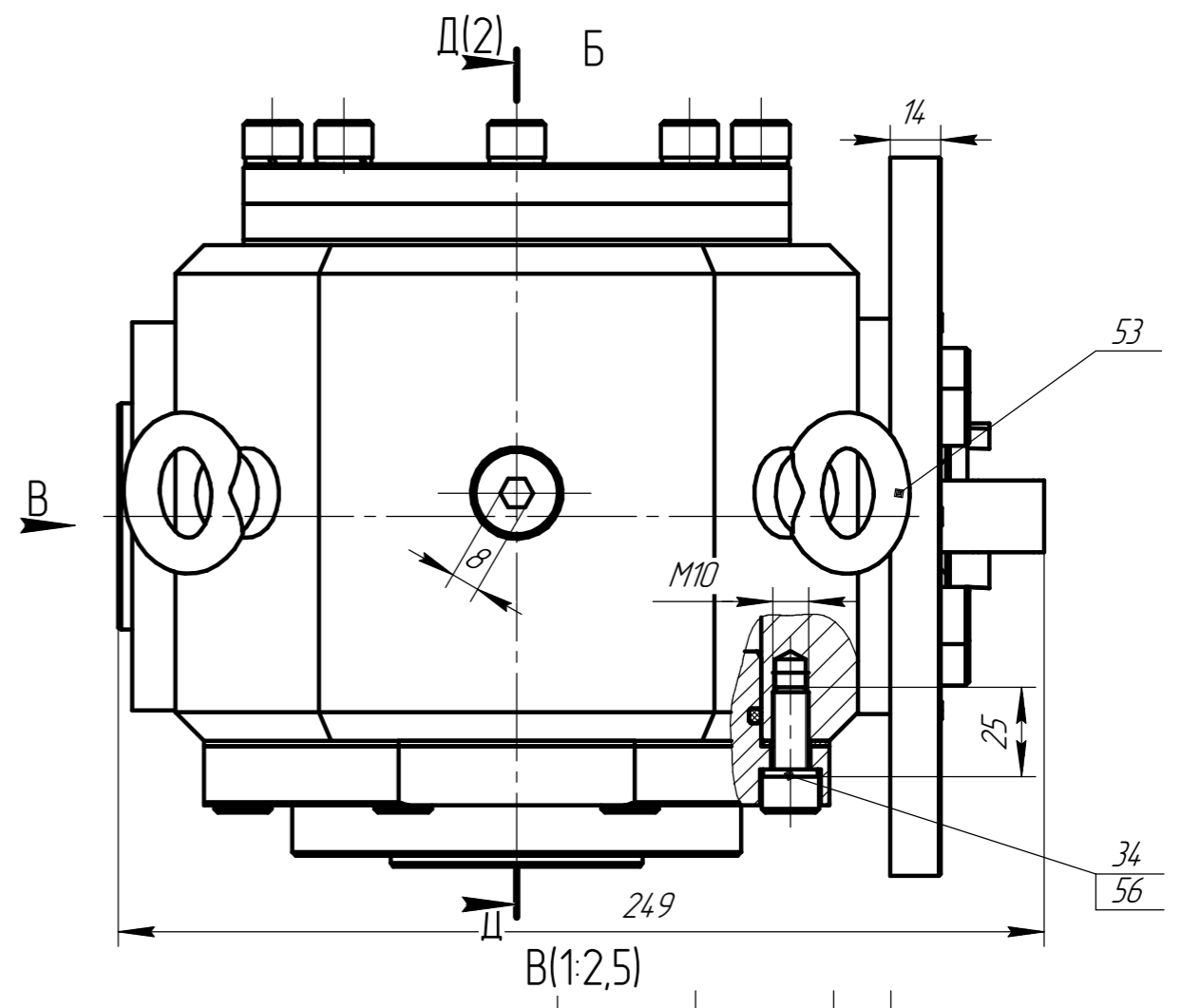
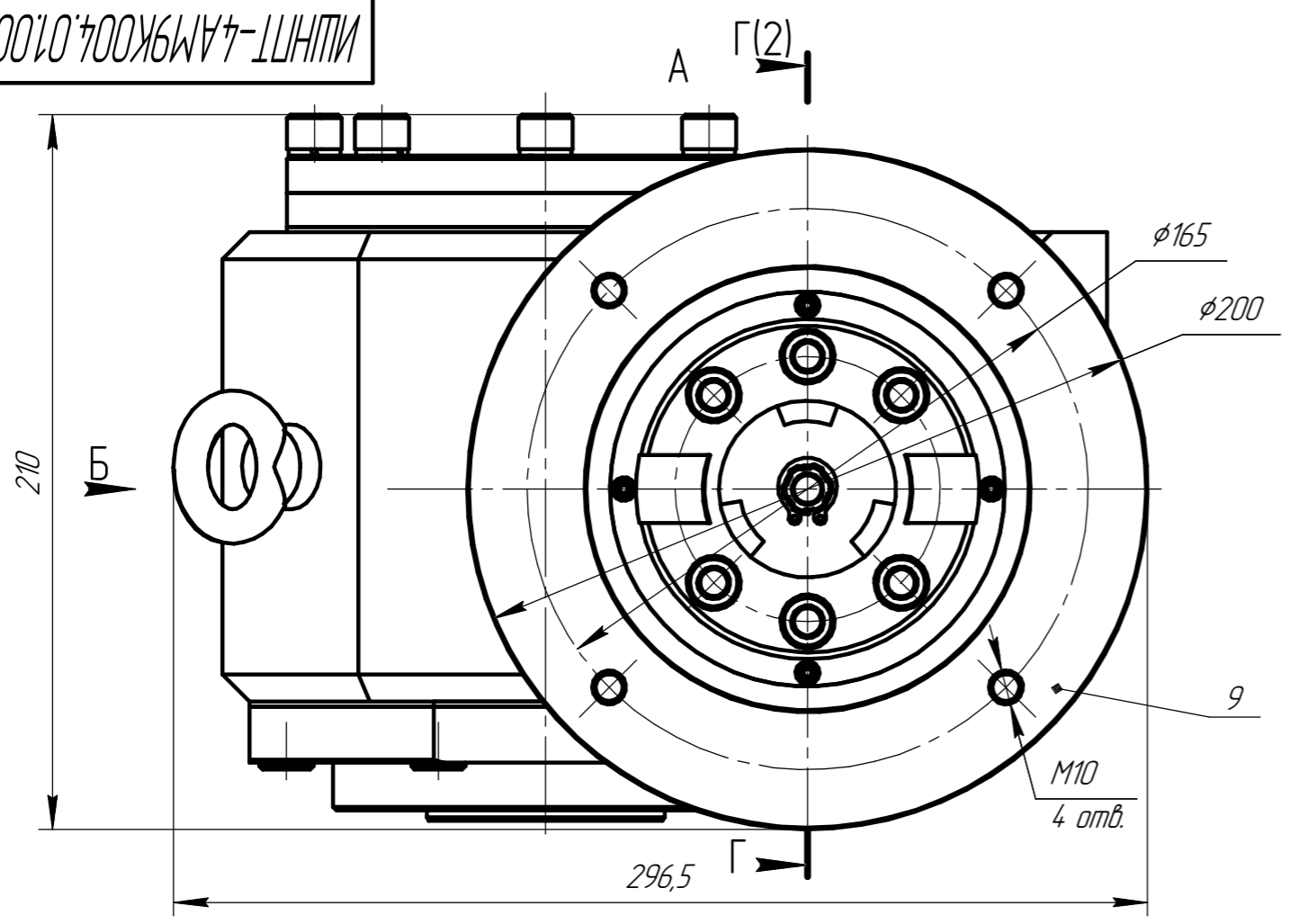


ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00СБ

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Взам. инв. № Инв. № дцкл. Подп. и дата  
 Инв. № подл. Подп. и дата



- 1 Размеры для справок.
- 2 Вал червячный поз.16, после сборки должен вращаться свободно, без заклиниваний и заеданий.
- 3 Осевой люфт Вала червячного колеса поз.13 не допускается.
- 4 Осевой люфт Вала червячного поз.16 не допускается.
- 5 Все винты установить на Loctite 243.

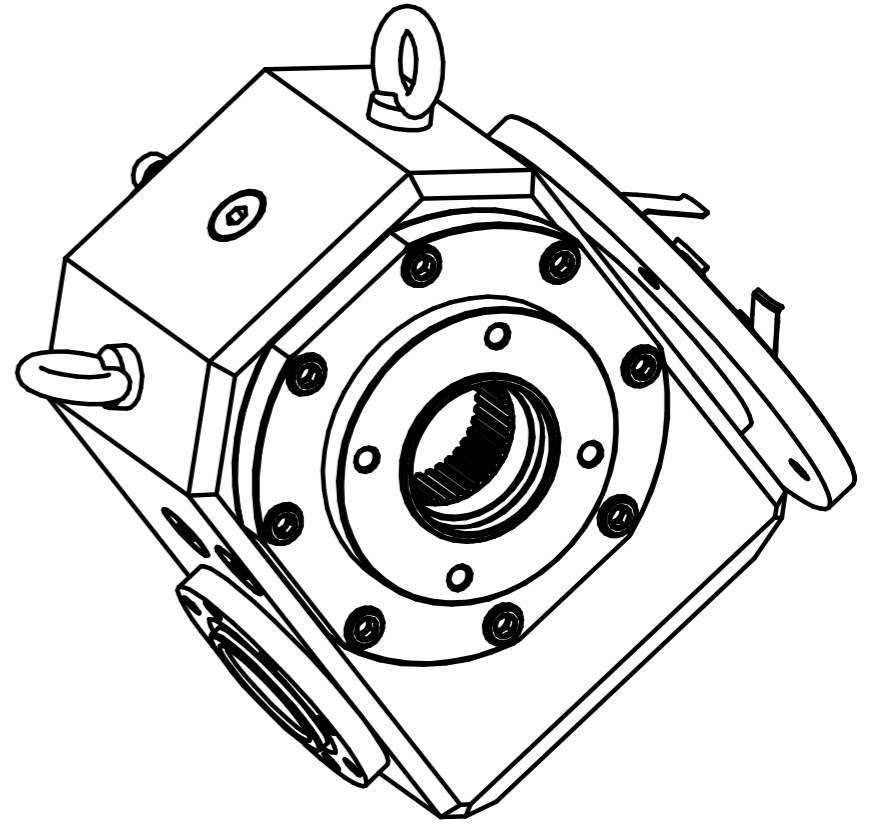
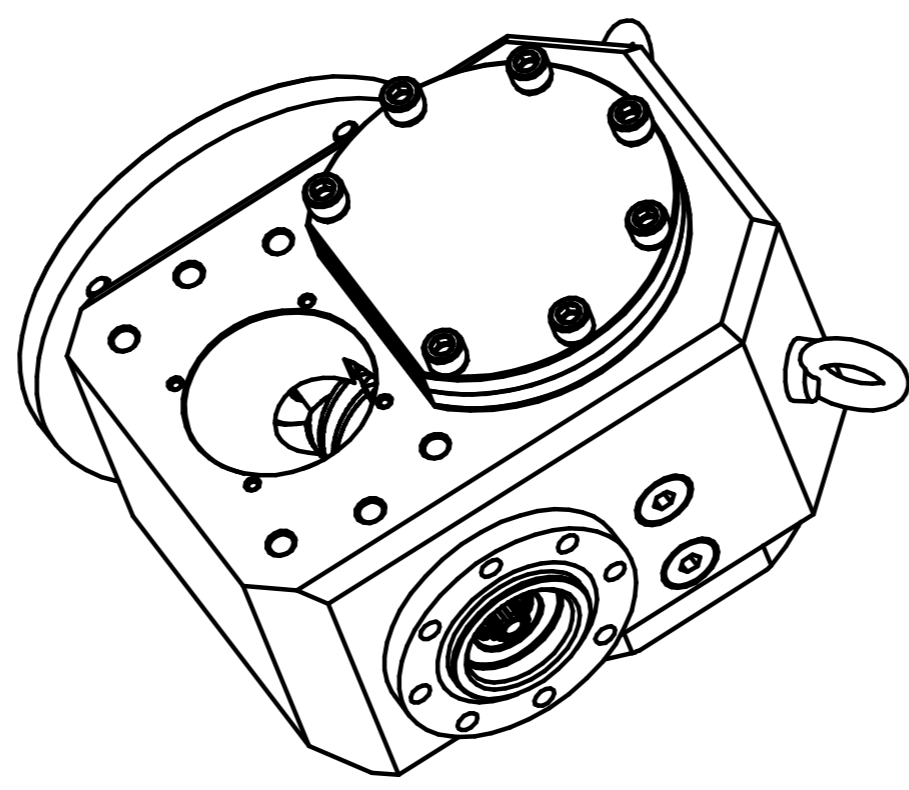
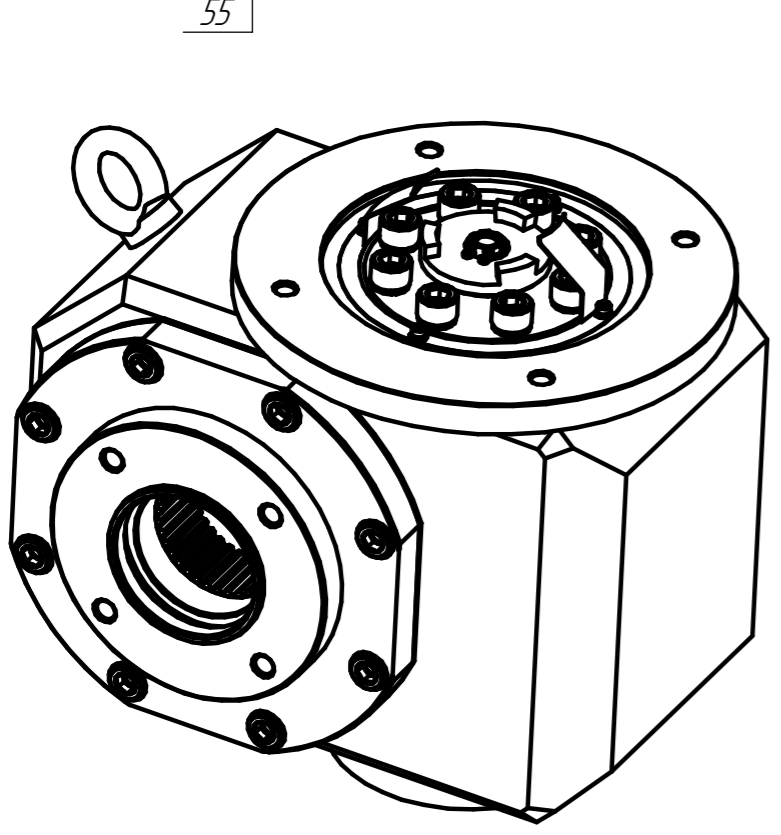
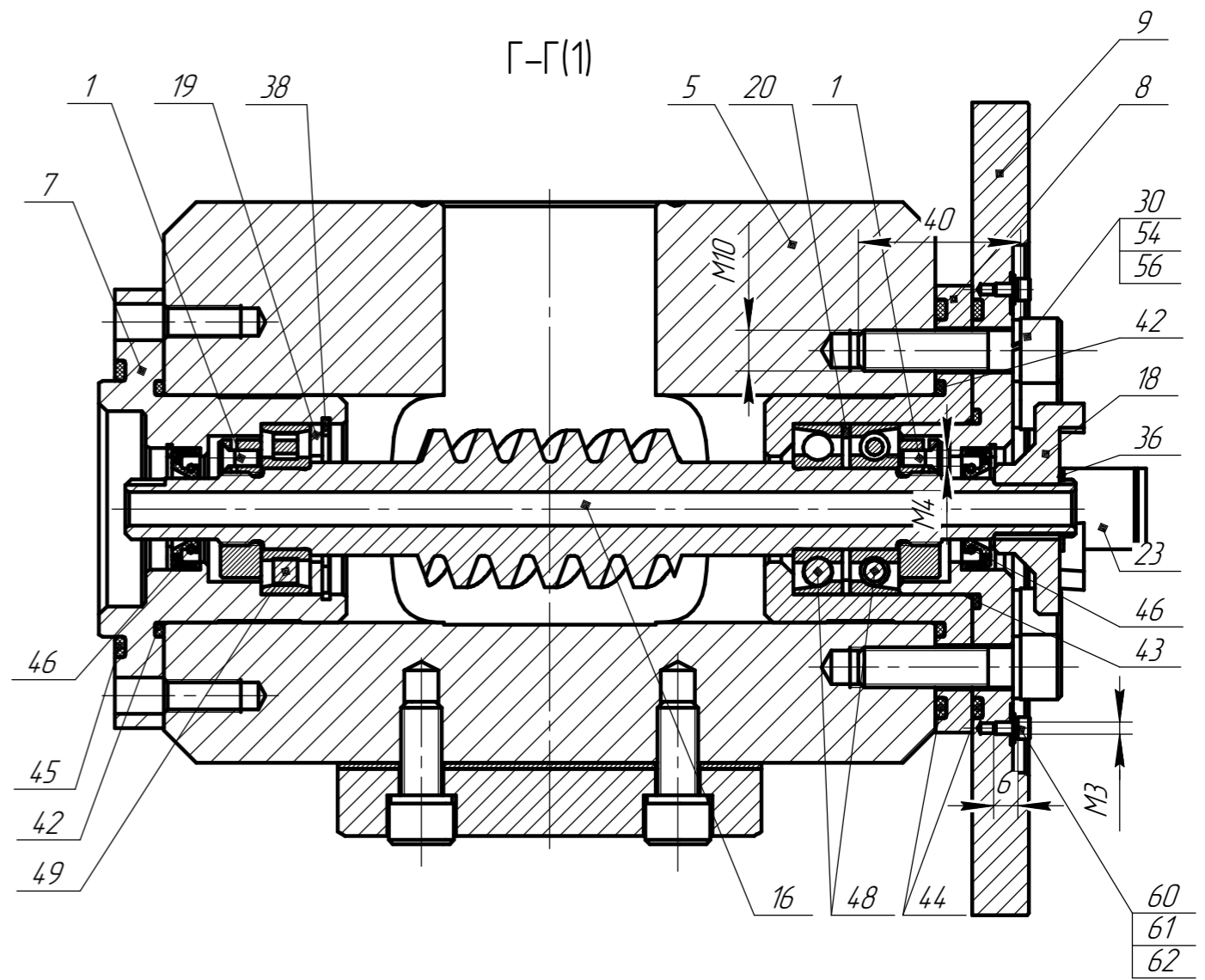
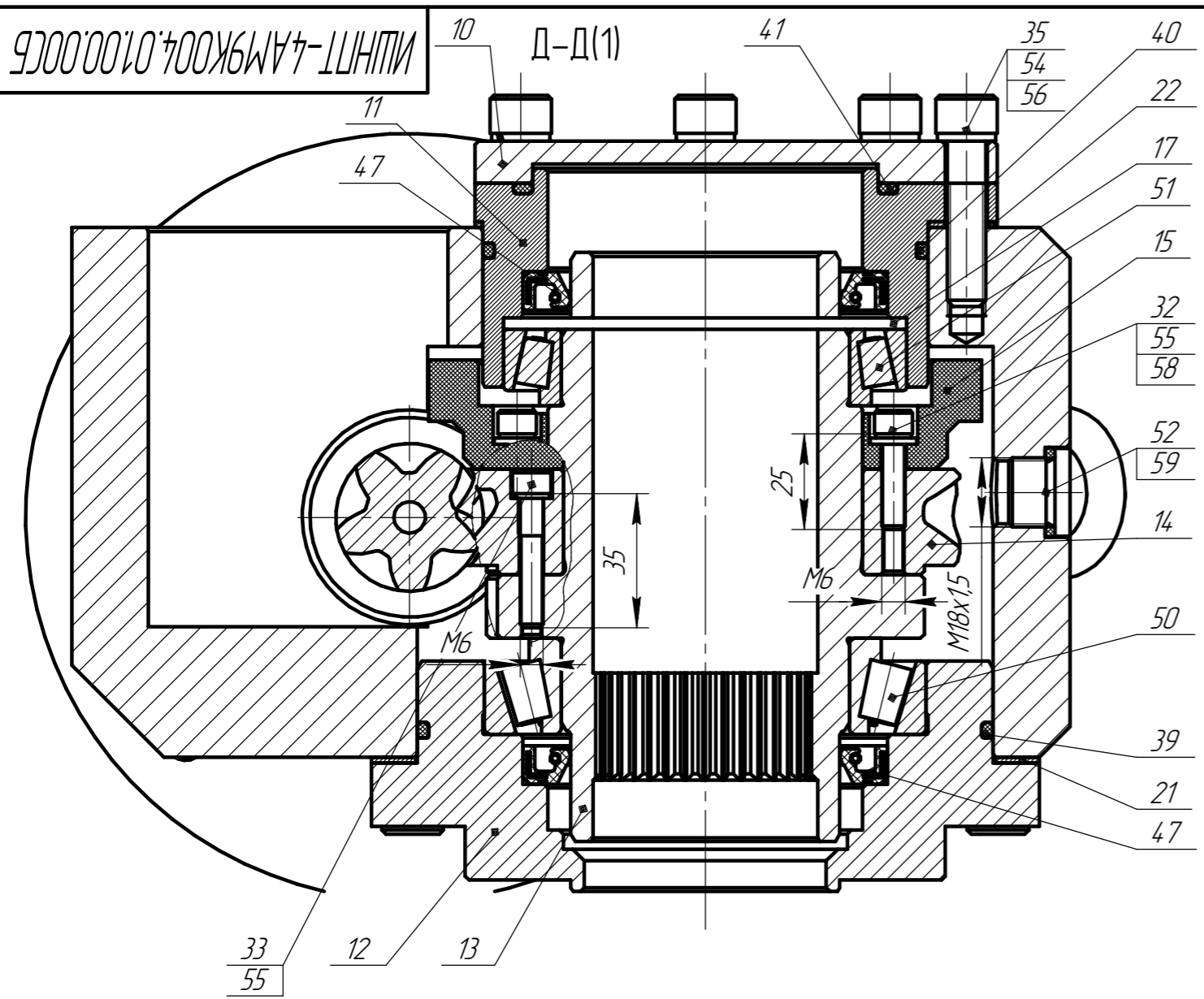
				<b>ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00СБ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Редуктор червячный Сборочный чертеж</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Беннер А.Я.				У	30,37	1:2
Проб.		Ефременков Е.А.				Лист 1	Листов 2	
Т.контр.					ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК			
Н.контр.					Формат А3			
Утв.					Копировал			

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл. Подп. и дата

Взам. инв. № Инв. № дцкл. Подп. и дата

Изм. № подл. Подп. и дата



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ИШНПТ-4АМ9К004.01.00.00СБ

Лист  
2

Перв. примен.		Справ. №		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
								<u>Документация</u>			
				A3			ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00 СБ	Сборочный чертеж			
								<u>Детали</u>			
				A3	2		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.01	Корпус ШВП	1		
				A3	3		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.02	Фланец подшипниковый верхний	1		
				A3	4		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.03	Фланец подшипниковый нижний	1		
				A3	5		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.04	Втулка	1		
				A2	6		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.05	Гайка	1		
				A4	7		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.06	Кольцо дистанционное	1		
				A4	8		ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.08	Винт ШВП	1		
								<u>Стандартные изделия</u>			
						13		Кольцо 102-108-30-1-3 ГОСТ 9833-73	1		
						14		Винт М10х25-8.8 DIN 912	8		
						15		Винт М8х55-8.8 DIN 912	8		
						16		Кольцо 16 DIN 3771	1	Медь	
						17		Кольцо 125-130-30-1-3 ГОСТ 9833-73	1		
						18		Кольцо 135-140-36-1-3 ГОСТ 9833-73	1		
						19		Манжета 1.2-55х80-3 ГОСТ 8752-79	1		
						20		Манжета 1.2-80х105-3 ГОСТ 8752-79	1		
						21		Масленка 1.2 Ц6хр ГОСТ 19853-74	1		
						22		Подшипник 2007919А ГОСТ 27365-87,	1		
							<b>ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00</b>				
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата			
Разраб.		Беннер А.Я.								Лит.	
Пров.		Ефременков Е.А.								У	
Нач. отд.										Лист	
Н.контр.										1	
Утв.										Листов	
										2	
							<b>Редуктор линейный ШВП</b>			ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		23		аналог 32919J Подшипник 2007920A ГОСТ 27365-87	1	
		24		аналог 32920J Пробка резьбовая М16х15 DIN 908	1	
		25		Шайба 8 DIN 7980	8	
		26		Шайба 10 DIN 7980	8	
				Прочие изделия		
		30		Гайка R40-10K4-FSC(Тип2)	1	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

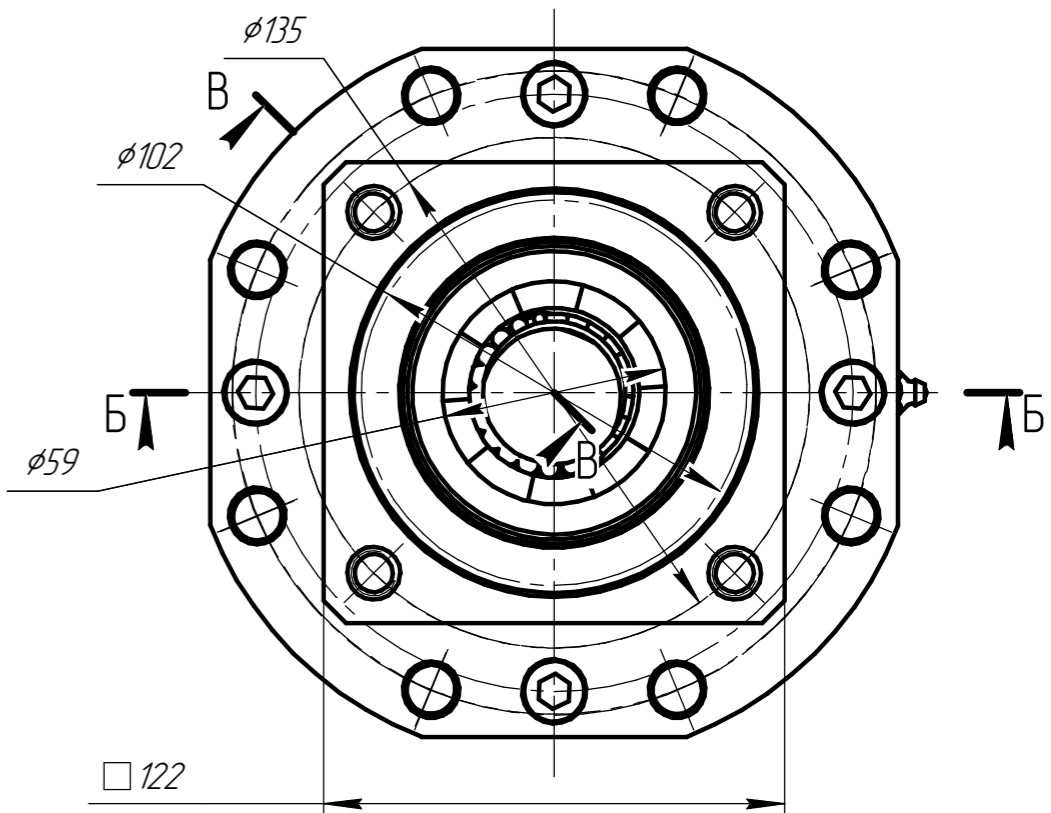
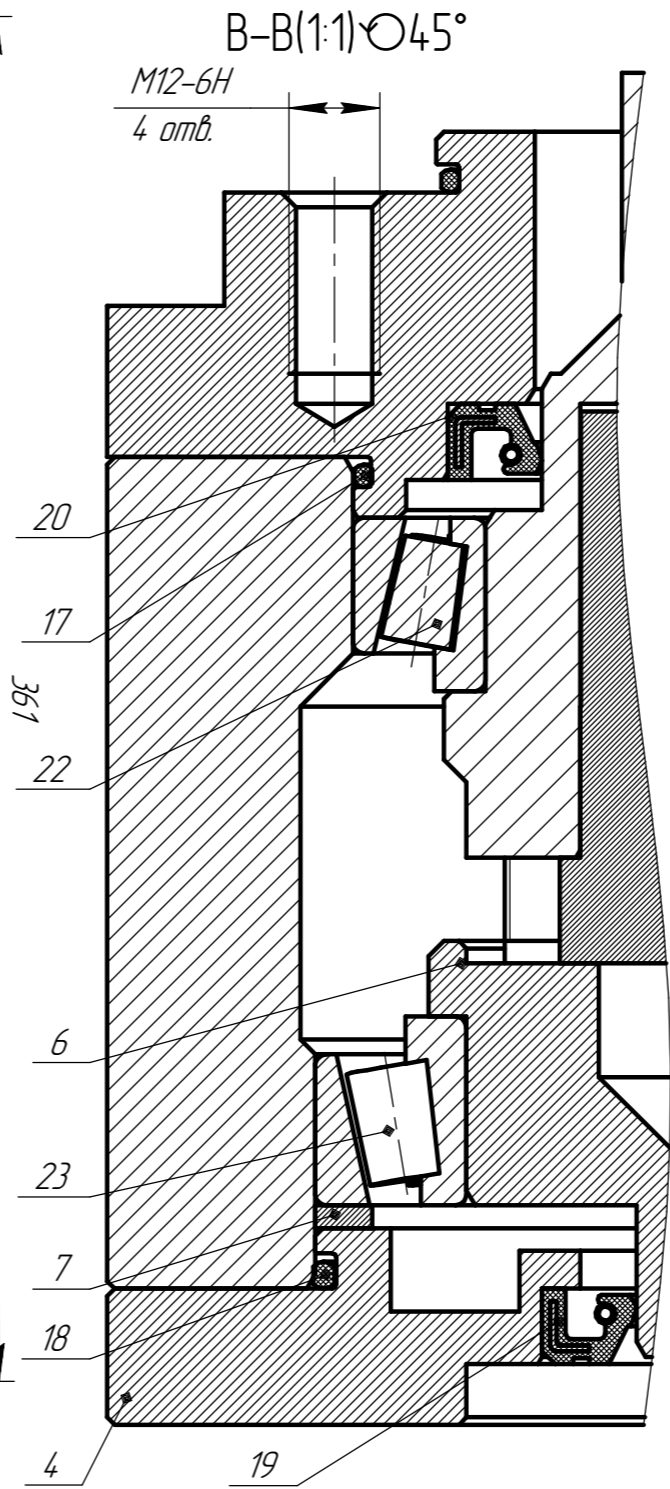
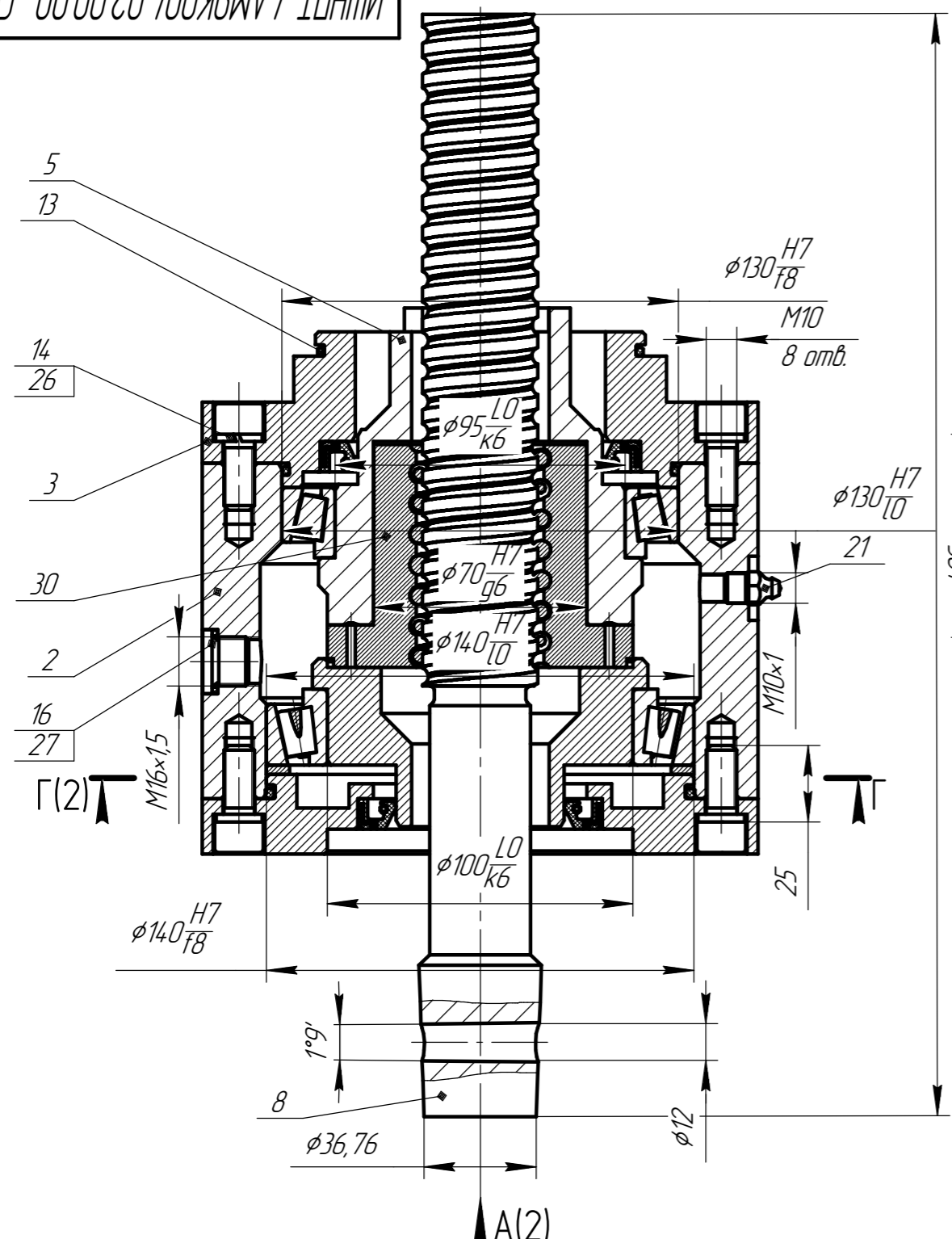


КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
Взам. инв. № Инв. № дцкл. Подп. и дата  
Изм. № подл. Подп. и дата

Перв. примен.  
Справ. №

ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00 СБ

Б-Б



Технические характеристики:

1. Макс. усилие на выходе - 40 кН
2. Шаг - 10 мм
3. Ход - 150 мм
4. Направление винта ШВП - правое.
6. Масса, не более 21 кг.

Технические требования

1. Все размеры для справок.
2. Винты поз. 14, 15 поставить на шпательку ЭП-0010 ГОСТ 28379-89 или на фиксатор резьбы Loctite 243.
3. В полость Корпуса поз.2 закачать смазку ЦИАТИМ-221 ГОСТ 9433-80. через масленку поз. 21 при открученной пробке поз. 24
4. После сборки Втулка шлицевая поз. 5 должна вращаться свободно без заеданий.
5. Винт ШВП поз. 8 не должен иметь осевой люфт более 0,05.

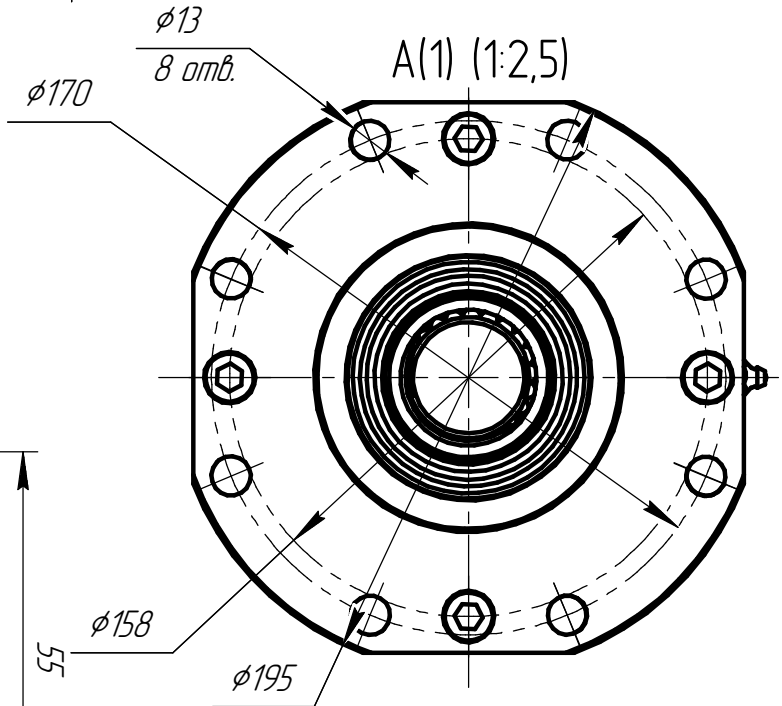
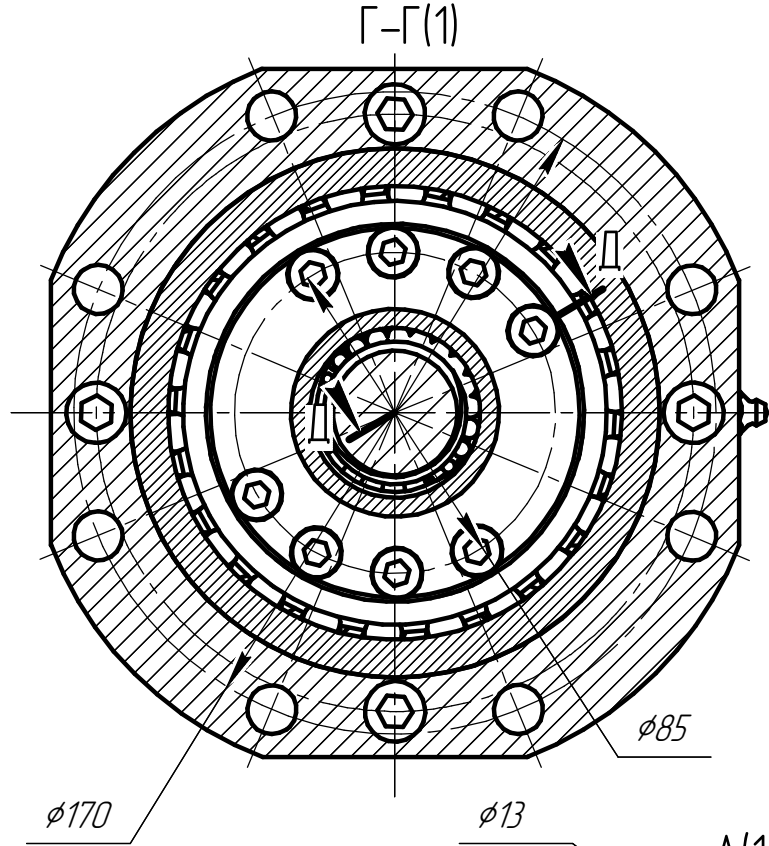
Не для коммерческого использования

				<b>ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00 СБ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Редуктор линейный ШВП Сборочный чертеж</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Беннер А.Я.	Ефременков Е.А.				у	20,25	1:2
Проб.						Лист 1	Листов 2	
Т.контр.						<b>ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК</b>		
Нач. отд.								
Н.контр.								
Утв.								

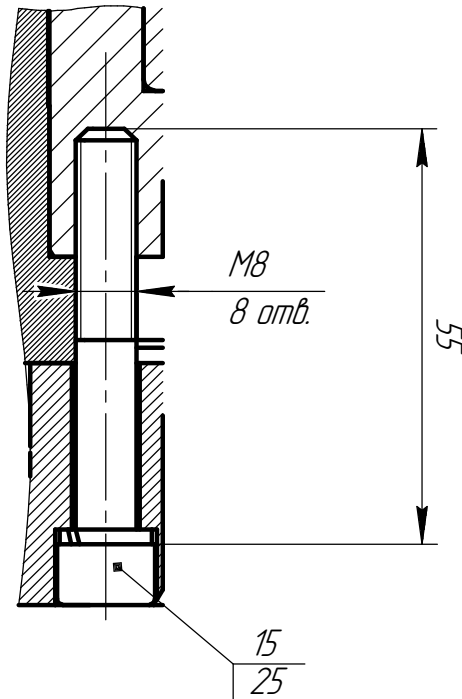
Копировал

Формат А3

ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00 СБ



Д-Д(1:1) ∠329°



КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АКСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дробл. Подп. и дата.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ИШНПТ-4АМ9К004.02.00.00 СБ

Лист  
2

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

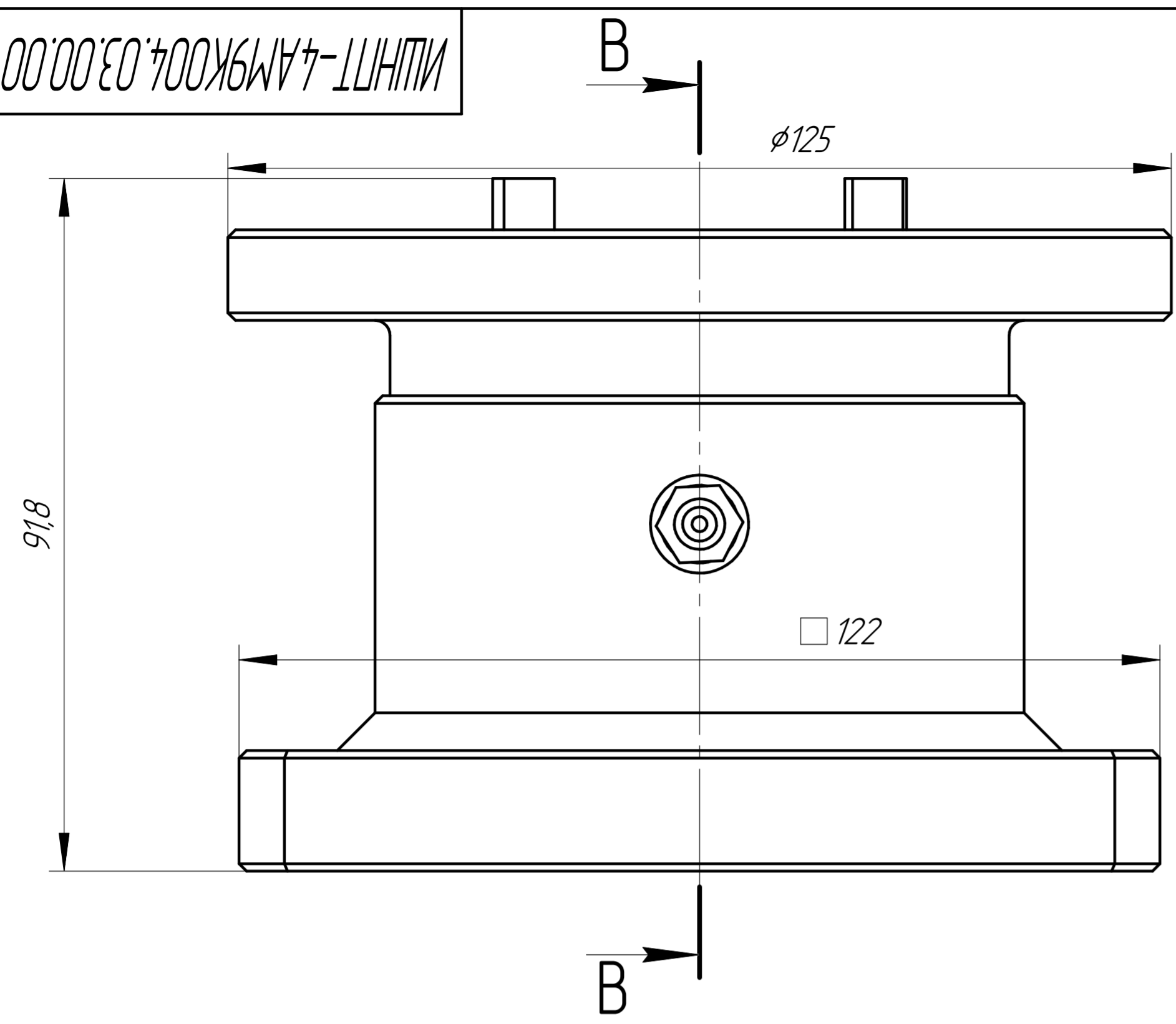
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A3			ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ	Сборочный чертеж		
						<u>Детали</u>		
		A3	1		ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.01	Корпус адаптера	1	
		A3	2		ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.02	Вал адаптера	1	
		A4	3		ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.03	Кольцо распорное	1	
						<u>Стандартные изделия</u>		
			6			Кольцо А55 DIN 471	1	
			7			Кольцо А72 DIN 472	1	
			8			Масленка 1.2 Ц.хр. ГОСТ 19853-74	1	
			9			Подшипник 61811-2RS ISB ГОСТ 8338-75	2	

Инд. № подл.	Взам. инв. №	Инд. № дробл.	Подп. и дата

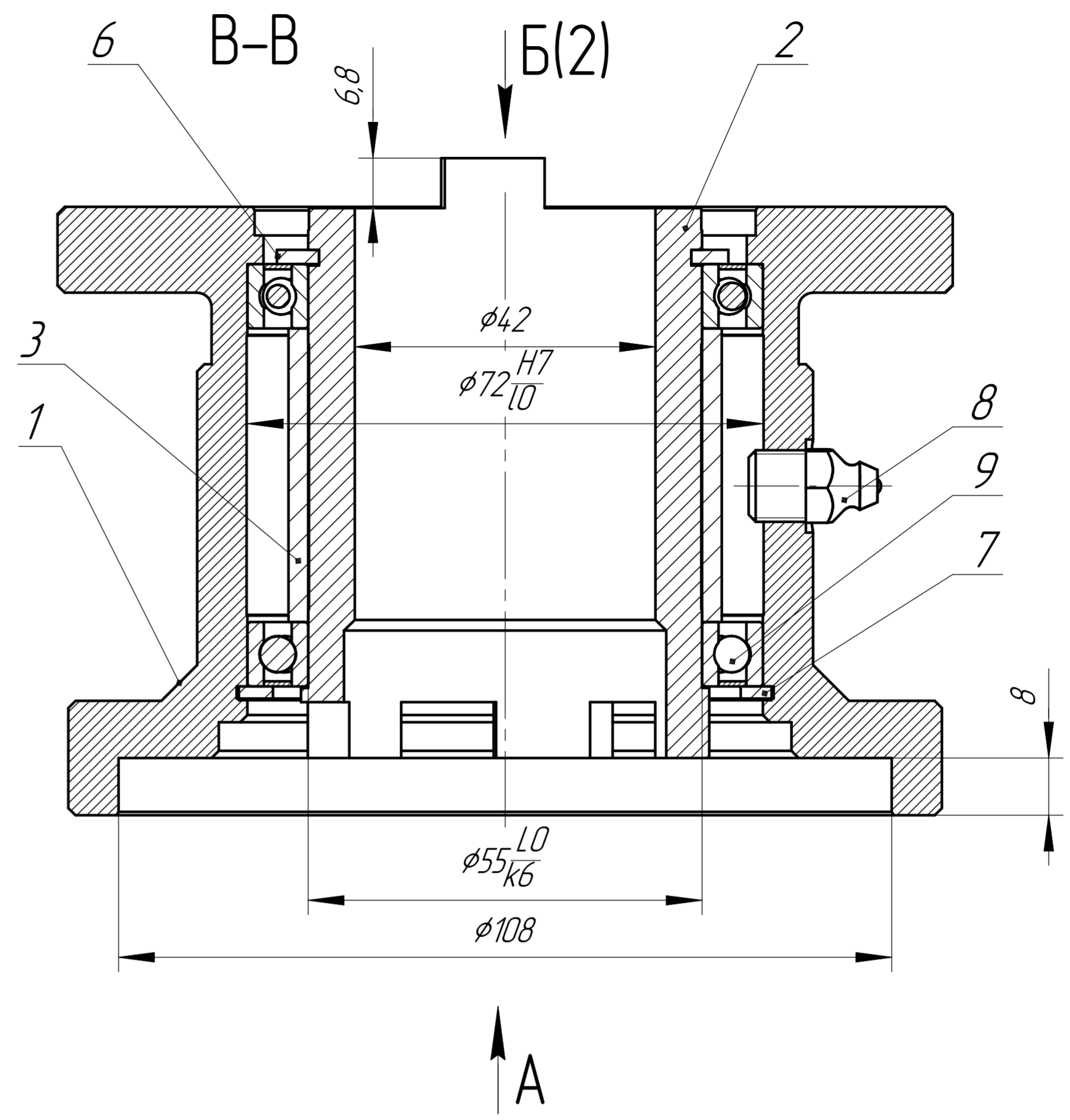
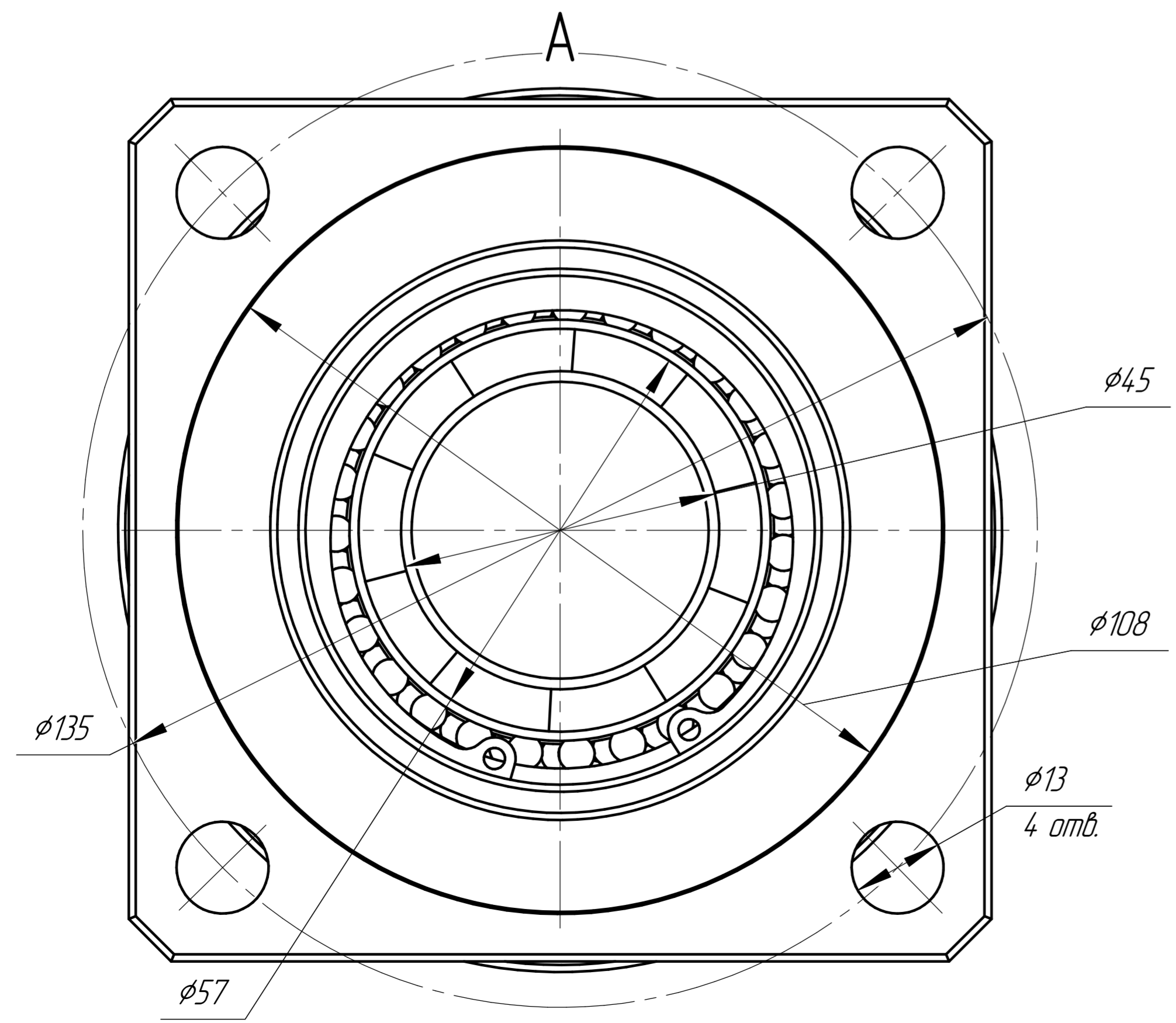
ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб.	Беннер А.Я.		
	Пров.	Ефременков Е.А.		
	Н.контр.			
	Утв.			
Адаптер			Лит.	Лист
			У	1
ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК				

ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ

Перв. примен.  
Справ. №



Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №  
Инв. № подл.  
Подп. и дата



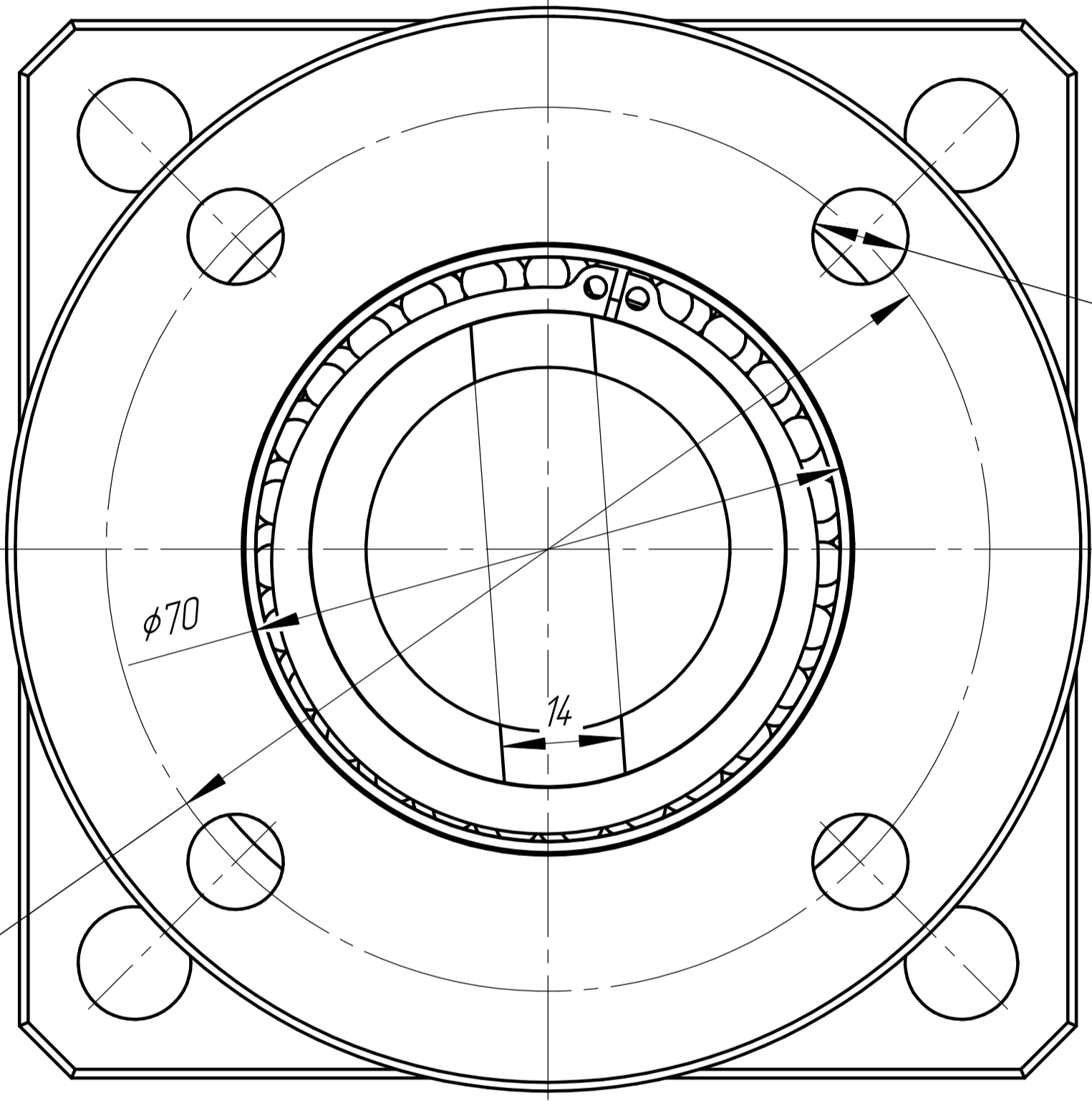
- 1. Все размеры для справок
- 2. Максимальный передающий момент 45 Нм
- 3. При сборке подшипники промазать пластичной смазкой

				<b>ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ</b>			
				<b>Адаптер</b>			
				<b>Сборочный чертеж</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
		Беннер А.Я.			У	3,35	1:1
		Ефременков Е.А.					
					Лист 1	Листов 2	
					ТПУ ИШНПТ		
					Группа 4АМОК		
					Формат А3		

Копировал

ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ

Б (1) (1:1)



$\phi 11$   
4 отв.

$\phi 70$

14

$\phi 102$

ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ

Подп. и дата

Изм. № докл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

ИШНПТ-4АМ9К004.03.00.00 СБ

Лист

2

Копировал

Формат А4

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

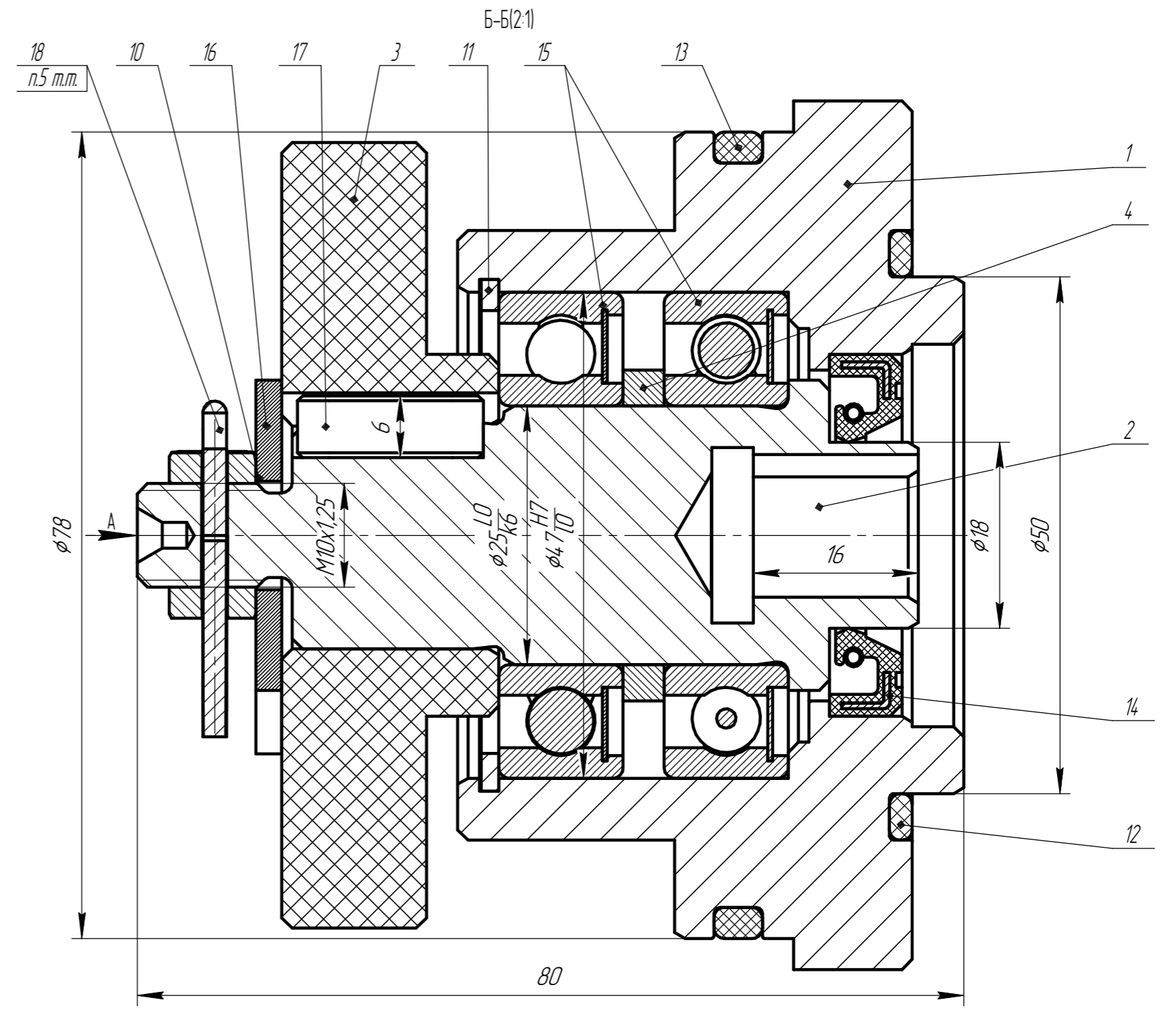
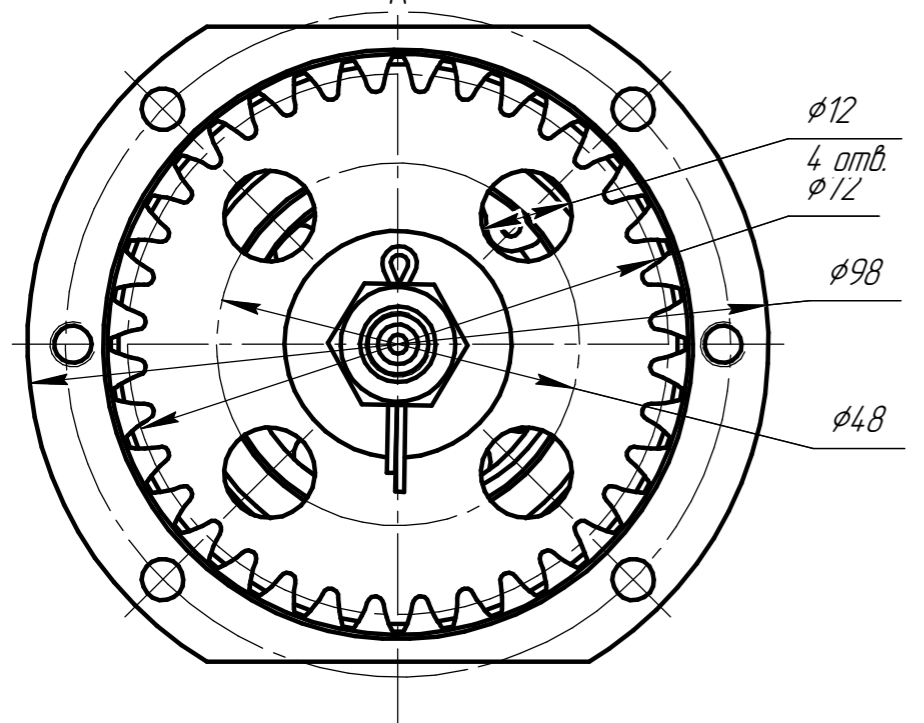
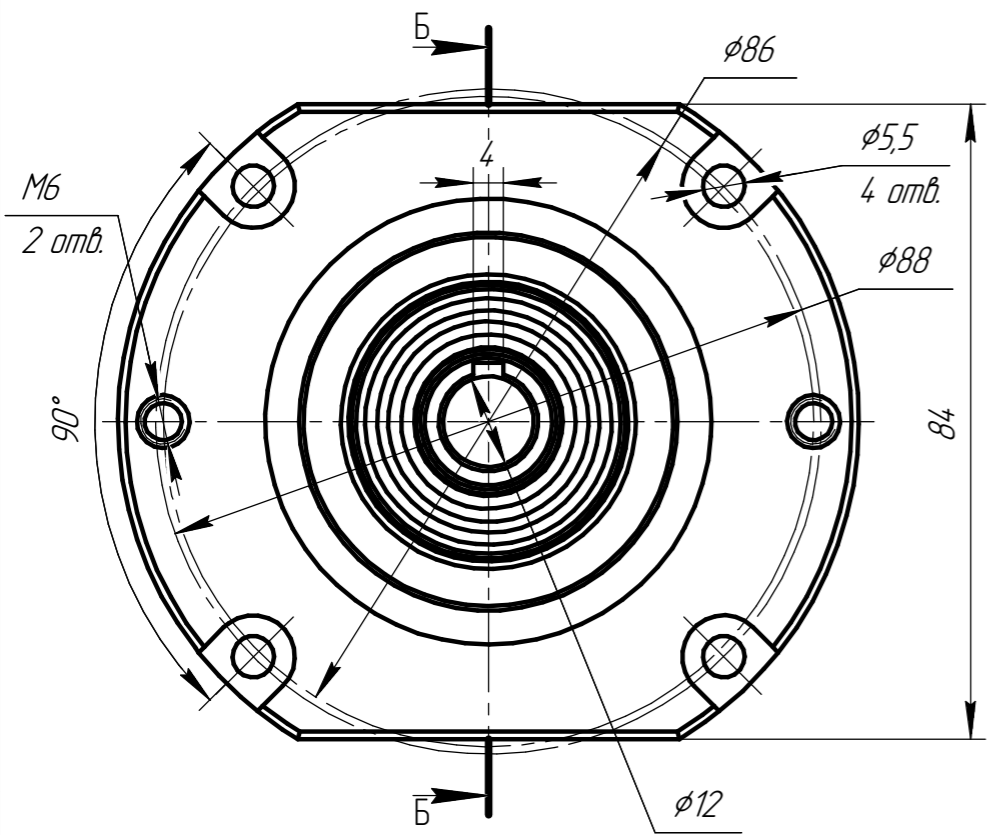
Перв. примен.		Справ. №		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
								<u>Документация</u>			
				A3			ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.00 СБ	Сборочный чертеж			
								<u>Детали</u>			
				A3	1		ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.01	Фланец ЭБУ-3	1		
				A3	2		ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.02	Вал z-36	1		
				A3	3		ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.03	Шестерня z-36	1		
				A4	4		ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.04	Шайба 2	1		
								<u>Стандартные изделия</u>			
						10		Гайка 2М10х1,25-6Н ГОСТ 11871-88	2	DIN 1804 исп.1	
						11		Кольцо А4.7.50 ХГА ГОСТ 13943-86	1	DIN 4 72	
						12		Кольцо 055-060-30-1-3 ГОСТ 9833-73	1		
						13		Кольцо 072-078-36-1-3 ГОСТ 9833-73	1		
						14		Манжета 1.1-18х35-3 ГОСТ 8752-79	1	h=7 мм	
						15		Подшипник 60105 ГОСТ 7242-81, аналог 6005-2Z-C3 (SKF)	2		
						16		Шайба А10.11.30ХГСА ГОСТ 6958-78	1	DIN 9021	
						17		Шпонка 6х6х18 ГОСТ 23360-78	1	DIN 6885	
						18		Шплинт 2,5х25.4 ГОСТ 39707970	1		
							<b>ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.00</b>				
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата			
Разраб.		Беннер А.Я.									
Пров.		Ефременков Е.А.									
Н.контр.											
Утв.											
<b>Модуль датчика положения</b>								Лит.	Лист	Листов	
								У		1	
<b>ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК</b>											

ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.00 СБ

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
 Взам. инв. № Инв. № дцкл. Подп. и дата  
 Инв. № подл. Подп. и дата



- 1 Размеры для справок.
- 2 Осевой люфт вала поз.2 не допускается. Вращение легкое, без заеданий.
- 3 Любые люфты колеса поз.3 должны отсутствовать.
- 4 После закручивания гайки поз. 10 в ней сверлить отверстие  $\phi 3$  мм насквозь через вал поз. 2, под шплинт поз.18 по центру высоты гайки.

				<b>ИШНПТ-4АМ9К004.04.00.00 СБ</b>			
				Модуль датчика положения Сборочный чертеж			
Изм.	Лист	№ док.ум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Беннер А.Я.			У	0,85	1:1
Проб.		Ефременков Е.А.			Лист	Листов	1
Т.контр.					ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК		
Н.контр.					Формат А3		
Утв.					Копировал		

Перв. примен.		Справ. №		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
								<u>Документация</u>			
				A3			ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00 СБ	Сборочный чертеж			
								<u>Детали</u>			
				A3	1		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.01	Корпус	1		
				A3	2		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.02	Ось	1		
				A4	3		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.03	Ось центральная	1		
				A4	4		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.04	Кнопка	1		
				A4	5		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.05	Втулка	1		
				A3	6		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.06	Муфта дублер-редуктор	1		
				A4	7		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.07	Пружина муфты дублера	1		
				A4	8		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.08	Шильдик дублера	1		
				A4	9		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.09	Шильдик дублера 2	1		
				A3	10		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.10	Гайка М30х1,5	1		
				A3	11		ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.11	Штурвал	1		
								<u>Стандартные изделия</u>			
					15			Винт М3х12 DIN 912	1		
							<b>ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00</b>				
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата			
Разраб.		Беннер А.Я.								Лит.	
Пров.		Ефременков Е.А.								У	
Нач. отд.										Лист	
Н.контр.										1	
Утв.										Листов	
										2	
							<b>Ручной дублер</b>			ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК	



КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АКСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № докл.	Подп. и дата

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		16		Кольцо А.10 DIN 471	1	
		17		Кольцо А.40 DIN 471	1	
		18		Кольцо А.22 DIN 472	1	
		19		Кольцо А.62 DIN 472	1	
		20		Манжета 1.1-10x22-3 ГОСТ 8752-79	1	
		21		Манжета 1.1-38x52-3 ГОСТ 8752-79	1	
		22		Подшипник 1000908 2RS ГОСТ 8338-75	2	
				аналог 61908 2RS		
		23		Шайба 3 DIN 7980	1	
		24		Шайба 10 DIN 125	1	
		25		Шплинт 2,5x14 ГОСТ 397-79	1	
		26		Шпонка 8x7x18 ГОСТ 23360-78	1	
		27		Заклепка 3x10 DIN 7337	8	
				Прочие изделия		
		30		Штурвал с ручкой Handwheel GN 322_3-250-B22-R-(0) (отсоединенная ручка)	1	Заготовка

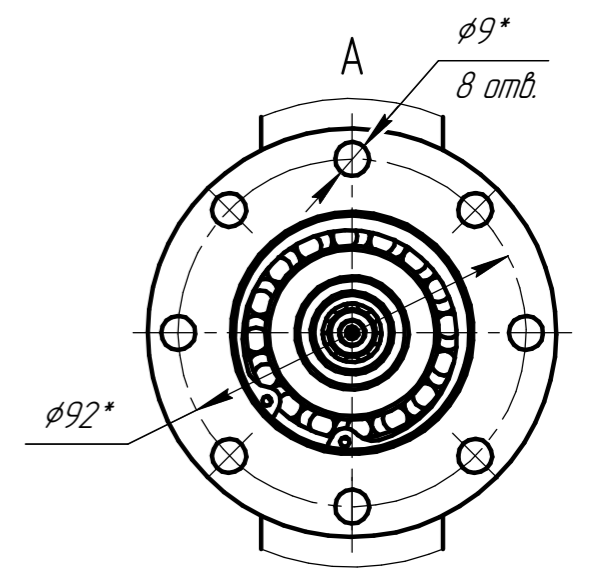
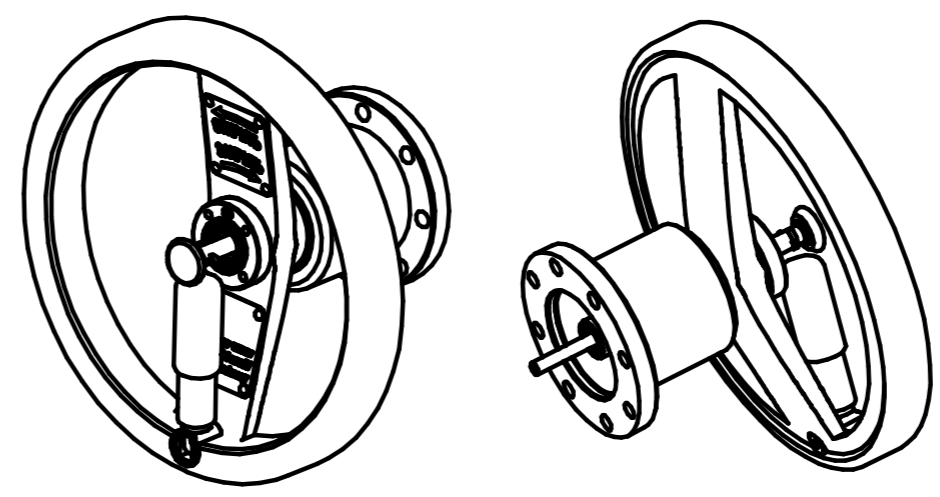
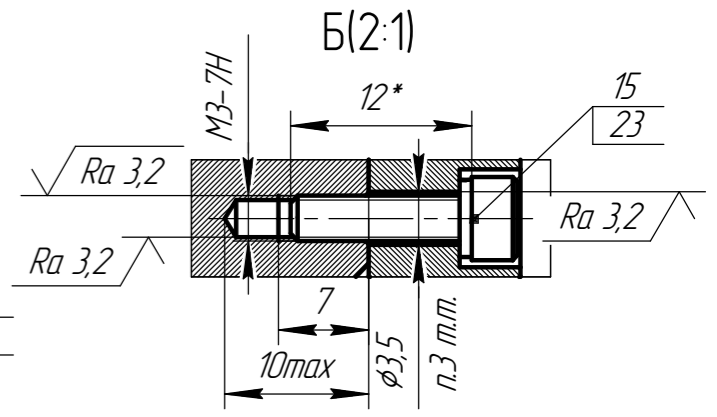
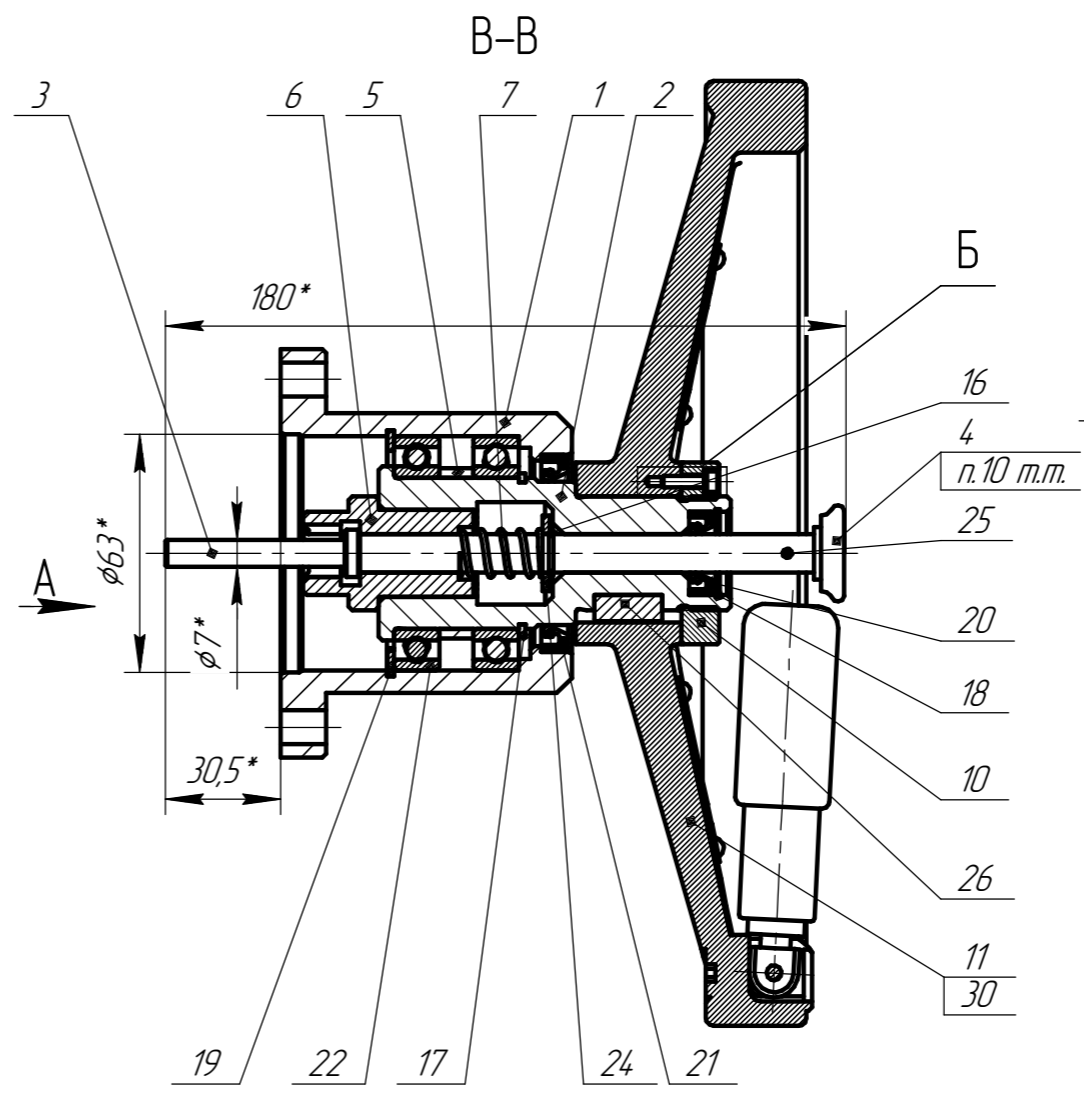
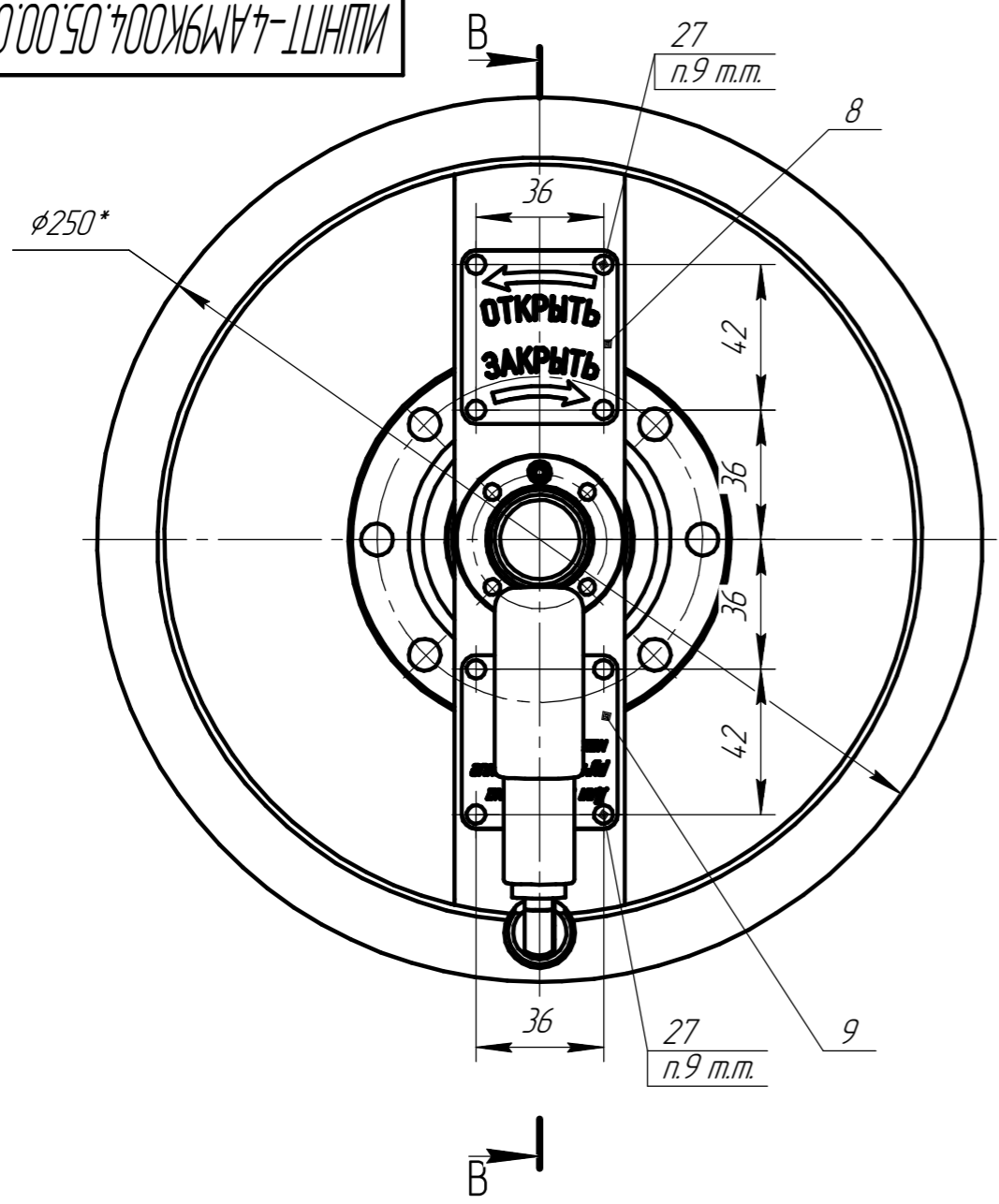
ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00

ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00 СБ

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата



- 1 \*Размеры для справок.
- 2 При сборке, подшипники вскрыть, промыть от старой смазки и пересмазать смазкой ЦИАТИМ-221F ГОСТ 9433-80.
- 3 Доработать по виду В: Сверлить отв.  $\phi 2,5$  мм в поз. 10. Сверлить отверстие и нарезать резьбу в детали поз.30.
- 4 Подвижные элементы покрыть смазкой ЦИАТИМ-221F ГОСТ 9433-80.
- 5 Гайку поз.10, затянуть моментом  $30Н^*м$ , после чего фиксировать винтом поз.15.
- 6 Вращение штурвала п.30, должно быть свободным без заклиниваний и заеданий.
- 7 Движение центрального вала поз.3 легкое без заеданий.
- 8 Н14, h14,  $\pm IT14/2$ .
- 9 Штурвал п.30 доработать под шильдик дублера поз.8, 9 путем сверления 8-ми отверстий  $\phi 3,2$  глубиной 9мм.
- 10 Поз.4 доработать по чертежу ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.04

Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Беннер А.Я.			
Проб.	Ефременков Е.А.			
Т.контр.				
Нач. отд.				
Н.контр.				
Утв.				

ИШНПТ-4АМ9К004.05.00.00 СБ				
Ручной дублер		Лит.	Масса	Масштаб
Сборочный чертеж		У	3,21	1:2
		Лист	Листов 1	
ТПУ ИШНПТ				
Группа 4АМОК				

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
					<u>Документация</u>		
A3				ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.00	Сборочный чертеж		
					<u>Сборочные единицы</u>		
A3	1			ИШНПТ-4АМ9К004.06.01.00	Опора со сваркой	1	
					<u>Детали</u>		
A4	2			ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.04	Смотровое стекло	1	
					<u>Стандартные изделия</u>		
		7			Винт М5х16 DIN 7991	12	
		8			Пробка резьбовая М18х15 DIN 908	2	
		9			Кольцо 18х2,65 DIN 3771	2	
		10			Кольцо 120-125-30-1-3 ГОСТ 9833-73	1	
				<b>ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.00</b>			
Изм.	Лист	№ докум.		Подп.	Дата		
Разраб.		Беннер А.Я.				Лит.	Лист
Пров.		Ефременков Е.А.				У	Листов
Нач.отд.						1	
Н.контр.						ТПУ ИШНПТ Группа 4АМОК	
Утв.							
<b>Опора</b>							

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Инд. № подл.

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инд. № подл.

Подп. и дата

Инд. № подл.

Инд. № подл.

Копировал

Формат А4

Не для коммерческого использования

ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.00 СБ

Перв. примен.

Справ. №

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

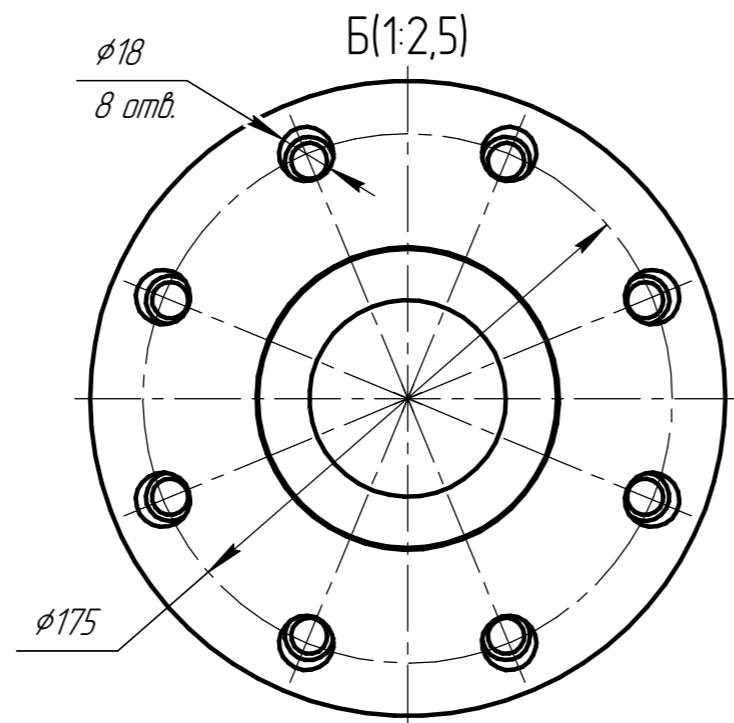
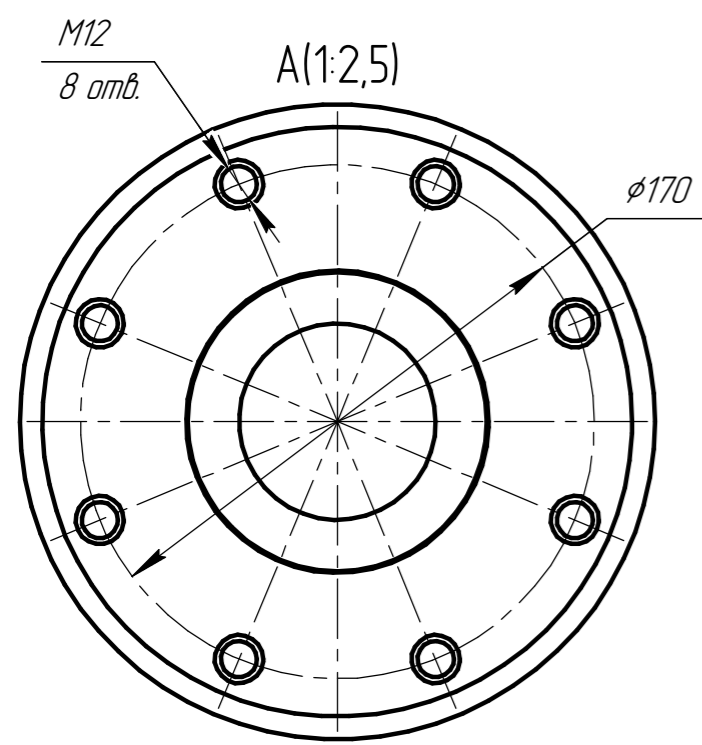
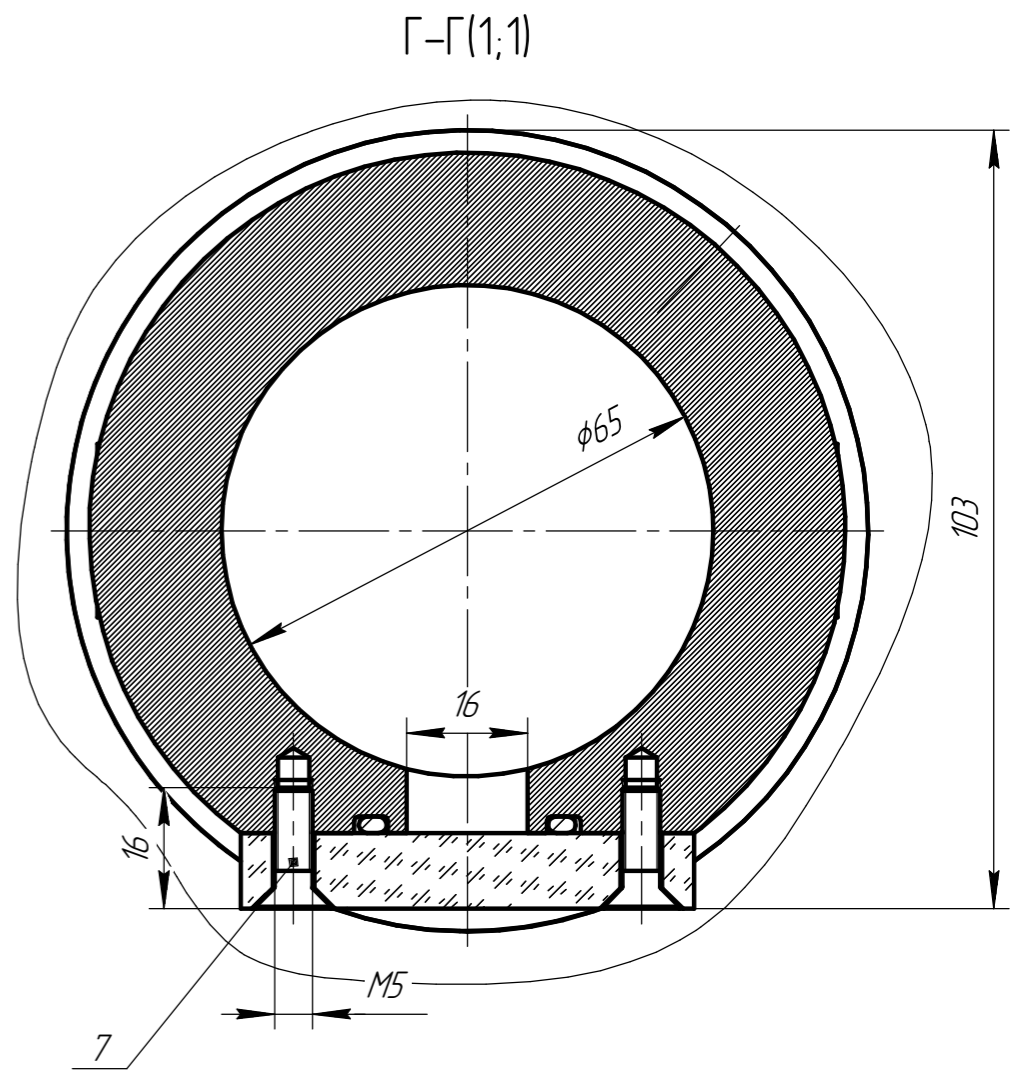
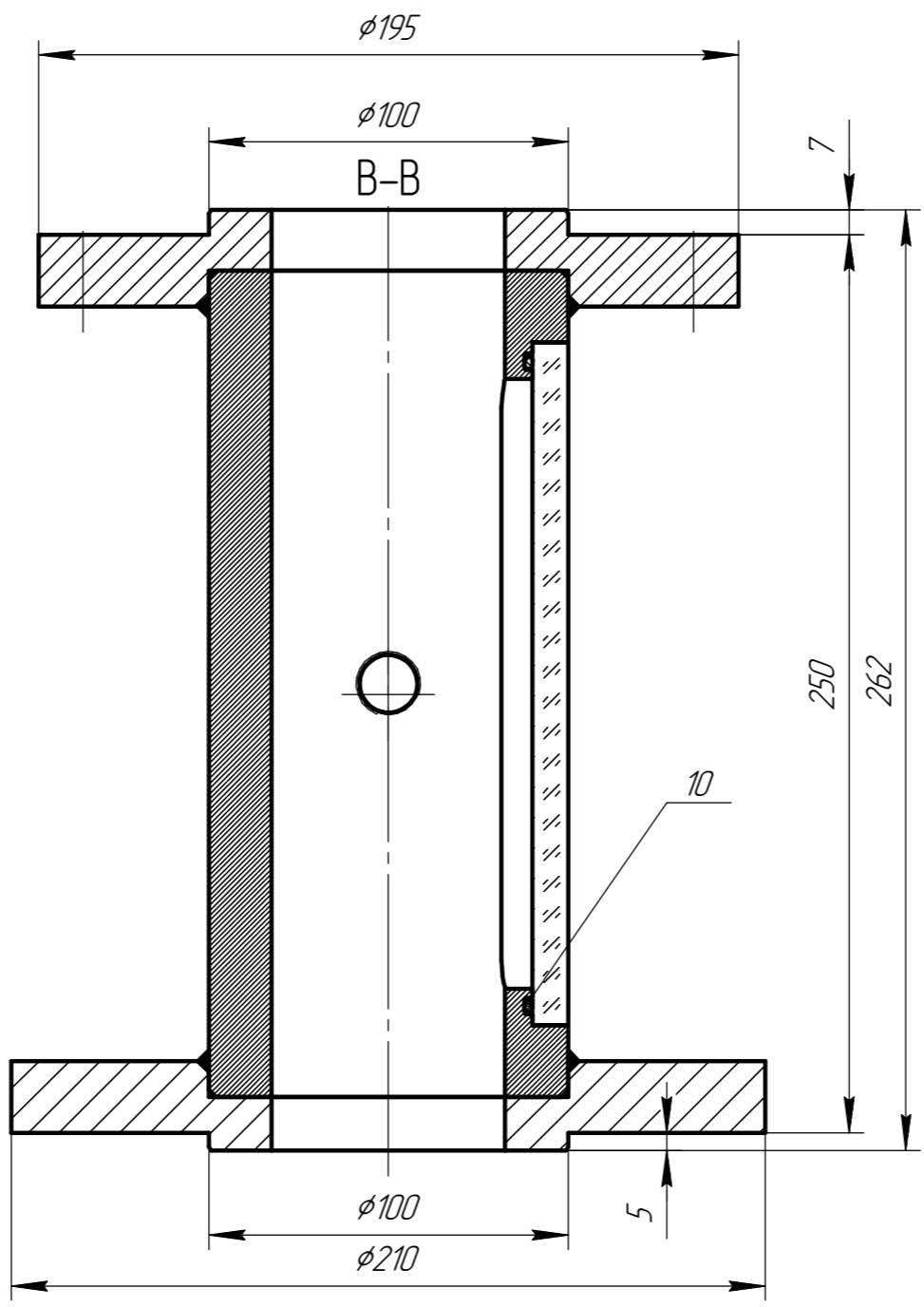
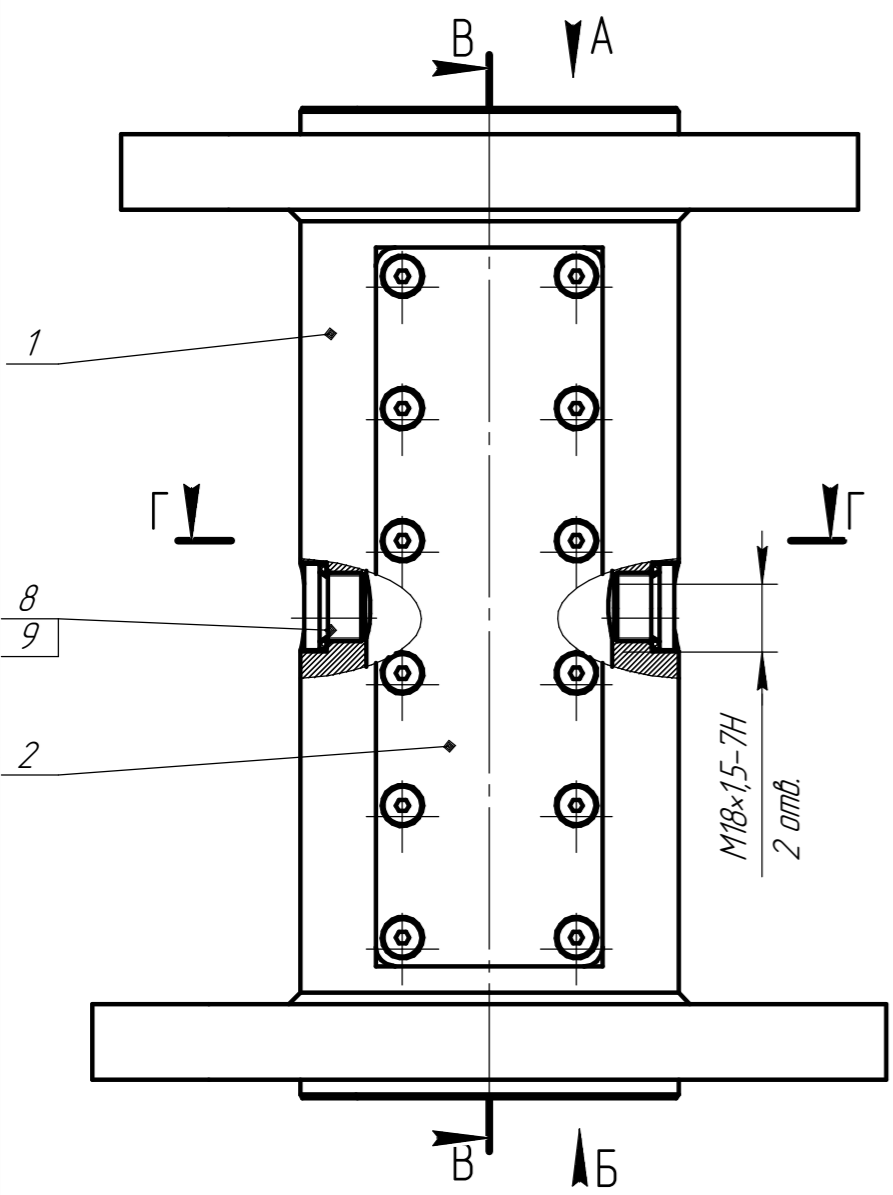
Изм. № подл.

Подп. и дата

Изм. № подл.

Подп. и дата

Не для коммерческого использования



1. Все размеры для справок.

ИШНПТ-4АМ9К004.06.00.00 СБ					
Опора			Лит.	Масса	Масштаб
сборочный чертеж			У	15,98	1:2
Лист		Листов 1			
ТПУ ИШНПТ					
Группа 4АМОК					
Формат А3					

Копировал

Формат А3

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
Изм. № подл. Подп. и дата