

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование коэффициента полезного действия привода ручной машины электробур</b>

УДК 621.3.017.8-047.37:622.24.054

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Стариков Максим Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романова С.В.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01  
«Автоматизация технологических процессов и производств  
в машиностроении»

Код	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин.
Р2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
Р3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
Р4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
Р5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
Р6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности.
Р8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт.
Р9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
Р10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_  
(Дата)      Арляпов А.Ю  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Старикову Максиму Александровичу

Тема работы:

**Исследование эксплуатационных параметров привода ручной машины электробур**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

13.05.2019, приказ №3658/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

06.06.2019

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

- привод ручной машины электробур на базе коллекторного двигателя мощностью 1,5 кВт с волновой передачей с промежуточными телами качения имеющей передаточное число 59;
- режим работы: периодический.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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 КПД различных механических передач, а так же влияние различных факторов на КПД привода;</li> <li>2. Анализ конструкций испытательных стендов для определения КПД приводов различного назначения;</li> <li>3. Проектирование присоединительных частей для испытательного стенда;</li> <li>4. Определение КПД привода при различных уровнях нагружения выходного вала редуктора;</li> </ol>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Демонстрационный материал (презентация) - 20 слайдов PowerPoint</li> <li>– Сборочный чертеж стенда и спецификация</li> <li>– Сборочный чертеж переходного фланца</li> </ul>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В.С.
Конструкторский	Коротков В.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.
Социальная ответственность	Романова С.В.
Исследовательский (на английском языке)	Ажель Ю.П.

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
<p>«Исследовательский»</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков Владимир Сергеевич	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Стариков Максим Александрович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ71	Старикову Максиму Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01. Машиностроение

**Тема работы:** «Исследование коэффициента полезного действия привода ручной машины электробур»

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: эффективность (КПД) привода ручной машины электробур. Применяется для бурения отверстий в грунте (сельское хозяйство, строительство). Рабочая зона: производственное помещение участка испытаний электроприводов Томской компании ООО «Сибирский машиностроитель»</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</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>– ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)</li> <li>– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отклонение показателей микроклимата</li> <li>2. Повышенный уровень шума на рабочем месте</li> <li>3. Недостаточная освещённость рабочей зоны</li> <li>4. Повышенный уровень вибрации</li> <li>5. Повышенная температура поверхностей оборудования.</li> <li>6. Наличие токопроводящих элементов, находящихся под напряжением.</li> </ol>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Устройство на этапе исследования не оказывает влияния на экологию (атмосферу, гидросферу, литосферу). Привод электрической машины в результате работы и последующего нагрева корпуса не выделяет опасных токсических веществ. При эксплуатации электробура оказывается влияние на литосферу: при замене масла редуктора.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>В случае пожара, требуется придерживаться плана действий в случае ЧС, разработанном в организации.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романова Светлана Владимировна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Стариков Максим Александрович		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ71	Старикову Максиму Александровичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>15.04.01. Машиностроение</b>

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

- 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*
- 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов*
- 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования*

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

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Планирование этапов работы, определение календарного графика трудоёмкости работы, расчет бюджета.</i>
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Оценка эффективности исследования.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЛМ71	Стариков Максим Александрович		

## Список принятых сокращений

**РМ** – ручная машина;

**ВП** – волновая передача;

**ВЗП** – волновая зубчатая передача;

**ПШТК** – передача с промежуточными телами качения;

**ВПШТК** – волновая передача с промежуточными телами качения;

**КПД** – коэффициент полезного действия;

**ПО СУ** – Программное обеспечение системы управления;

**НР** – научный руководитель;

**И** – инженер;

**ПДУ** – предельно допустимый уровень;

**ЧС** – чрезвычайная ситуация.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа имеет объем 115 с., включает в себя 32 рисунка, 21 формула, 20 таблиц, 29 источников, 3 приложения.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, волновая передача, планетарная передача, передача с промежуточными телами качения, ручная машина электробур, нагрузочный стенд, крутящий момент, мощность, ручной электроинструмент.

В исследовательской работе объектом исследования является эффективность работы привода РМ электробур. Цель работы заключается в определении предельных значений КПД ВППТК и привода РМ электробур, а также установление характера изменения КПД в зависимости от уровня нагружения выходного вала редуктора. Работа проводилась в следующей последовательности: 1) установка привода на стенд с использованием переходных элементов; 2) настройка регистрирующей аппаратуры; 3) измерение крутящего момента в зависимости от скорости вращения выходного вала привода, при этом фиксировались значения силы тока и напряжения потребляемые электродвигателем; 4) расчет КПД привода и волнового редуктора. Новизна результатов исследования заключается в экспериментальном определении данных КПД ВППТК при частоте вращения входного вала редуктора 15000 об/мин привода ручной машины электробур на базе коллекторного двигателя мощностью 1,5 кВт, а также определении работоспособности и надежной работы редуктора с ВППТК на заданных режимах эксплуатации. Опытный образец ручной машины электробур, прошел успешные стендовые испытания в ООО «НПО Сибирский машиностроитель» (Россия, Томская обл., г. Томск). Привод обеспечивает стабильную работу РМ электробур при выполнении бурильных работ в строительной и сельскохозяйственных отраслях.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	12
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	14
1.1 Обзор литературы .....	14
1.2 Объект и методы исследования .....	16
1.3 Некоторые виды волновых передач .....	17
1.4 КПД механических передач планетарного типа .....	24
1.5 Конструкция привода РМ электробур .....	27
1.6 Технические характеристики привода с ВППТК .....	30
1.7 Теоретические основы расчета КПД .....	31
1.8 Виды испытательного оборудования .....	32
1.9 Стенд для определения КПД привода РМ .....	36
1.10 Методика проведения эксперимента .....	39
Выводы .....	49
2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	50
2.1 Проектирование переходного фланца .....	50
2.2 Проектирование кулачковой полумуфты .....	55
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	56
3.1 Предпроектный анализ .....	56
3.2 Организация и планирование работ .....	59
3.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	65
3.4 Оценка экономической эффективности проекта .....	70
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	71
Введение .....	71
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	72
4.2 Производственная безопасность .....	74

4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов возникающих при эксплуатации объекта исследования .....	75
4.4 Экологическая безопасность .....	85
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	86
Выводы по разделу .....	88
Заключение .....	89
Список использованных источников .....	90
Нормативные ссылки .....	93
Приложение А .....	95
Приложение Б .....	108
Приложение В .....	110

## Введение

Объект исследования – эффективность работы привода РМ электробур.

Предмет исследования – характер изменения КПД привода ручной машины в зависимости от уровня нагружения выходного вала.

Актуальность работы:

Определение коэффициента полезного действия новой машины является важной исследовательской задачей, т.к. эта характеристика показывает, насколько эффективно будет расходоваться подводимая к двигателю или вырабатываемая им энергия. Повышение КПД механизма приводит к экономии затрат в период эксплуатации, увеличению производительности и повышению долговечности устройства. В работе исследовано изменение КПД ВППТК и привода РМ электробур в целом. Снижение энергоемкости выполняемых работ является одним из направлений развития новой техники.

Цель работы - определение предельных значений КПД ВППТК и привода РМ электробур, а также установление характера изменения КПД в зависимости от уровня нагружения выходного вала редуктора.

Постановка задач:

1. Сравнить КПД различных механических передач, а так же влияние различных факторов на КПД привода;
2. Рассмотреть конструкцию испытательных стендов для определения КПД приводов различного назначения;
3. Разработать конструкцию присоединительных частей для испытательного стенда;
4. Определить КПД привода при различном уровне нагружения выходного вала редуктора.

Научная новизна заключается в получении экспериментальных данных КПД ВППТК при частоте вращения входного вала редуктора 15000 об/мин привода ручной машины электробур на базе коллекторного двигателя мощностью 1,5 кВт, а также определении работоспособности и надежной работы редуктора с ВППТК на заданных режимах эксплуатации.

Практическая ценность работы: в результате работы установлены предельные значения КПД ВППТК и привода, что позволяет прогнозировать производительность и технические возможности ручной машины электробур на базе коллекторного двигателя N=1,5 кВт с ВППТК с передаточным отношением 59.

Степень внедрения: по разработанной конструкторской документации изготовлен опытный образец ручной машины электробур, который прошел успешные стендовые испытания в ООО «НПО Сибирский машиностроитель» (Россия, Томская обл., г. Томск).

Область применения: строительство, сельское хозяйство, рыболовство.

Ручная машина электробур предназначена для бурения грунтов 1 и 2 категории согласно классификации Госстроя ГОСТ 25100-95. Например, в сельском хозяйстве электрическим буром можно рыхлить почву, подготавливать углубления для посадки деревьев и кустарников, бурить отверстия малого диаметра для укладки удобрений в область корневой системы. В горнодобывающей отрасли позволит бурить шпуры для размещения зарядов при взрывных работах. В строительной сфере используется для выполнения следующих работ: бурение отверстий под столбчатый фундамент; монтажа опор для ограждения; установки фонарных или электрических столбов небольшой высоты. Компактные размеры и относительно малая масса инструмента позволяют использовать его в труднодоступных местах, для небольших объемов работ.

# 1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Обзор литературы

Применение тел качения для передачи нагрузки и создания механических передач начало осуществляется в начале XX в. в Англии, США, Германии. Известны многочисленные патенты того времени.

Развитие в СССР данных передач началось в 60-70-х годах прошлого столетия. Исследования передач с промежуточными телами качения, в том числе и волновых, проводились в Могилёвском машиностроительном институте, там была создана научная школа, разрабатывавшая редукторы для буровой техники на основе ППТК, а разработанные синусошариковые передачи использовались для создания редукторов-шпинделей турбобуров и электробуров [1]. Также исследования передач с ПТК проводились в Кишинёвском политехническом институте и Томском политехническом институте.

Первые результаты реальной работы в нашей стране по изготовлению и внедрению волновой передачи были опубликованы в работах Беляева А. Е. и Брюховецкого В.П. [2,3]. В Томском политехническом институте в 80-х гг. была сформирована научная школа под руководством А. Е. Беляева, исследовавшая передачи с промежуточными телами.

Результаты исследований в работе [4] Янгулова В.С. позволили рассчитать, сконструировать, изготовить, исследовать и внедрить волновую передачу с промежуточными телами качения в состав редуктора привода электромеханических исполнительных органов, который применяется в АО «НПЦ «Полюс». Янгулов В.С. представил результаты работ по созданию прецизионного редуктора в статьях [5,6]. Описал модульное построение конструкции редуктора на базе волновой передачи с промежуточными телами качения. Предложил конструкцию редуктора с модульным построением кинематической цепи, в которой применены передачи с адаптивными генераторами, обеспечивающие упругий натяг в зацеплении. Мертвый ход

выходного вала такой передачи не превышает 2 угловые секунды.

А.Е. Беляев совместно с Янгуловым В.С. разработали методику по определению деформаций в зонах контакта тел качения с деталями передачи [7]. Был предложен алгоритм расчета жесткости кинематической цепи с учетом ее особенностей. В научной работе [8] по изучению зазоров и износа передачи с ПТК провели анализ влияния возможных зазоров в кинематической цепи на мертвый ход передач, а так же способы снижения величины мертвого хода с использованием конструкторских и технологических приемов.

Доктор технических наук Ан И-Кан в сотрудничестве с профессором А.Е. Беляевым на основе передач с ПТК создал новый вид волновой передачи, которая получила название «волновая передача с разгруженным сепаратором». Достоинством является увеличение надежности передачи в результате уменьшения нагрузки на сепаратор. В статье [9] проанализированы передачи с ПТК, описан принцип построения передачи с разгруженным сепаратором, даны рекомендации по проектированию и подбору оптимальных исходных параметров данной передачи.

В книге [10] Панкратов Э.Н. изложил методологию проектирования многоцелевых адаптивных комплексов, в том числе промышленных роботов, с использованием новых высокоэффективных редукторов на базе передач с промежуточными телами качения.

М.Е. Лустенков и А.П. Прудников описали способы снижения потерь мощности в ППТК, представили конструкцию и принцип работы передач с осевым и радиальным перемещением тел качения на базе асинхронного двигателя с частотным преобразователем. В статье [11] проанализированы результаты испытаний на стенде, было установлено, что КПД редуктора с роликами повышается на 9-11% по сравнению с КПД шарикового аналога.

В статье [12] В.П. Гилета и А.В. Барис привели данные экспериментального исследования КПД макета волновой передачи.

С.Е. Люминарский совместно с И.Е. Люминарским описали влияние геометрических параметров на КПД волновой зубчатой передачи, создали

математическую модель и на ее основе предложили рекомендации по выбору основных параметров передачи с учетом потерь на трение [13]. Разработанная математическая модель позволяет провести силовой расчет передачи и определить ее КПД.

Также большой вклад в исследование волновых передач внесли Самсонович С.Л., Становской В.В., М. Ф. Пашкевич, А. И. Бостан, Р. М. Игнатищев, И.С. Сазонов, Финогенов В.А. и другие.

В настоящее время работы в направлении создания редукторов с ППТК проводят иностранные фирмы и исследователи: Synkinetics и Advanced Energy Concepts 81 (США), Bollman Hydraulik GmbH (Германия), Imase Kenji (Япония), Axial Wave Drive (Нидерланды) и др. Анализ патентной литературы свидетельствует о значительной патентной активности по данному направлению фирм из Японии, Южной Кореи и особенно из Китая. В России активно ведутся разработки в этой области, что также свидетельствует о перспективности исследований. Известны разработки Томских предприятий. ООО «Сибирская машиностроительная компания» [14] производит редукторы и мотор-редукторы для бетономешалок, получившие серийное внедрение. ООО НПО «Сибирский Машиностроитель» [15] с 2003 года разрабатывает и серийно выпускает оборудование для нефтегазовой, нефтехимической, энергетической промышленности, примером являются электроприводы с электронной системой управления, устройства для размыва донных отложений и перемешивания высоковязких жидкостей в резервуарах и емкостях.

## **1.2 Объект и методы исследования**

Объектом исследования является эффективность (КПД) привода ручной машины электробур.

К теоретическим методам, использованным в данной работе, относятся: анализ и формализация. В результате исследования проанализированы: конструкция привода РМ электробур, КПД некоторых планетарных передач, оборудование для испытаний приводов. В качестве метода оценки полученных

результатов был применен метод аппроксимации экспериментальных данных. Была построена функция прямой, определяющая КПД в зависимости от нагрузки на выходном валу привода. Коэффициенты функции определены методом наименьших квадратов.

В качестве практических методов использованы: наблюдение, эксперимент, измерение. При наблюдении за работой привода выявлялись особенности в работе, а также недостатки. Измерения эксплуатационных параметров проводились с использованием метода непосредственной оценки, при котором значение величин определены непосредственно по показаниям средств измерений.

### 1.3 Некоторые виды волновых передач

В современном машиностроении повышаются требования к нагрузочной способности, массо-габаритам, точности, ресурсу работы исполнительных механизмов широкого класса машин и автоматизированных систем. Это вызывало интенсивный поиск новых типов передач, удовлетворяющих перечисленным требованиям. К наиболее перспективным из них могут быть отнесены передачи с циклоидным зацеплением, в котором силовая передача крутящего момента осуществляется практически только обкатными движениями, практически без сопротивления трению. Поэтому такие передачи работают с высоким коэффициентом полезного действия. Основными элементами передачи являются приводной вал с эксцентриком, дисковые кулачки, кольца с поводковыми пальцами и роликами, ведомый вал.

Волновая передача (ВП), механическая передача (зубчатая, с ПТК, фрикционная, винтовая), в которой вращение передаётся и преобразуется циклическим возбуждением волн деформации в так называемом гибком элементе [16].

Изобретатель ВП — американский инженер *У. Массер* (1959).

## Волновые зубчатые передачи

Наиболее распространена волновая зубчатая передача (ВЗП) (рис. 1), которая обычно состоит из жёсткого элемента — зубчатого колеса с внутренними зубьями, неподвижно закреплённого в корпусе передачи — 1; гибкого элемента — цилиндрической тонкостенной шестерни — 2, выполненной в виде стакана с наружными зубьями, число которых несколько меньше числа зубьев жёсткого колеса (стакан закреплён на выходном валу и расположен внутри жёсткого колеса); генератора волн деформации — 3 (овальный кулачок с надетым на него шарикоподшипником).

Генератор волн вставлен соосно в гибкое колесо и при вращении растягивает его. Число волн деформации равно числу выступов кулачка. В вершинах волн зубья гибкого колеса полностью входят в зацепление с зубьями жёсткого, а во впадинах волн полностью из него выходят. При вращении генератора с той же угловой скоростью движутся волны деформации, т. е. в гибком колесе возбуждаются бегущие волны, в вершинах которых происходит зацепление.

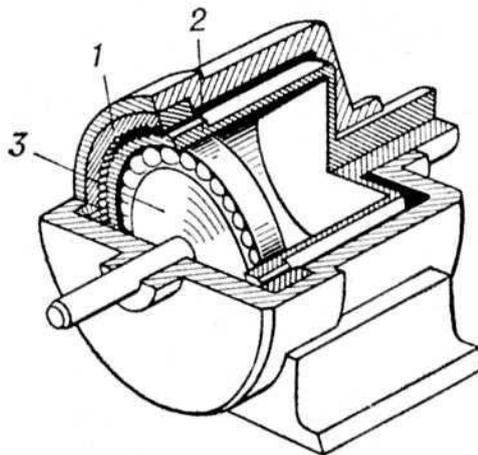


Рисунок 1 – Волновая зубчатая передача

Разница чисел зубьев жёсткого и гибкого колёс обычно равна (реже кратна) числу волн деформации. В зависимости от числа волн ВП называются одно-, двух- или трёхволновыми. Если, например, число зубьев гибкого колеса равно  $Z_{Г} = 200$ , жёсткого колеса —  $Z_{Ж} = 202$ , то передача двухволновая (рис. 2).

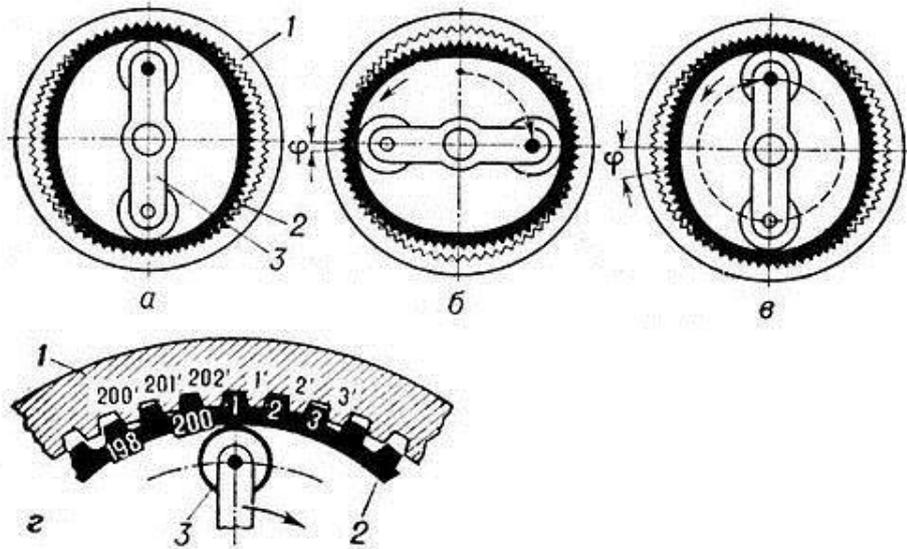


Рисунок 2

Генератор волн выполнен в виде водила с двумя роликами, в первую впадину жёсткого, второй во вторую и т.д. до двухсотого зуба и двухсотой впадины. При дальнейшем вращении генератора первый зуб гибкого колеса войдёт в двести первую впадину, второй — в двести вторую, а третий — в первую впадину жёсткого колеса (рис. 2, г). Таким образом, за один полный оборот генератора волн гибкое колесо сместится относительно жёсткого на 2 зуба или на угол

$$\varphi = \frac{2}{200} \cdot 360 = 3,6^\circ, \quad (1)$$

(рис. 2, в) в противоположном направлении, т. е. передаточное число

$$i = \frac{Z_\Gamma}{2}, \quad (2)$$

В общем случае передаточное число ВП с вращающимся гибким колесом равно

$$i = \frac{Z_\Gamma}{Z_\text{Ж} - Z_\Gamma}, \quad (3)$$

Применяются также зубчатые ВП с закреплённым гибким и вращающимся жёстким колёсами. В этом случае направления вращения генератора и выходного вала совпадают.

$$i = \frac{Z_\text{Ж}}{Z_\text{Ж} - Z_\Gamma}, \quad (4)$$

Одна из главных особенностей ВП — возможность получения высокого передаточного числа в одной ступени. Серийно выпускаемые волновые редукторы имеют передаточные числа от 60 до 320. Вследствие малой разности диаметров гибкого и жёсткого колёс и гибкости одного из элементов в зацеплении участвует одновременно от 10 до 50% всех зубьев, т. е. имеет место многопарность зацепления, что позволяет применять колёса с мелким модулем зацепления. ВП могут передавать крутящий момент в несколько раз больший, чем другие зубчатые передачи с теми же габаритами и массой, и значительно компактнее зубчатых передач других видов с той же нагрузочной способностью. КПД зубчатых волновых передач обычно составляет 80—90%.

ВП отличается плавностью работы, безударностью, повышенной кинематической точностью, позволяет создавать безлюфтовые зацепления. ВП может работать как замедляющая (редуктор) и как ускоряющая (мультипликатор) передача. Гибкие колёса ВП обычно изготавливают из металла с высоким пределом выносливости или из различных пластмасс, получаемых литьём под давлением.

Существуют конструкции зубчатых ВП с наружным расположением генератора волн. Жёсткое колесо в этом случае расположено внутри гибкого колеса (рис. 3).

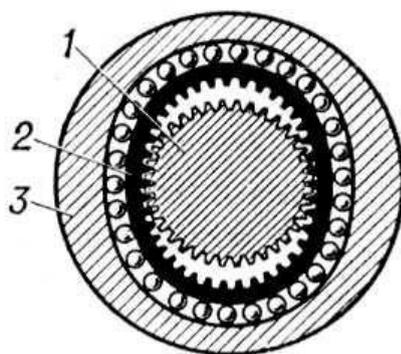


Рисунок 3 – Конструкция зубчатой волновой передачи с наружным расположением генератора волн

Гибкие колёса ВП выполняются в виде мембраны, конуса, сферы, колокола, узкого кольца или трубы, соединённые с выходным валом шлицами.

## Волновая передача с промежуточными телами качения

В машиностроении также применяются волновые передачи с промежуточными телами качения (ВПШТК), в которых роль гибкого колеса играет цепочка тел качения (промежуточных звеньев), и каждое из тел качения совершает волнообразное перемещение относительно жесткого колеса.

ВПШТК (рис. 4) состоит из приводного вала с эксцентриком (генератора волн) – 1, сепаратора – 2, тел качения – 3 и венца кулачковых секторов – 4, описанных совокупностью укороченных гипоциклоид. Эксцентриковый вал, вращаясь, вызывает радиальное перемещение тел качения в пазах сепаратора.

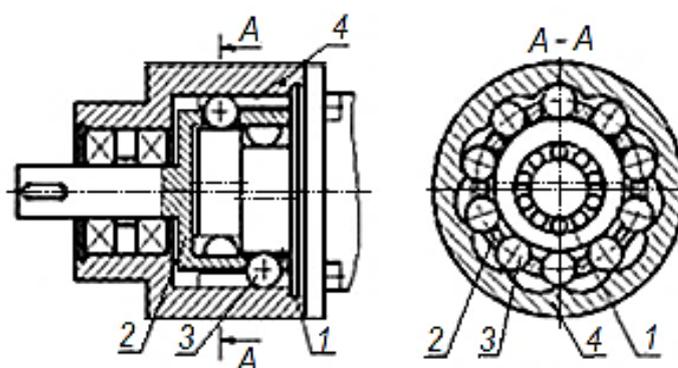


Рисунок 4 – Волновая передача с промежуточными телами качения

Создается эффект «волны», бегущей по цепочке сепарированных тел качения, которая является аналогом гибкого элемента в классических волновых схемах. Тела качения, контактируя с рабочими поверхностями венца кулачковых секторов, вызывают вращение несущего сепаратора, если заторможен венец, и, наоборот, поворачивается венец, если заторможен сепаратор. Устанавливая на одном генераторе последовательно два или три ряда тел качения можно почти кратно повышать несущую способность передачи. Каждый полный оборот эксцентрикового вала поворачивает венец на один кулачковый сектор.

При заторможенном венце, передаточное отношение передачи

$$i = z, \quad (5)$$

при заторможенном сепараторе

$$i = z + 1, \quad (6)$$

где  $z$  - число тел качения.

## Технико-экономические показатели волновых 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 [10].

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. Малый момент инерции и высокий уровень динамичности. В передачах с высокой скоростью вращается только входной вал с эксцентриковым генератором, который имеет незначительную массу и малый 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 передач планетарных механизмов.

4. Малый угловой зазор. За счет большой жесткости кинематических звеньев передач, многопарности зацепления, усреднения погрешности изготовления, при нормальных нагрузках общий угловой зазор передач в 3-6 раз меньше относительно зубчатых передач при равных передаточных отношениях и нагрузочных показателях.

5. Высокий крутящий момент, большие перегрузочные резервы и высокая жесткость кинематических звеньев. Малый угол зацепления в зубчатых передачах не позволяет иметь одновременно в контакте более 2 зубьев, что ограничивает передаваемый крутящий момент. В данных передачах обеспечивается угол зацепления свыше  $90^\circ$ , 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.

6. Высокая надежность и продолжительный срок жизни. Передачи с

промежуточными телами качения отличаются прочной конструкцией и оригинальной компоновкой, решающей задачу самоустановки силовых элементов и оптимального перераспределения нагрузки между ними. Простота конструкции передач позволяет значительно снизить трудоемкость обслуживания.

Однако наряду с достоинствами, передача имеет и ряд недостатков. Один из основных – это возникновение в зацеплении трения скольжения под нагрузкой, из-за чего снижается КПД передачи. Основным недостатком многих конструкций и созданных опытных образцов связан с низким КПД данных передач. Значительные потери мощности вызваны не только неточностью изготовления и сборки. Клиновой характер взаимодействия, как в червячных передачах, предполагает потери на скольжение, процесс движения тел качения сопровождается проскальзыванием, иногда значительным. К тому же при длительной работе с высокими нагрузками происходит значительный нагрев (до 120...150 °С) корпусных деталей механизма. Поэтому исследование КПД волновой передачи с ПТК является одной из задач данной работы.

### **Области применения волновых передач**

- электромеханические приводы запорной и регулирующей арматуры для тепловых и атомных электростанций, газонефтепроводов, объектов водоснабжения (герметические ВП передают вращение в герметизированные полости с химической агрессивной и радиоактивной средой, в полости с высоким давлением и глубоким вакуумом, а также являются приводами герметических вентилях);
- приводы антенн наземных и космических станций (в точных приборах, исполнительных механизмах систем с дистанционным и автоматическим управлением, в приводах остронаправленных радарных антенн систем наблюдения за космическими объектами и т.п.);
- приводы промышленных роботов и других прецизионных исполнительных механизмов;
- приводы грузоподъемных машин, горношахтного оборудования;
- редукторы и мотор-редукторы общепромышленного применения.

## 1.4 КПД механических передач планетарного типа

### Анализ КПД передач

Коэффициент полезного действия передачи это характеристика эффективности в отношении преобразования или передачи энергии. Определяется отношением полезно использованной энергии  $A_{\text{п}}$  к суммарному затраченному количеству энергии  $A_{\text{з}}$

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}}, \quad (7)$$

Следовательно, применение высокоэффективных передач в механизмах позволит сэкономить потребляемую энергию и повысит производительность машины. В таблице 1 проведено сравнение КПД планетарной зубчатой передачи с КПД волновой зубчатой и волновой с ПТК.

Таблица 1 – Сравнение КПД передач планетарного типа

Тип передачи	Диапазон передаточных чисел	КПД передачи
Зубчатая планетарная передача 	3 ... 12,5	0,93 ... 0,97
Волновая зубчатая передача 	60 ... 300	0,8 ... 0,9

Продолжение таблицы 1

<p>Волновая передача с ПТК</p> 	<p>5 ... 60</p>	<p>0,8 ... 0,9</p>
--	-----------------	--------------------

Обычно передачи рассчитываются таким образом, чтобы максимальное значение КПД было в области, близкой к номинальной передаваемой мощности. Значения КПД в справочной литературе зачастую указаны при номинальных оборотах асинхронных электродвигателей 1000-1500 об/мин. Вал электродвигателя в РМ электробур вращается с частотой 15000 об/мин и нет представления о том, насколько эффективно будет работать передача с ВППТК.

Как показывает анализ, показатель КПД планетарной зубчатой передачи выше, чем у волновых передач. Помимо высокого КПД данный тип передач обладает следующими преимуществами: распределение нагрузки между сателлитами, благодаря чему нагрузки на зубьях меньше в несколько раз; большое передаточное отношение в одной ступени, что часто позволяет не пренебрегать к сложным многоступенчатым передачам; малый шум при работе; плавность внутреннего зацепления [17].

Волновая зубчатая передача в одной ступени обладает широким диапазоном передаточных чисел, имеет высокую кинематическую точность, в передаче крутящего момента участвует до 50% всех пар зубьев, но мелкие модули зубчатых колес, применяемые в передаче, снижают долговечность редуктора. В результате, несмотря на относительно невысокий показатель КПД, при прочих равных условиях волновая передача с ПТК имеет наименьшие габариты и массу и ее применение в приводе РМ электробур обосновано.

## Различные факторы, влияющие на КПД передач

Определение и рекомендации по снижению потерь мощности в нагруженном контакте тел качения с поверхностями других тел описаны в работе [11].

Потери мощности в зубчатых передачах в основном складываются из потерь: а) на трении в зацеплении; б) на разбрызгивание масла; в) в подшипниках. Общий КПД передачи определяется по формуле:

$$\eta = 1 - (\psi_z + \psi_p + \psi_n), \quad (8)$$

где  $\psi_z, \psi_p, \psi_n$  – относительные потери в зацеплении, на разбрызгивание масла и подшипниках.

Потери в зацеплении вызываются силами трения между зубьями. Силы трения в режиме полужидкостной смазки растут с увеличением шероховатости поверхности, с уменьшением вязкости масла и уменьшением скорости вращения. Потери на трение в зацеплении обычно принимают пропорциональными полезной нагрузке и относят к нагрузочным потерям.

Относительные потери в зацеплении прямозубых и косозубых передач вычисляют как отношение работы сил трения скольжения между зубьями при повороте колес на один шаг к передаваемой колесами полезной работе за тот же период. Потери на размешивание и разбрызгивание масла растут с увеличением вязкости масла, окружной скорости, ширины колес, глубины погружения. В отличие от потерь на трение в зацеплении они не зависят от нагрузки и поэтому относятся к числу постоянных потерь. Потери в подшипниках качения.

КПД планетарных передач уменьшается с ростом передаточного отношения. При необходимости получения повышенного значения КПД иногда оказывается целесообразным соединять планетарную передачу последовательно в два ряда, либо соединять с непланетарной.

При передаче неполной мощности КПД значительно ниже вследствие

влияния постоянных потерь, т.е. потерь, не зависящих от передаваемой мощности.

Потери мощности в волновых передачах с ПТК.

Основные причины потерь в волновой передаче с промежуточными телами качения с эксцентриковым генератором волн — потери на трение качения в гибком колесе и потери на трение скольжения тел качения. В данной волновой передаче потери на деформирование гибкого колеса, в отличие от традиционной зубчатой волновой передачи, сводятся к потерям в кинематических парах звеньев, представляющих собой подвижное устройство.

В связи с вышесказанным возникает задача определения степени этих потерь и эффективности применения такого механизма. Поскольку основным показателем эффективности работы механизма является коэффициент полезного действия (КПД), поставленную задачу можно решить путем определения КПД на испытательном стенде.

### **1.5 Конструкция привода РМ электробур**

Одним из путей повышения надежности, уменьшения габаритных размеров и массы машин, а также снижения расходов на ее эксплуатацию является использование прогрессивных типов механических передач энергии от двигателя к исполнительному устройству. К таким типам передач относится, в частности волновая передача с промежуточными телами качения (ВПТК).

На рисунке 5 представлена конструкция опытного образца привода РМ электробур [18,19]. Привод состоит из электродвигателя – 1 и редуктора с ВПТК. На валу электродвигателя – 10 установлена эксцентриковая втулка – 9, на втулке установлен радиальный шариковый подшипник с небольшим гарантированным натягом.

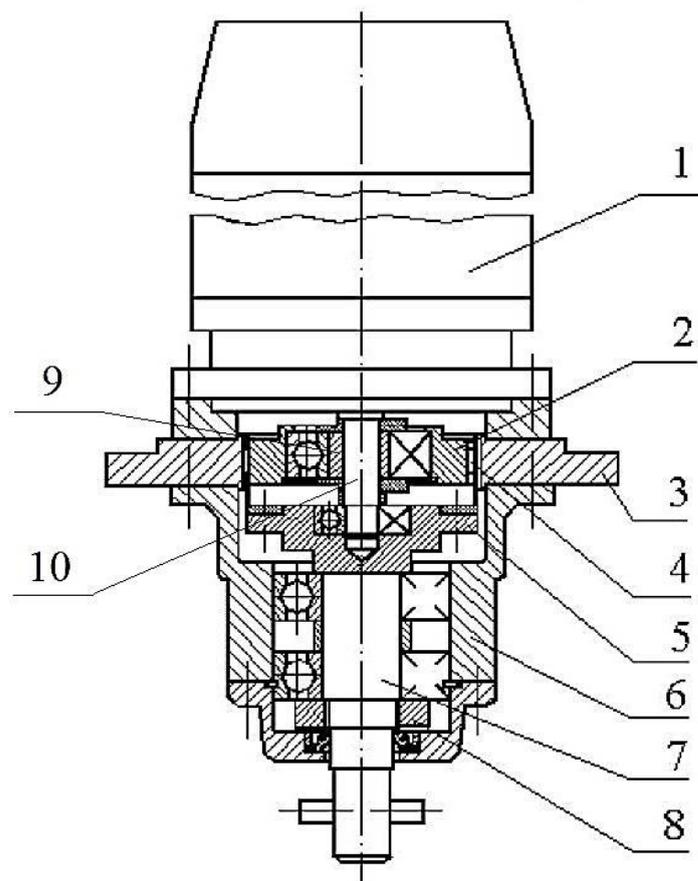


Рисунок 5 – Конструкция привода РМ с ВПТК:

- 1) электродвигатель; 2) диск генератора волн; 3) профильный венец;
- 4) промежуточные тела качения; 5) сепаратор; 6) корпус редуктора;
- 7) выходной вал; 8) гайка; 9) эксцентриковая втулка; 10) вал двигателя

Наружное кольцо подшипника образует соединение с диском генератора волн – 2, который взаимодействует с промежуточными телами качения (роликами) – 4 и перемещает их по эпициклоиде профиля неподвижного колеса – 3. Ролики, перемещаясь по желобам, передают крутящий момент на сепаратор – 5. С сепаратором посредством шпонки соединен выходной вал – 7, который в свою очередь установлен на двух шариковых подшипниках, размещенных в корпусе редуктора – 6.

### Электродвигатель

Преимущественное распространение в приводах РМ (до 70 %) получили однофазные коллекторные двигатели с двойной изоляцией мощностью 60...2000 Вт, с частотой вращения якоря 200...300 с<sup>-1</sup>. Эти двигатели

характеризуются высокой удельной мощностью на единицу массы, способностью выдерживать кратковременные перегрузки, нечувствительностью к колебаниям напряжения в питающей электросети, невысоким уровнем пускового тока. Они безопасны в эксплуатации, могут работать от сети переменного и постоянного тока, для их питания не требуется громоздких трансформаторов или преобразователей частоты [19].

В данном приводе РМ применен коллекторный однофазный электродвигатель с двойной изоляцией ДК110-1000-15У2И1 «МиассЭлектроАппарат» (рис. 6) [20]. Конструктивными особенностями предусмотрено оснащение коллекторно-щёточным узлом, способным создавать излишний шум и помехи. Однако эти недостатки вместе с возможными частыми ремонтами все же оправдывают производительность данного устройства, которые не уступают по всем техническим характеристикам другим двигателям. Среди преимуществ можно отметить приемлемую цену и малогабаритность с весом, не превышающим 3200г. Компактность устройств позволяет собирать механизмы и в электроприборах небольших размеров.



Рисунок 6 – Универсальный коллекторный двигатель ДК110-1000

Электродвигатель приводится в работу посредством электрической сети (напряжение 220В) с потребляемой мощностью от 120 Вт до 1430 Вт и характеризуется величиной номинального тока от 5 до 7 А, полезной мощностью до 1000 Вт и классом электрической безопасности II, (см. табл. 2).

Таблица 2– Технические характеристики электродвигателя ДК110-1000

Номинальное напряжение, В	220
Потребляемая мощность, Вт, не более	1430
Полезная мощность, Вт	1000
КПД (по паспорту)	0,7
Номинальная частота вращения, об/мин	15000
Направление вращения	левое
Масса двигателя, кг, не более	3,2
Величина номинального потребляемого тока двигателя, А, не более	7
Класс электробезопасности двигателя (ГОСТ 12.2.013-91)	II

В ручной машине электробур запуск двигателя осуществляется нажатием кнопки пуска, установленной на ручке, а частота вращения выходного вала изменяется поворотом регулятора мощности. Предусмотрено изменение направление вращения шнека при помощи переключателя.

### 1.6 Технические характеристики привода с ВППТК

Особенность привода заключается в сочетании коллекторного электродвигателя, имеющего высокую частоту вращения ротора 15000 об/мин, и волнового редуктора с передаточным числом 59, который резко понижает скорость вращения вала до 250 об/мин и обеспечивает крутящий момент 20 Нм на выходе. Такая компоновка позволяет получать необходимую для бурения мощность, при этом каждый из компонентов обладает сравнительно малой массой и габаритами. Технические характеристики привода представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Краткие технические характеристики привода РМ

Передаточное число	59
Максимальная частота вращения выходного вала привода	250 об/мин
Номинальный крутящий момент (расчетный)	20 Н·м
КПД привода (расчетный)	0,57
КПД редуктора (расчетный)	0,82
Масса (без шнека)	6,7 кг

Показатели крутящего момента, частоты вращения выходного вала, КПД механизма определены теоретическими расчетами, так же как и прочностные характеристики привода. Поэтому, есть необходимость в проведении стендовых испытаний с целью проверки работоспособности и оценки надежности привода в условиях приближенных к рабочим. На основе полученных данных, можно будет судить о равнозначности теоретических расчетов и технических параметров привода, полученных экспериментальным путем.

### 1.7 Теоретические основы расчета КПД

В условиях стендовых испытаний электродвигатель привода в результате работы потребляет мощность из электрической сети. Вращающий момент электродвигателя передается входному валу через волновой редуктор. Реактивный крутящий момент на выходном валу создает нагрузочный стенд, путем фрикционного торможения диска. В реальных условиях на рабочем органе (шнеке) возникает усилие необходимое на преодоление сил трения, силы тяжести, сил разрушения грунта.

В случае эксперимента принцип оценки КПД привода основан исходя из расчета мощности потребляемой электродвигателем  $N_{\text{Э}}$  и полезной мощности производимой выходным валом привода  $N_{\text{П}}$ .

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{П}}}{N_{\text{Э}}}, \quad (9.1)$$

Можно записать

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{T \cdot \omega}{I \cdot U}, \quad (9.2)$$

где  $\omega$  – частота вращения выходного вала привода волновой передачи (рад/с),  $T$  – крутящий момент на валу привода (Нм),  $I$  – сила тока потребляемая электродвигателем (А),  $U$  – напряжение в сети (В).

Теоретически механический КПД ВППТК определяется соотношением [20]

$$\eta_{\text{п}} = \frac{A_{\text{п.с}}}{A_{\text{д}}} = \frac{A_{\text{д}} - A_{\text{тр}} - A_{\text{у.д}}}{A_{\text{д}}}, \quad (10)$$

где:  $A_{\text{д}}$  – работа движущих сил и моментов за цикл установившегося движения;  $A_{\text{п.с}}$  – работа сил и моментов полезного сопротивления;  $A_{\text{тр}}$  – работа, затраченная на преодоление сил трения в кинематических парах и сил сопротивления среды;  $A_{\text{у.д}}$  – работа, затраченная на упругую деформацию элементов.

Также определим КПД редуктора с учетом трения в парах подшипников качения

$$\eta_{\text{р}} = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{пш1}} \cdot \eta_{\text{пш2}}, \quad (11)$$

С помощью полученных экспериментальных значений можно вычислить КПД редуктора косвенно т.к. имеется паспортное значение КПД электродвигателя равное 0,7 (пренебрегая изменением значения в процессе нагружения двигателя), соответственно КПД редуктора с ВППТК определяется по формуле

$$\eta_{\text{р}} = \frac{\eta_{\text{пр}}}{\eta_{\text{эл.д}}}, \quad (12)$$

Исходя из вышеуказанных формул, определим КПД привода и волнового редуктора.

Так как КПД волновой передачи заключен в диапазоне 0,8...0,9 согласно таблице 1, примем среднее значение 0,85. Входной и выходной валы установлены на паре шариковых радиальных подшипников, следовательно:

$$\eta_{\text{р}} = 0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,82$$

Теоретически КПД привода равен

$$\eta_{\text{пр}} = 0,82 * 0,7 = 0,57$$

## 1.8 Виды испытательного оборудования

В общем случае стенды состоят из испытуемого механизма, регистрирующей аппаратуры, нагружающего устройства. Предназначены для измерения эксплуатационных характеристик изделия и выявления недочетов в

работе.

При проведении работ на испытательных стендах с целью определения характеристик изделия необходимо иметь имитатор нагрузки, к которой от двигателя передается крутящий момент. Такие нагружающие устройства должны быть легко управляемыми, а энергия торможения в идеальном случае должна быть преобразована в другие виды и легко отводиться от стенда. Различают устройства по принципу работы тормоза: гидравлический, индуктивный, магнитопорошковый, гистерезисный, фрикционный.

Регистрирующей аппаратурой являются: тензорезистивный датчик измерения момента, силовой датчик, датчик крутящего момента дистанционного измерения.

Рассмотрим некоторые испытательные стенды и устройства.

Испытательный стенд, изображенный на рисунке 7, позволяет проводить контроль параметров изделия (авиационных редукторов) и испытания на длительную наработку [22]. Конструкция стенда обеспечивает мобильность перенастройки изделия. Оси валов привода, изделия, датчика крутящего момента и нагрузочного устройства располагаются в горизонтальной плоскости.



Рисунок 7 – Испытательный стенд контроля авиационных редукторов

Программное обеспечение системы управления (ПО СУ) обеспечивает измерение, запись и выдачу информации в виде графиков или таблиц на дисплей или бумажный носитель следующих параметров: обороты привода ( $n$ ), момент нагружения ( $M_{\text{нагр}}$ ),  $t^{\circ}\text{C}$  – температуры испытываемого объекта,  $T$  – суммарное время испытания (или количество циклов). Программа обеспечивает запись параметров в реальном масштабе времени.

### Датчики крутящего момента

Простая и надежная система измерения крутящего момента основана на индуктивном принципе работы. Этот принцип был применен компанией «Magtrol» [23] для измерения крутящего момента. Измерительная система состоит из двух концентрических цилиндров, напрессованных с каждой стороны зоны деформации вала и двух концентрических катушек прикрепленных к корпусу (см. рис. 8,9).

Два цилиндра имеют отверстия, расположенные в ряд по кругу внахлест относительно друг друга и вращающиеся с валом внутри катушек. Через первичную обмотку протекает переменный ток с частотой 20 кГц. Как только к валу приложен крутящий момент, область концентратора упругих деформаций испытывает увеличивающееся угловое скручивание. При этом происходит смещение слотов перфорации с образованием областей раскрытия, которые позволяют свободно протекать магнитной индукции от одной секции обмотки к другой.

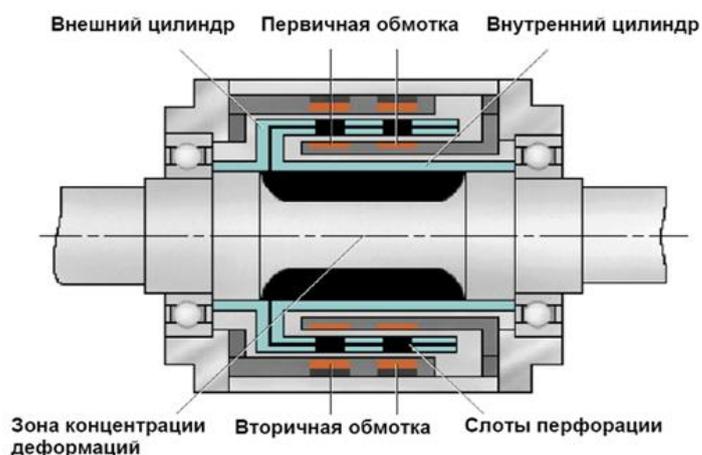


Рисунок 8 – Принцип действия датчика



Рисунок 9 – Внутренний вид датчика крутящего момента

Количество магнитной индукции пропорционально приложенному крутящему моменту. Таким образом, когда к первичной обмотке приложено напряжение и на валу датчика образуется момент, во вторичной обмотке возникает напряжение, величина которого пропорциональна моменту. Встроенная электроника преобразует сигнал с обмотки в напряжение  $\pm 10$  В, в зависимости от направления вращения.

Схема измерения с использованием датчика момента представлена на рисунке 10.



Рисунок 10 – Измерение крутящего момента

Программное обеспечение осуществляет автоматическую регистрацию значений крутящего момента, скорости вращения вала и механической мощности (см. рис. 11) [24].

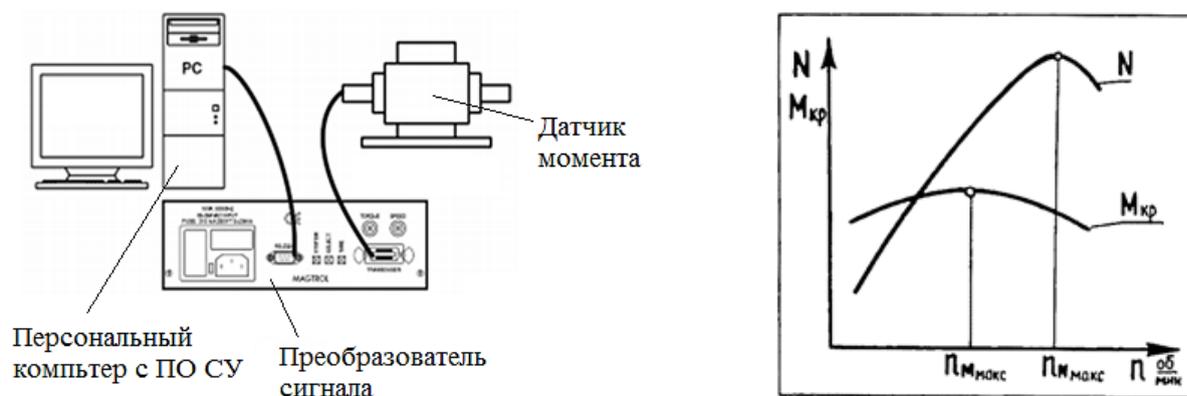


Рисунок 11 – Регистрация данных

Данные могут быть выведены на экран в виде графиков или сохранены в сводную таблицу.

## 1.9 Стенд для определения КПД привода РМ

### Общие сведения о стенде

В эксперименте был использован нагрузочный стенд для измерения крутящего момента. Стенд предназначен для проведения периодических и ресурсных испытаний различных приводов, элементов конструкций, например электроприводов трубопроводной арматуры. Стенд позволяет проводить испытания, как в статике (измерения крутящего момента), так и в динамике (измерение неустойчивости крутящего момента). Главная задача нагрузочного стенда – имитация рабочего процесса нагрузки ручной машины электробур при максимальной мощности. Но в отличие от реальной нагрузки, нагрузка, создаваемая модулем, является контролируемой, имеет плавную регулировку, поэтому она не приведет к поломке, а лишь выявит недочеты в работе, если такие имеются.

## **Конструкция стенда**

Стенд представляет собой конструкцию, все детали которого устанавливаются на основание – 1 (см. приложение В). На платформу – 2 устанавливается и закрепляется испытуемый привод. Привод соединяется кулачковой муфтой – 3 со ступицей – 36, на которой закреплен тормозной диск – 34. К диску присоединен суппорт – 35 с тормозными колодками. Давление тормозной жидкости через шланги – 37 передается на суппорт в результате перемещения штока – 6. Шток перемещается посредством поворота ручки – 4 по часовой стрелке и создает давление в системе, которое фиксирует манометр – 28. В результате торможения возникает реактивный момент, который поворачивает рычаг в противоположную вращению сторону. Рычаг упирается в силовой датчик, к которому подключен весовой индикатор. Необходимо отметить, что рычаг приложения силы имеет длину 500 мм, следовательно, при расчете крутящего момента показания прибора нужно делить пополам. На основании стенда на штативе закреплен датчик вращения, таким образом, что лазерный пучок попадает на поверхность выходного вала привода.

## **Принцип действия**

Принцип работы стенда заключается в возникновении сил сопротивления вращению вала привода при торможении колодками тормозного диска. Вращая за ручку, происходит перемещение поршня в тормозном цилиндре, создается давление в тормозной системе (рис. 12), прижимая колодки к диску (рис. 13), соответственно на подключенный привод действует момент сопротивления, при этом рычаг отклоняется в сторону и оказывает давление на силовой датчик (рис. 14).



Рисунок 12 – Тормозная система



Рисунок 13 – Колодочный тормоз

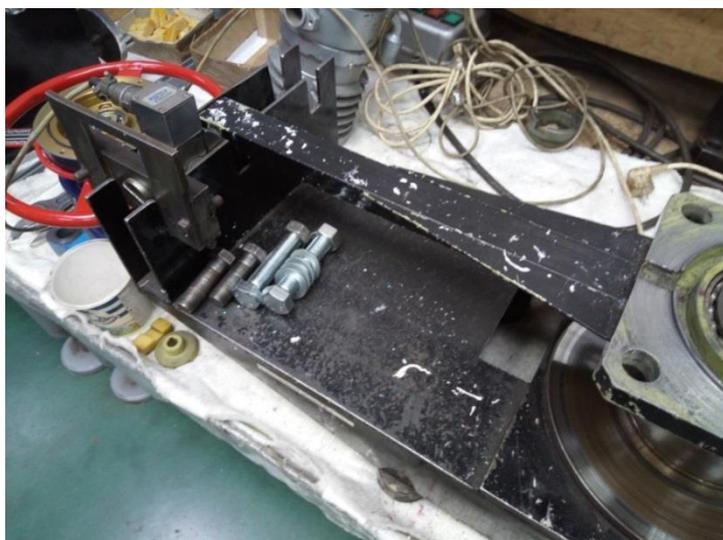


Рисунок 14 – Передача крутящего момента на силовой датчик

## **Преимущества и недостатки**

Преимущества нагрузочного стенда — простота и дешевизна конструкции; возможность плавной регулировки нагрузки; легкость установки привода или двигателя; измерение крутящего момента в динамическом режиме.

К недостаткам можно отнести — отсутствие работы в статическом режиме (на постоянных оборотах, моменте); отсутствие электронного управления; при увеличении нагрузки, возрастает сила трения, действующая на тормозной диск, вследствие чего диск нагревается и металл расширяется, соответственно возрастает нагрузка на двигатель (при неизменном положении ручки), необходимость изготовления переходных элементов для присоединения привода.

### **1.10 Методика проведения эксперимента**

1. Установка привода на стенд.
2. Настройка регистрирующей аппаратуры.
  - 2.1. Установка силового датчика на стенд;
  - 2.2. Подключение силового датчика к весовому индикатору;
  - 2.3. Установка на стенд и настройка лазерного преобразователя оборотов;
  - 2.4. Подключение и настройка диагностического прибора;
  - 2.5. Подключение привода к электрической сети через ваттметр.
3. Пробный запуск.
4. Экспериментальное определение КПД.
  - 4.1. Измерение эксплуатационных характеристик;
  - 4.2. Расчет КПД привода и редуктора на основе полученных данных.

### **Установка привода на стенд**

Изначально нагрузочный стенд предназначен для измерения крутящего момента электроприводов трубопроводной арматуры. Плоскость разъёма спроектирована специально для их соединения со стендом (см. рис. 15).

Привод РМ устанавливается на стенд, таким образом, чтобы присоединительный фланец базировался отверстиями в направляющие пальцы, а оба конца муфт вошли в зацепление (см. рис. 19). Крепежными элементами являются четыре болта и гайки М20, что обеспечивает надежную фиксацию на стенде.



Рисунок 15 – Платформа для установки привода

Поэтому, появилась необходимость в проектировании и изготовлении переходного фланца (рис. 16) и соединительной полумуфты (рис. 17) для привода РМ.

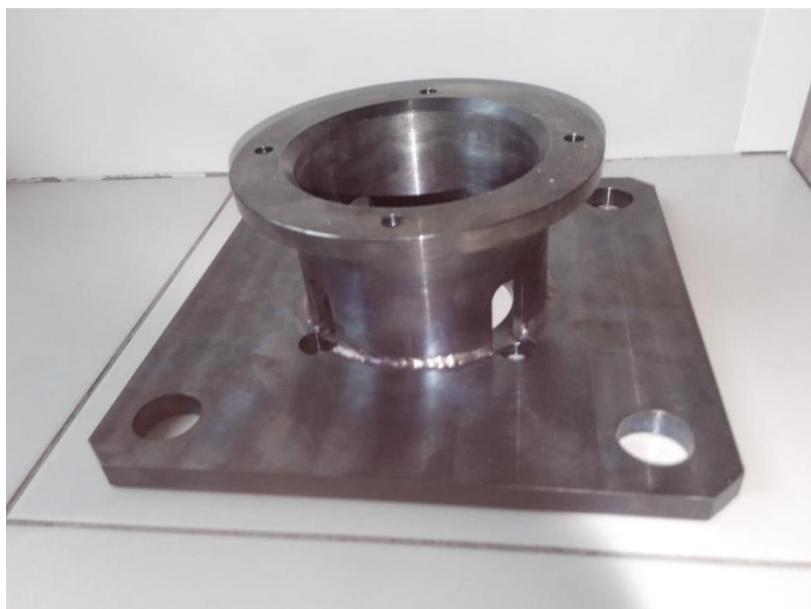


Рисунок 16 – Переходной фланец



Рисунок 17 – Соединительная полумуфта

Переходные элементы в сборе с приводом (см. рис. 18).



Рисунок 18 – Переходные элементы, установленные на привод

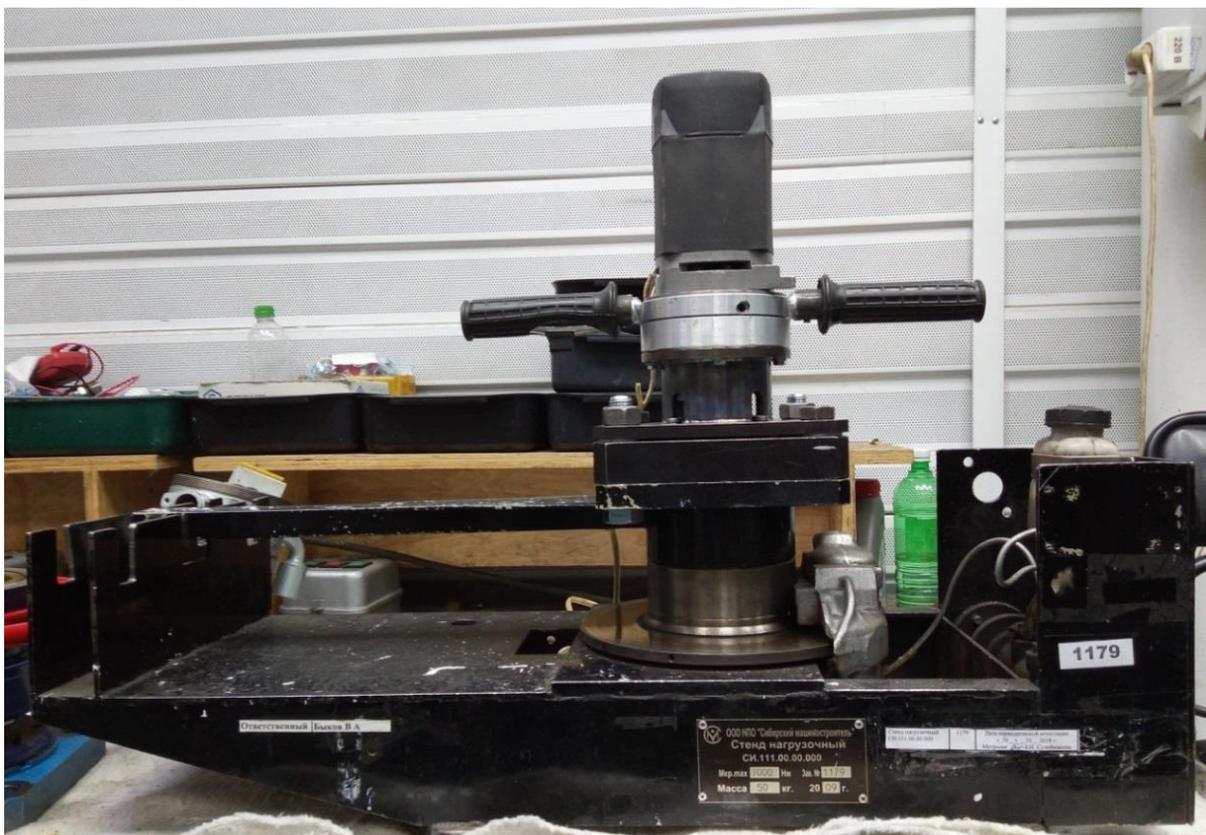


Рисунок 19 – Привод, установленный на стенд

### **Настройка регистрирующей аппаратуры**

Для измерения крутящего момента используется датчик силоизмерительный 4508 ДСТ-С-5Р-0,05-С4-1Р68 (рис. 10) – предназначен для измерения статических сил сжатия. Такие датчики преобразуют измеряемую силу в аналоговый нормированный электрический сигнал. Данный датчик работает на сжатие и имеет номинальное усилие 5кН, категория точности 0,05 по ГОСТ 28836-90.

Принцип действия датчика основан на изменении электрического сопротивления тензорезисторов, соединенных в мостовую схему, при их деформации, возникающей в местах наклейки тензорезисторов к упругому элементу датчика под действием прилагаемой силы. Изменение электрического сопротивления вызывает дисбаланс мостовой схемы и появление в диагонали моста электрического сигнала, изменяющегося пропорционально нагрузке.



Рисунок 20 – Белой стрелкой обозначено силовое воздействие на датчик

Силовой датчик подключен к весовому индикатору ИВА-1 (рис. 21). Индикатор предназначен для преобразования входных аналоговых сигналов от тензорезисторного датчика и индикации результатов взвешивания. Значения приложенного усилия к датчику в кг · м выводятся на дисплей прибора.



Рисунок 21 – Индикатор весовой

Диамех 2000 – Преобразователь числа оборотов лазерный КР-020л (рис. 22). Бесконтактные оптические датчики оборотов или тахометрические

преобразователи обеспечивают формирование импульсов, частота повторения которых пропорциональна частоте прохождения тахометрической метки, установленной на элементе (валу) вращающегося объекта, через область чувствительности датчика.

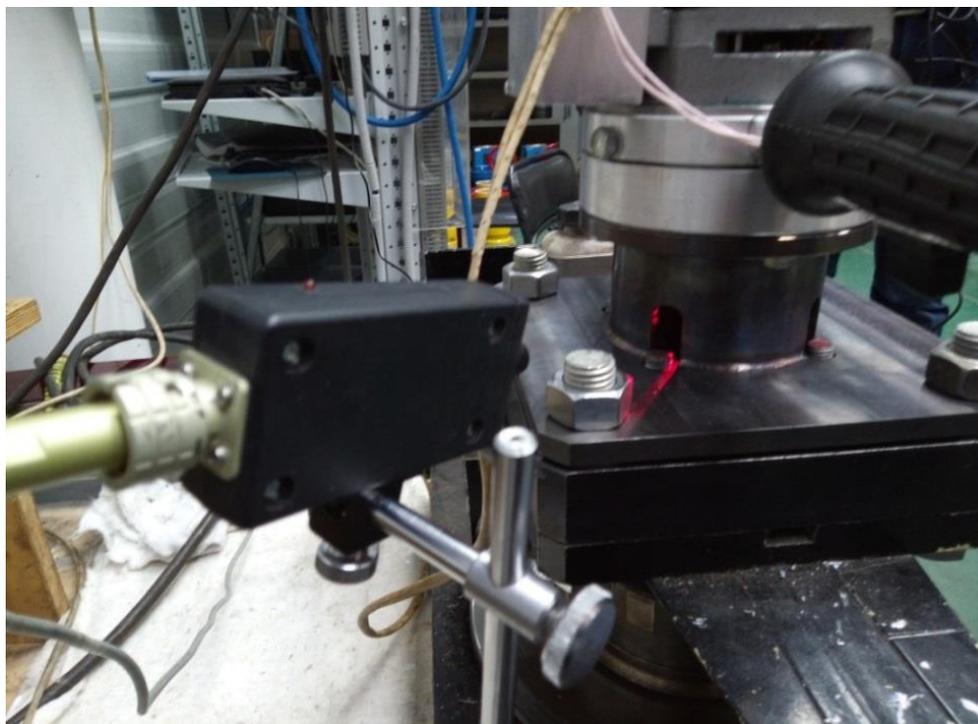


Рисунок 22 – Лазерный пучок направлен в окно переходного фланца

Сигнал с преобразователя числа оборотов поступает на диагностический прибор Диамех 2000 АГАТ-М, частота вращения вала редуктора отображается в реальном времени.

Для измерения электрических параметров применяется цифровой ваттметр Robiton PM-2 (рис. 23).



Рисунок 23 – Подключение привода к сети через цифровой ваттметр

Ваттметр предназначен для измерения напряжения, силы тока, мощности. Значения выводятся на жидкокристаллический дисплей. Вилка питающего провода электродвигателя подключена в сеть переменного тока (220В, 50 Гц) непосредственно через ваттметр.

### **Пробный запуск**

После установки привода на стенд и подключения его к сети переменного тока, необходимо было выполнить пробный запуск. Некоторое время электродвигатель работал без нагрузки, причем посторонних звуков, заклиниваний и перегрева обнаружено не было. Затем, постепенно увеличивая нагрузку на выходном валу привода было установлено, что наибольшее допустимое значение момента сопротивления, при котором отсутствует опасность поломки, составляет 25,7 Нм. Стоит отметить, что при нагрузке выше допустимой для электродвигателя, редуктор ВППТК выдержал нагрузку 42,3 Нм, но электродвигатель в таких режимах не может работать продолжительное время, причиной служит высокий потребляемый ток (выше 7А) в результате чего происходит перегрев обмотки статора.

### **Экспериментальное определение КПД**

После того как привод доказал свою работоспособность необходимо провести эксперимент. Эксперимент состоит из 15 измерений. Первое измерение произведено без нагрузки, на максимальных оборотах выходного вала. Затем, плавно увеличивая момент сопротивления на стенде, фиксируются значения силы тока, напряжения, частоты вращения, крутящего момента на датчиках и приборах измерения. Первые десять измерений с шагом 5 об/мин, остальные пять с шагом 10 об/мин в сторону уменьшения. Данные эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Данные эксперимента

№	U, ~220В	I, А	P <sub>потр.</sub> , Вт	n, об/мин	ω, рад/с	T, Н·м	N <sub>вых.</sub> , Вт
1	223	5,1	1137,3	260	27,23	1,5	40,85
2	224	5,3	1187,2	255	26,70	10,2	272,34
3	223	5,4	1204,2	250	26,18	13,5	353,43
4	223	5,6	1248,8	245	25,66	15,7	402,86
5	222	5,9	1315,7	240	25,13	17,6	442,29
6	223	6,2	1382,6	235	24,61	18,9	465,13
7	223	6,4	1427,2	230	24,09	22,1	532,39
8	222	6,7	1487,4	225	23,56	23,4	551,30
9	223	7	1583,3	220	23,04	25,7	592,13
10	222	7,4	1642,8	215	22,51	27,8	625,78
11	223	7,6	1694,8	210	21,99	29,5	648,71
12	223	8,1	1806,3	200	20,94	32,5	680,55
13	223	8,2	1828,6	190	19,90	34,3	682,57
14	223	8,4	1873,2	180	18,85	36,8	693,68
15	223	8,6	1917,8	170	16,76	42,3	708,95

Из данных таблицы видно, что при увеличении нагрузки на выходном валу привода частота вращения уменьшается, а ток потребления электродвигателя возрастает.

### Расчет КПД привода и редуктора ВППТК

Определим КПД привода в каждом измерении по формуле (9.2)

Таблица 5 – КПД привода

№	1	2	3	4	5	6	7
η	0,036	0,229	0,293	0,323	0,336	0,336	0,336
8	9	10	11	12	13	14	15
0,370	0,374	0,381	0,383	0,377	0,373	0,370	0,369

Определим КПД редуктора в каждом измерении по формуле (12)

Таблица 6 – КПД редуктора ВПШТК

№	1	2	3	4	5	6	7
$\eta$	0,051	0,327	0,419	0,461	0,480	0,480	0,480
8	9	10	11	12	13	14	15
0,529	0,534	0,544	0,547	0,539	0,533	0,529	0,527

### Анализ полученных результатов

Для получения крутящего момента на выходном валу привода РМ электробур, создаваемого фрикционным тормозом при различных частотах вращения, использовалось пятнадцать измерений. Зависимость КПД от уровня нагружения определена в рабочем диапазоне двигателя от 8 до 30 Нм.

При повышении нагрузки свыше 30 Нм показатель КПД начинает уменьшаться в результате перегрузки электродвигателя. В связи с этим на графике наблюдается зона максимума (см. рис. 24).

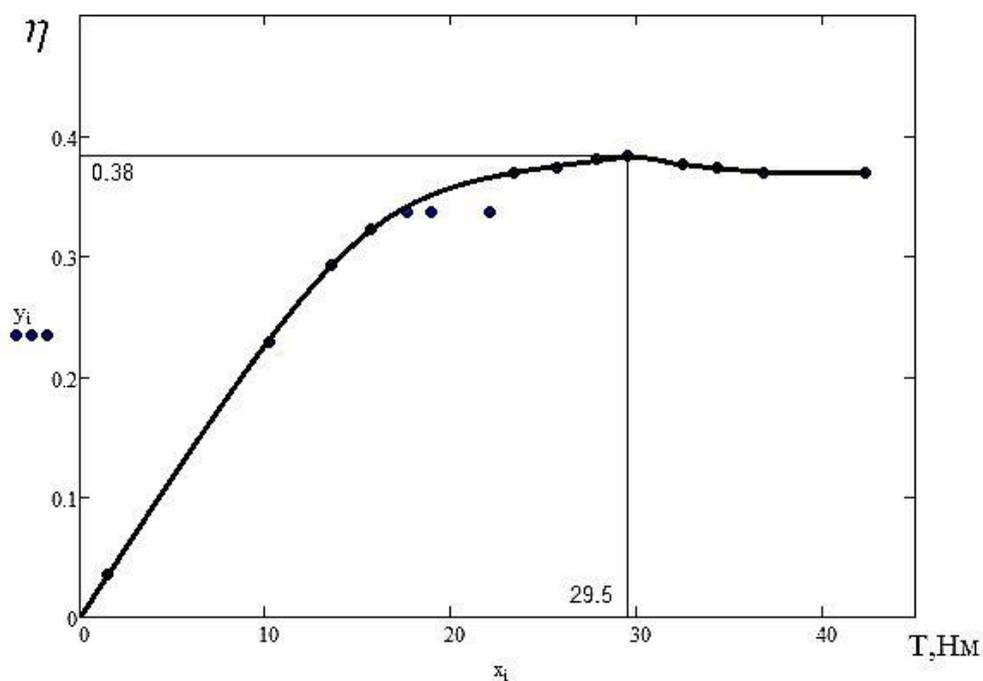


Рисунок 24 – График зависимости КПД привода от крутящего момента в полном диапазоне измерений

В качестве аппроксимирующей функции была выбрана прямая  $y = 0,172 + 0,0066x$ . Коэффициенты прямой были определены с помощью

встроенных функций «MathCAD». Поле точек и аппроксимирующая прямая представлены на рисунке 25.

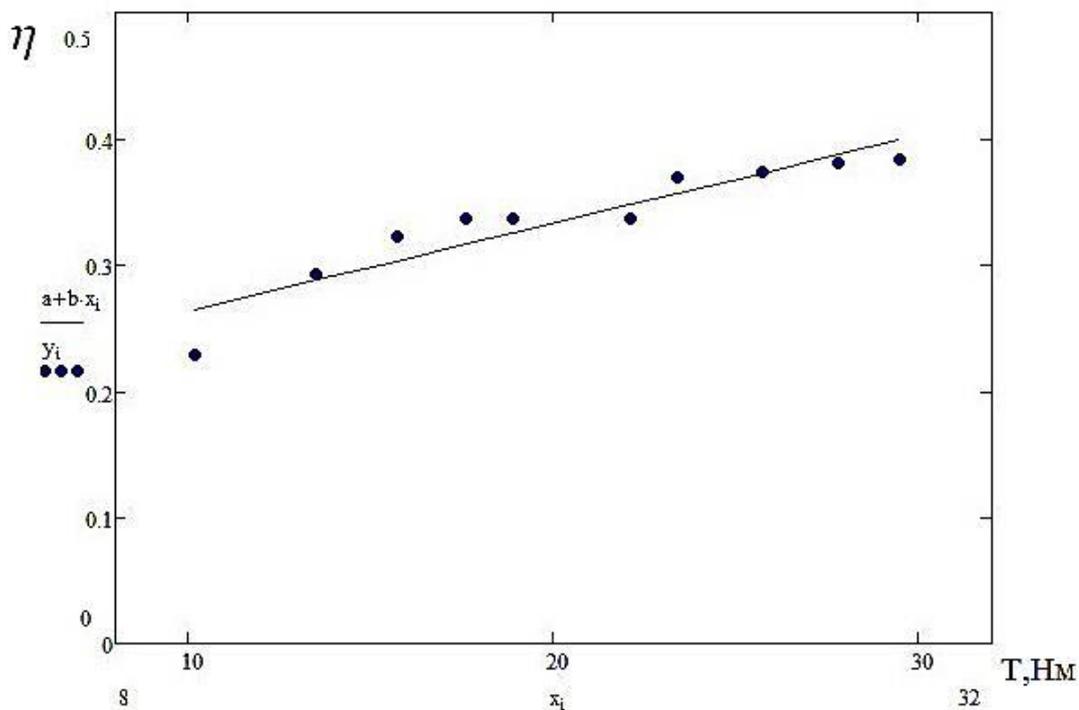


Рисунок 25 – Аппроксимирующая функция в рабочем диапазоне привода

Как видно из рисунка 25, КПД возрастает с увеличением момента на выходном валу и достигает максимального значения 0,383 при 29,5 Нм. Это объясняется тем, что с ростом нагрузки доля потерь на трение становится меньше по отношению к общей передаваемой мощности.

Ограниченный диапазон крутящих моментов ( $T < 30$  Нм) обусловлен прочностными возможностями испытуемого опытного образца привода РМ электробур. Проведенный эксперимент показывает, что при более качественном (промышленном) изготовлении редуктора ВППТК возможно достижение значений КПД привода, превышающих 38,3%.

## Выводы

1. Экспериментально установлены максимальные значения КПД для привода ручной машины электробур и редуктора ВППТК равные 0,383 и 0,547 соответственно, достигнутые при нагрузке 29,5 Нм. Эксперимент проводился над приводом электробура, созданным на базе коллекторного электродвигателя, имеющего мощность 1,5 кВт, номинальную частоту вращения 15000 об/мин и показатель КПД, равный 0,7. Электродвигатель соединен с редуктором ВППТК имеющим передаточное отношение 59.
2. Установлено, что расчетный показатель КПД привода равный 0,57 оказался в 1,5 раза больше, чем КПД, полученный экспериментальным путем. Основной причиной несоответствия показателей КПД является факт того, что измерения проводились на высокой частоте вращения входного вала редуктора до 15000 об/мин, при том, что расчетный КПД определен с условием работы передач до 3000 об/мин. Также на экспериментальный показатель КПД могли повлиять другие факторы: погрешность измерений; низкая точность изготовления деталей редуктора; плохое качество сборки.
3. В результате проведения эксперимента выявлены проблемы регулировки мощности привода. От воздействия вибрации, особенно на высоких оборотах, происходит неконтролируемый поворот регулятора мощности. Также при интенсивной работе возможен перегрев двигателя и нагрев корпусных деталей до высоких температур, свыше 100°C. Поэтому, возникает необходимость в установке предохранительного механизма, не допускающего роста потребляемого тока свыше 7А.
4. В процессе испытаний на нагрузочном стенде привод показал надежную работу, а волновой редуктор передает момент 40 Нм, двукратно превышающий номинальный. При установке электродвигателя большей мощности можно увеличить КПД и расширить рабочий диапазон нагружения привода.

## 2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Проектирование переходного фланца

Для надежного соединения привода со стендом возникла задача спроектировать переходной фланец. Фланец — деталь с плоским основанием квадратной формы с отверстиями для болтов и шпилек.

Деталь должна обладать достаточной прочностью, иметь минимальный зазор на стыке с плоскостью разъема, быть недорогой и простой в изготовлении.

Рациональнее изготовить переходной фланец из отдельных деталей (рис. 29), так как это сократит время изготовления и расход материала. Сборка состоит из следующих сборочных единиц: диск (рис. 26), основание (рис. 27), цилиндр (рис. 28). Все элементы сборки изготовлены из стали марки Ст3 и соединены сварным швом.

#### Маршрут изготовления детали - диск

##### 1. Заготовительная

1.1. Отрезать пруток  $\varnothing 140^*$ , выдерживая длину  $12 \pm 1$ .

##### 2. Токарная

2.1. Установить и зафиксировать заготовку в токарном патроне;

2.2. Подрезать торец, выдерживая  $10 \pm 0,5$ ;

2.3. Точить поверхность выдерживая  $\varnothing 130 - 0,5$  на всю длину ;

2.4. Сверлить центровое отверстие;

2.5. Сверлить отверстие  $\varnothing 10$ ;

2.6. Расточить отверстие  $\varnothing 10$  до  $87 + 0,2$ ;

2.7. Снять фаску  $4 \times 45^\circ$ ;

2.8. Переустановить деталь. Подрезать торец, выдерживая  $8 - 0,1$ ;

2.9. Расточить отверстие  $\varnothing 10$  до  $96 + 0,3$  на глубину  $4 \pm 0,1$ .

##### 3. Фрезерная с ЧПУ

3.1. Установить и зафиксировать деталь на столе;

3.2. Сверлить 4 сквозных отверстия  $\varnothing 7^{+0,3}$ , выдерживая  $110 \pm 0,2$ ,  $90^\circ$ .

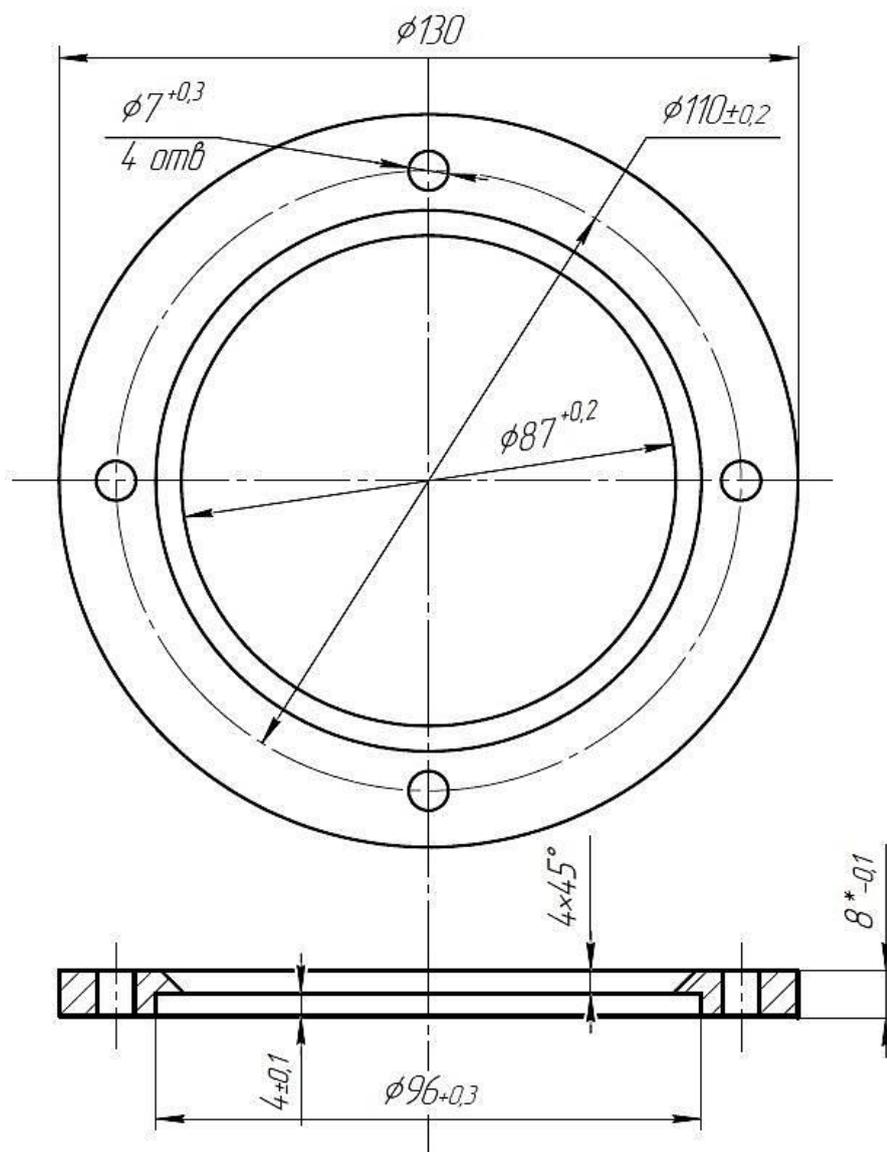


Рисунок 26 – Диск

### Маршрут изготовления детали - основание

#### 1. Заготовительно-фрезерная

1.1. Фрезеровать лист, выдерживая размеры заготовки

$206 \pm 1 \times 206 \pm 1 \times 12^*$ ;

1.2. Фрезеровать заготовку, выдерживая габаритные размеры

$200 \pm 0,5 \times 200 \pm 0,5 \times 10 - 0,1$ .

#### 2. Фрезерная с ЧПУ

2.1. Установить и зафиксировать деталь на столе;

- 2.2. Фрезеровать 4 фаски  $10 \times 45^\circ$ ;
- 2.3. Сверлить предварительно отверстие  $\varnothing 10 + 0,5$  в центре детали.
- 2.4. Расфрезеровать отверстие  $\varnothing 10$  до  $\varnothing 70 + 0,2$ ;
- 2.5. Расфрезеровать отверстие  $\varnothing 70$  до  $\varnothing 96 + 0,2$  на глубину  $4 \pm 0,1$ ;
- 2.6. Сверлить 4 отверстия  $\varnothing 10 + 0,3$ , выдерживая  $\varnothing 130 \pm 0,3$ ,  $45^\circ$ ;
- 2.7. Сверлить 4 отверстия  $\varnothing 22 + 0,3$ , выдерживая  $\varnothing 220 \pm 0,3$ ,  $45^\circ$ ;

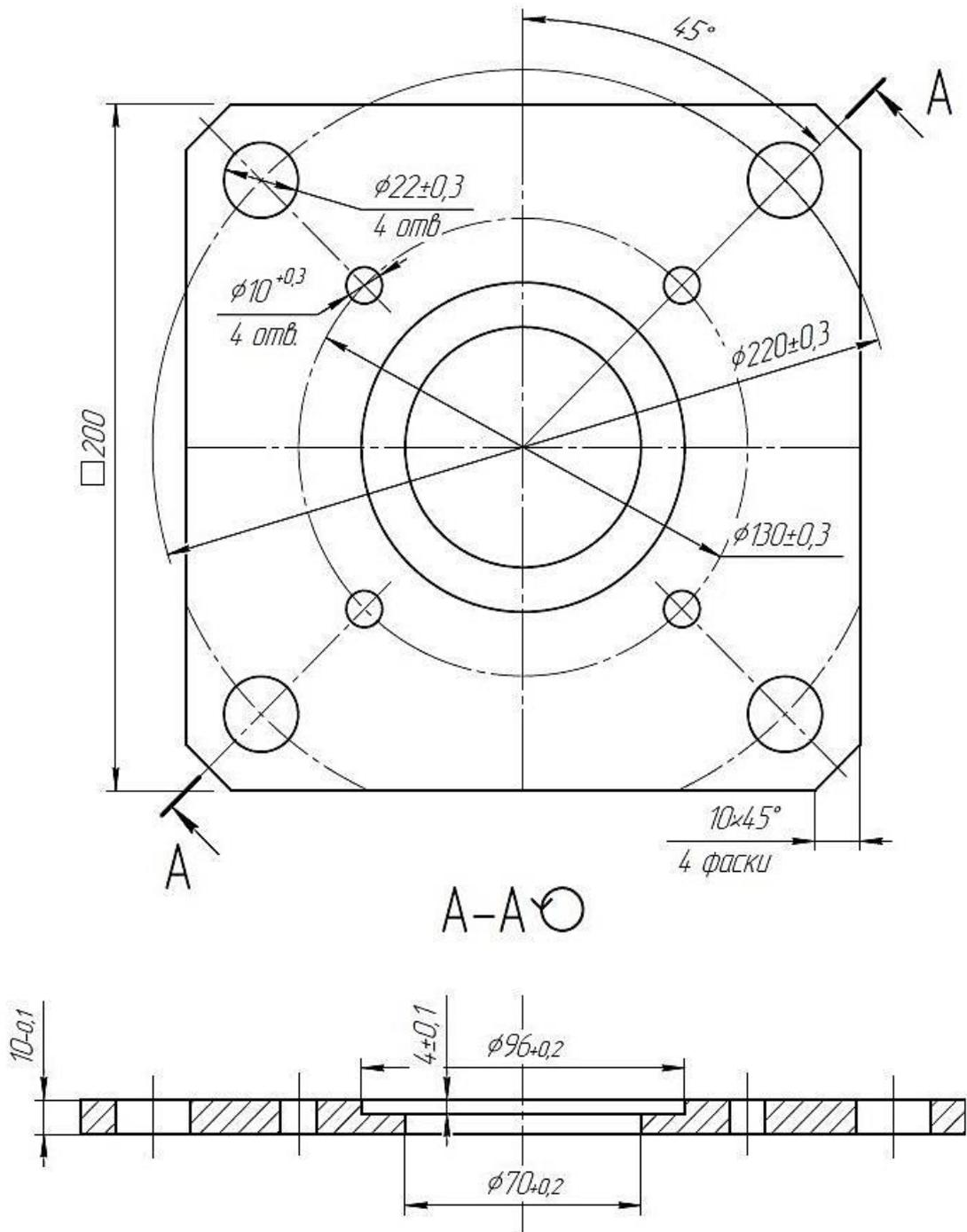


Рисунок 27 – Основание

## Маршрут изготовления детали - цилиндр

### 1. Заготовительная

1.1. Отрезать заготовку  $\varnothing 100$ , выдерживая длину  $66 \pm 1$ ;

### 2. Токарная

2.1. Установить и зафиксировать заготовку в токарном патроне;

2.2. Подрезать торец, выдерживая длину  $64 \pm 1$ ;

2.3. Сверлить центровое отверстие;

2.4. Сверлить предварительно отверстие  $\varnothing 10 + 0,5$ ;

2.5. Расточить отверстие  $\varnothing 10$  до  $\varnothing 86 + 0,3$ ;

2.6. Установить на разжимную втулку. Точить, выдерживая  $\varnothing 96 - 0,2$ ;

2.7. Подрезать торец, выдерживая длину  $62 - 0,1$ .

### 3. Фрезерная с ЧПУ

3.1. Фрезеровать 4 окна  $30 + 0,3 \times 14 + 0,2$ , R2,5.

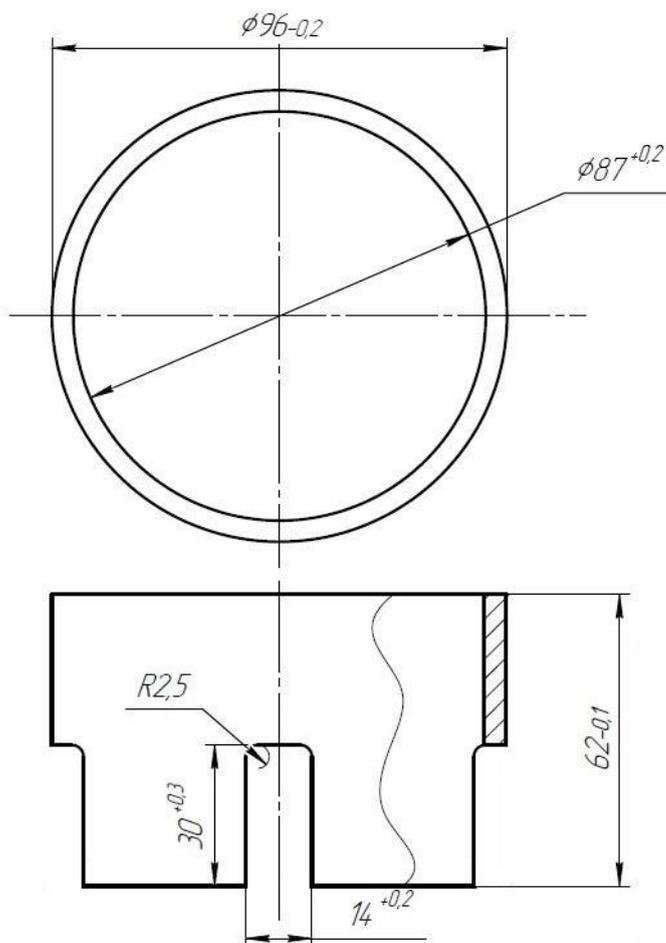


Рисунок 28 – Цилиндр

## Маршрут выполнения сборки переходного фланца

### 1. Сварка (ручная дуговая)

- 1.1. Установить цилиндр в основание, обеспечивая угол  $45^\circ$ ;
- 1.2. Выполнить сварку по контуру;
- 1.3. Установить диск на сварную конструкцию;
- 1.4. Выполнить сварку по контуру, выдерживая  $54+0,2$ .

### 2. Фрезерная

- 2.1. Фрезеровать плоскости А и Б, выдерживая  $72-0,2$ .

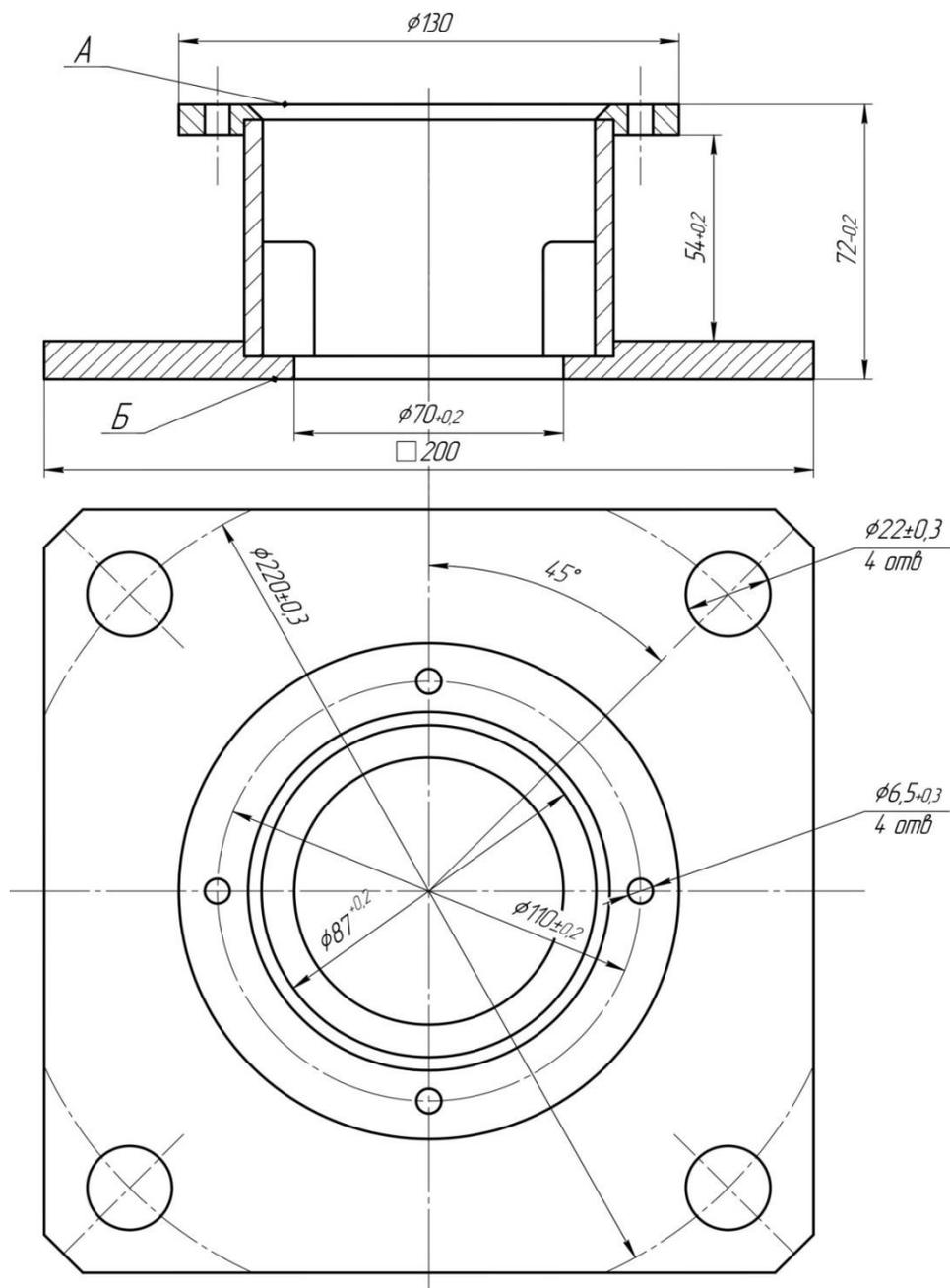


Рисунок 29 – Сборка фланца

## 2.2 Проектирование полумуфты

Передача крутящего момента от привода на ступицу станда осуществляется путем соединения через кулачковую муфту (рис. 30). Одна половина муфты установлена на станде, другая на выходном валу привода.

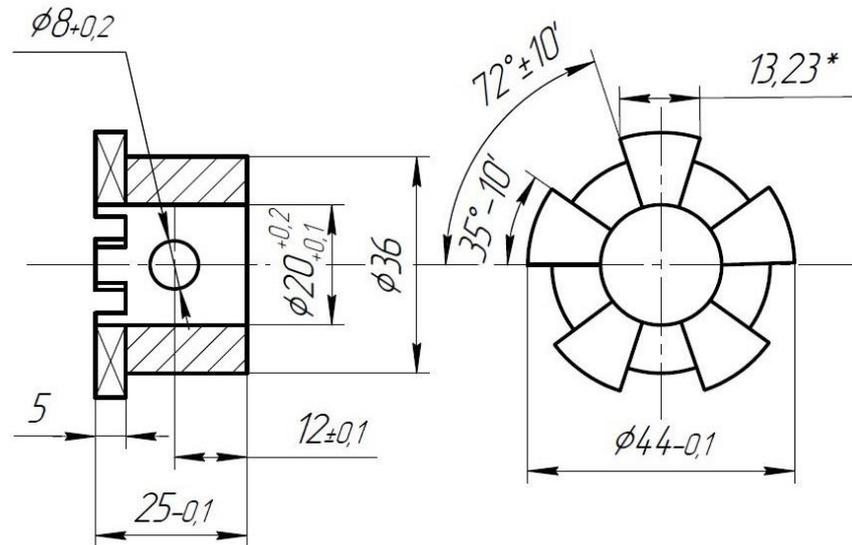


Рисунок 30 – Кулачковая полумуфта

### **3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

#### **3.1 Предпроектный анализ**

##### **Потенциальные потребители результатов исследования**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по исследованию КПД ручной машины электробур с ВППТК. Для достижения цели в данном разделе выпускной квалификационной работы представлены результаты расчётов бюджета научного исследования, оценочная карта сравнения конкурентных технических решений, оценка сравнительной эффективности исследования, рассмотрены различные варианты рисков, связанных с реализацией продукции на потребительском рынке. Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любые сельскохозяйственные предприятия или строительные фирмы. Исследованиями в данной области могут интересоваться производители электроинструмента, а так же предприятия выпускающие редукторы с промежуточными телами качения. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Основываясь на этих предпосылках, произведено сегментирование рынка (разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга), где в качестве критериев выбран размер компании и отрасли в промышленности.

Как видно из карты сегментирования (см. табл. 7), основным сегментом данного рынка является сельское хозяйство, где требуются высокая компактность и экологичность. Однако помимо сельскохозяйственных отраслей характеристиками проектируемого редуктора могут пользоваться строительные и машиностроительные отрасли.

Таблица 7 – Карта сегментирования рынка

Характеристики	Потенциальные отрасли использования ручной машины электробур с волновым редуктором с ПТК		
	Строительство	Горно-добывающая отрасль	Сельское хозяйство
Высокий КПД (малые потери)	X		X
Материалоёмкость (компактность)	X	X	X
Надёжность, долговечность	X	X	X
Экологичность			X
Стоимость	X	X	X

### **Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. 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 конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В ходе исследования проанализированы конкурентные технические решения, используемые на сегодняшний день в сфере производства электроинструмента, а так же в области исследования волновых передач с ПТК. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сравнительный анализ характеристик передач

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>К1</sub>	Б <sub>К2</sub>	К <sub>К1</sub>	К <sub>К2</sub>
<i>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</i>					
Простота изготовления	0,1	3	4	0,30	0,40
Эффективность работы передачи (КПД)	0,15	4	4	0,60	0,60
Эргономические свойства	0,15	4	3	0,60	0,45
Надежность	0,15	4	4	0,60	0,60
Материалоемкость	0,05	3	4	0,15	0,20
Широта области применения	0,1	3	5	0,30	0,50
<i>Экономические критерии оценки эффективности</i>					
Стоимость производства	0,2	2	4	0,40	0,80
Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	0,15	0,20
Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	0,20	0,20
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>3,30</b>	<b>3,95</b>

К1- Волновая передача с ПТК; К2- Зубчатая цилиндрическая передача.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и, приведенные в таблице 8, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Исследуемая волновая передача и зубчатые передачи, используемые конкурентами, оцениваются по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Наиболее целесообразным по технологическим и экономическим соображениям является применение в приводах электроинструмента, в

частности электробура передачи с зубчатым зацеплением. Целесообразность применения зубчатой передачи обуславливается широкой областью применения, простотой изготовления и соответственно низкой себестоимостью производства. Но, несмотря на это, редуктор с ВППТК имеет высокий показатель эргономичности (массу и габаритные размеры), не уступая зубчатым редукторам по эффективности и надежности.

### 3.2 Организация и планирование работ

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта (см. табл. 11). Так как число исполнителей двое (степень распараллеливания всего комплекса работ незначительна), то предпочтительным является построение линейного графика. Хронологически упорядоченные вышеуказанные данные сведены в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

№	Название	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
2	Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 50%
3	Изучение литературы	И	И – 100%
4	Обсуждение литературы и интернет-источников по теме исследования	НР, И	НР – 100% И – 30%
5	Изучение конструкции и принципа работы волновой передачи с ПТК	И	И – 100%
6	Анализ КПД различных механических передач	И	И – 100%
7	Анализ конструкции ручной машины электробур	НР, И	НР – 30% И – 100%

Продолжение таблицы 9

8	Поиск места проведения стендовых испытаний	НР, И	НР – 100% И – 40%
9	Анализ конструкции стенда, изучение сборочного чертежа	НР, И	НР – 20% И – 100%
10	Конструирование присоединительных элементов (фланец и полумуфта)	НР, И	НР – 100% И – 30%
11	Изготовление присоединительных элементов	НР	НР – 100%
12	Составление плана проведения испытаний	НР, И	НР – 100% И – 70%
13	Проведение испытаний на стенде	НР, И	НР – 100% И – 100%
14	Анализ результатов испытания	НР, И	НР – 60% И – 100%
15	Оформление пояснительной записки	НР, И	НР – 30% И – 100%
16	Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 80%

### Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется формула:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (13)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;  $t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для выполнения перечисленных в таблице 9 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (14)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{ВН} = 1$ ;  $K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ,  $K_{Д}=1,2$ . Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (15)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;  $T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях,  $T_{К} = 1,22$  [24].

В таблице 10 приведена продолжительность этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

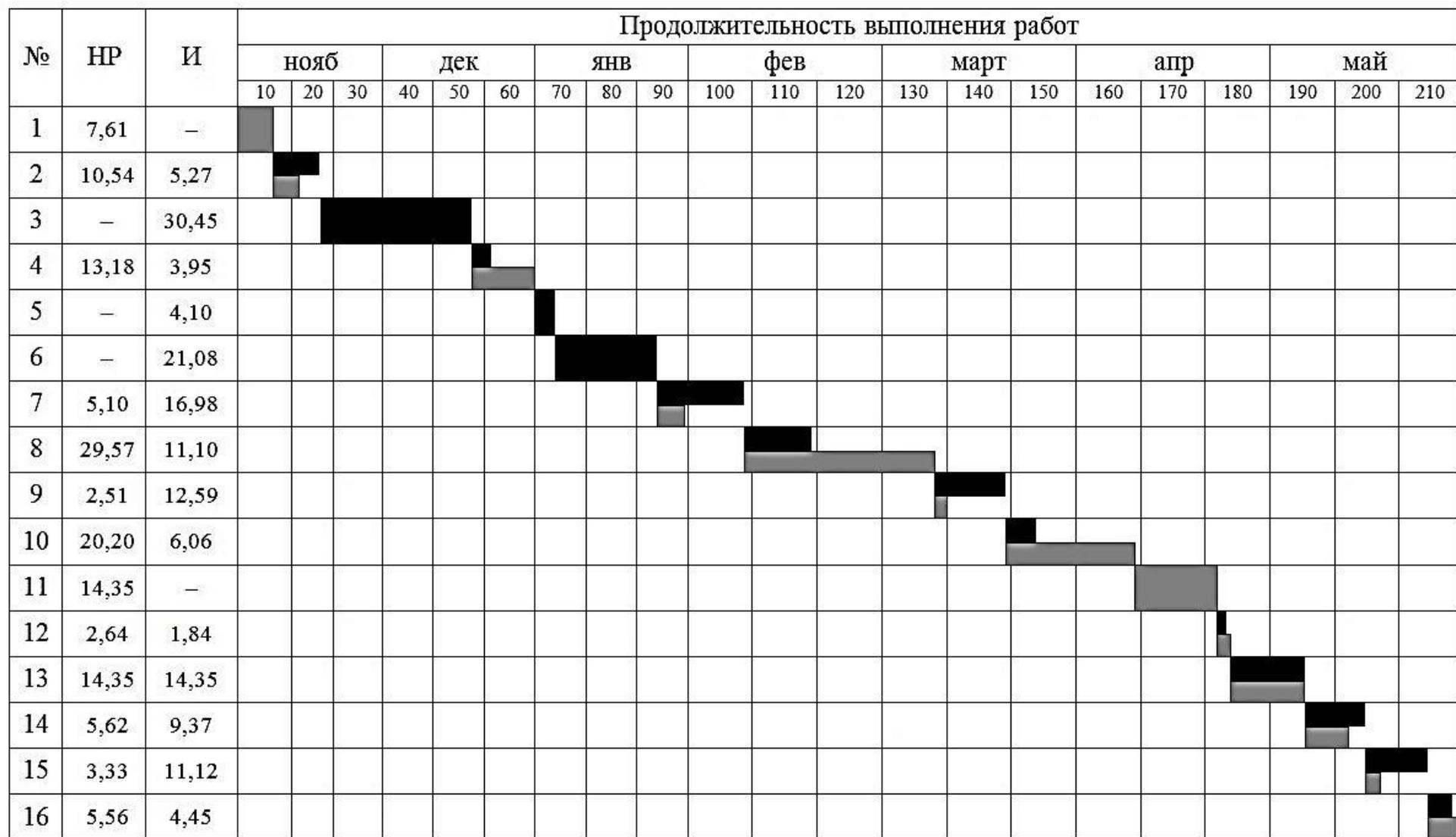
Таблица 10 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					Т <sub>рд</sub>		Т <sub>кд</sub>	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	4	7	5,2	6,24	–	7,61	–
Разработка календарного плана	НР, И	6	9	7,2	8,64	4,32	10,54	5,27
Изучение литературы	И	18	25	20,8	–	24,96	–	30,45
Обсуждение литературы и интернет-источников по теме исследования	НР, И	7	12	9	10,80	3,24	13,18	3,95
Изучение конструкции и принципа работы волновой передачи с ПТК	И	2	4	2,8	–	3,36	–	4,10
Анализ КПД различных механических передач	И	12	18	14,4	–	17,28	–	21,08
Анализ конструкции ручной машины электробур	НР, И	10	14	11,6	4,18	13,92	5,10	16,98
Поиск места проведения стендовых испытаний	НР, И	17	25	20,2	24,24	9,70	29,57	11,10
Анализ конструкции стенда, изучение сборочного чертежа	НР, И	7	11	8,6	2,06	10,32	2,51	12,59

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Конструирование присоединительных элементов (фланец и полумуфта)	НР, И	11	18	13,8	16,56	4,97	20,20	6,06
Изготовление присоединительных элементов	НР	7	14	9,8	11,76	–	14,35	–
Составление плана проведения испытаний	НР, И	1	3	1,8	2,16	1,51	2,64	1,84
Проведение испытаний на стенде	НР, И	7	14	9,8	11,76	11,76	14,35	14,35
Анализ результатов испытания	НР, И	4	10	6,4	4,61	7,68	5,62	9,37
Оформление пояснительной записки	НР, И	6	10	7,6	2,37	9,12	3,33	11,12
Подведение итогов	НР, И	3	5	3,8	4,56	3,65	5,56	4,45
<b>Итого:</b>				<b>152,8</b>	<b>109,94</b>	<b>125,79</b>	<b>134,56</b>	<b>152,71</b>

Таблица 11 – Линейный график работ



НР - ■ ; И - ■

### **3.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальные отчисления;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### **Расчет затрат на материалы**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки [26]. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в

процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5...20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах.

Таблица 12 – Затраты на материалы

Наименование материалов	Размеры, мм; масса, кг	Цена за ед. (с НДС) руб.	Кол- во	Сумма, руб.
Пруток 40Х (заготовка для полумуфты)	Ø50×30; 0,5 кг	64	1	32
Пруток Ст3 (заготовка-цилиндр для фланца)	Ø100×70; 4,3 кг	47	1	202
Пруток Ст3 (заготовка-диск для фланца)	Ø140×15; 1,8 кг	47	1	85
Плита Ст3 (заготовка-основание для фланца)	210×210×16; 5,6 кг	45	1	252
Болт М20	-	75	4	300
Гайка М20	-	50	4	200
Шайба М20	-	10	4	40
Сварочный электрод	-	250	1	250
Бумага для принтера формата А4	-	300	1 уп.	300
Всего за материалы				1661
Транспортно-заготовительные расходы 5%				83
<b>Итого по статье</b>				<b>1744</b>

### Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику.

### **Заработная плата научно-производственного персонала.**

Заработная плата (ЗП) руководителя и инженера (магистранта) рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП = З_{дн} \cdot T_p, \quad (16)$$

где: ЗП – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{З_m}{24,917}, \quad (17)$$

учитывающей, что в 2019 году 299 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 24,917 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе)

$$З_m = З_б \cdot K_{и}, \quad (18)$$

где:  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;  $K_{и}$  – интегральный коэффициент (используется для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки),  
Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	$Z_b$ , руб.	$K_{и}$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
НР	33 664	1,699	57195	2295	110	252450
И	15 470	1,62	25061	1006	126	126756
<b>Итого:</b>						<b>379206</b>

### **Расчет затрат на социальные отчисления**

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,30, \quad (19)$$

$$C_{\text{соц}} = 379206 \cdot 0,30 = 113762$$

### Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования.

Таблица 14 – Расходы на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Стоимость кВт*ч, руб	Затраты, руб.
Персональный компьютер	760	0,4	5,75	1748
Ручная машина электробур	5	1,5	5,75	43
<b>Итого:</b>				<b>1791</b>

### Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется формула:

$$C_{\text{ам}} = \frac{N_A \cdot C_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{рф}} \cdot n}{F_d}, \quad (20)$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;  $C_{\text{ОБ}}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;  $F_d$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;  $t_{\text{рф}}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;  $n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Амортизация персонального компьютера составит:

$$C_{ам} = \frac{0,4 \cdot 45000 \cdot 760 \cdot 1}{2408} = 5681$$

### Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{пр} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл} + C_{ам}) \cdot 0,1 \quad (21)$$

$$C_{проч} = (1744 + 379206 + 113762 + 1791 + 5681) \cdot 0,1 = 50218$$

### Расчет общей себестоимости исследования

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 15 – Общая себестоимость

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	1744
Заработная плата	$C_{зп}$	379206
Социальные отчисления	$C_{соц}$	113762
Расходы на электроэнергию	$C_{эл}$	1791
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	5681
Прочие расходы	$C_{проч}$	50218
<b>ИТОГО:</b>		<b>552402</b>

### Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку, т.е.  $552402 \cdot 0,2 = 110480$

### Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{НИР} = 552402 + 110480 = 662882$$

### **3.4 Оценка экономической эффективности исследования**

Актуальным аспектом качества выполненного исследования является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку исследования. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. с целью получения определенного результата в будущем.

Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

- результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;
- результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;
- связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности исследования невозможно, так как она носит исследовательский характер и изготовление в промышленных масштабах пока не представляется возможным.

## 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### Введение

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места оператора станда в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды.

Целью данной работы является исследование эффективности компактного привода и редуктора с промежуточными телами качения. Исследования привода ручной машины электробур, проводимые на станде, позволят оценить характер воздействия различных факторов на оператора машины.

Ручная машина электробур может использоваться для работ в следующих отраслях: строительство, сельское хозяйство, рыболовство, горнодобывающая отрасль.

Рабочим местом является производственное помещение «НПО Сибирский машиностроитель», г. Томск, оснащенное техническими средствами и вспомогательным оборудованием, необходимыми для осуществления функций контроля механических параметров электроприводов. Рабочей зоной является стол с установленным на него стандом для проведения периодических испытаний.

Определение коэффициента полезного действия новой машины является важной актуальной исследовательской задачей, т.к. эта характеристика показывает, насколько эффективно будет расходоваться подводимая к двигателю или вырабатываемая им энергия. Снижение энергоемкости и выполняемых работ и повышение экологичности при эксплуатации является одним из направлений развития новой техники.

#### **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Существуют специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм. К таким органам относятся: Федеральная инспекция труда; Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)); Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

Режим рабочего времени.

Согласно "Трудовому кодексу Российской Федерации" от 30.12.2001 N197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) статья 100 режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, рабочая неделя с предоставлением выходных дней по скользящему графику, неполная рабочая неделя), работу с ненормированным рабочим днем для отдельных категорий работников, продолжительность ежедневной работы (смены), в том числе неполного рабочего дня (смены), время начала и окончания работы, время перерывов в работе, число смен в сутки, чередование рабочих и нерабочих дней, которые устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, - трудовым договором.

Общие эргономические требования.

При конструировании рабочего места оператора станда необходимо соблюдать следующие основные условия:

- достаточное рабочее пространство для оператора, позволяющее

- осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и техническом обслуживании оборудования;
- достаточные физические, зрительные и слуховые связи между операторами и оборудованием, а также между операторами;
  - оптимальное размещение рабочих мест в помещениях для оперативной работы, а также безопасные и достаточные проходы для операторов;
  - оптимальное размещение оборудования (главным образом средств отображения информации и органов управления), благодаря чему обеспечивается удобное положение оператора при работе;
  - четкое обозначение органов управления, индикаторов и других элементов оборудования, которые нужно находить, опознавать и которыми приходится манипулировать (маркировка не требуется для органов управления или оборудования, назначение которых очевидно для оператора);
  - необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения оперативных задач, технического обслуживания” или тренировок;
  - оптимальное, распределение яркостей в поле восприятия (величина и равномерность внешнего освещения, цвет поверхности панели и несветящихся индикаторов, яркость светящихся индикационных устройств);
  - допустимый уровень акустического шума и вибрации, создаваемых оборудованием рабочего места или другими источниками шума и вибрации;
  - достаточную простоту и быстроту сборки и разборки оборудования;
  - исключение возможности неправильной установки, замены и монтажа блоков или элементов оборудования, а также неправильной идентификации, ориентации и расположения кабелей и разъемов;
  - наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков, предупреждающих об опасностях, которые могут возникнуть при работе, и указывающих на необходимые меры предосторожности;
  - необходимые опоры и подставки для временного размещения вынутых блоков или элементов оборудования, а также для испытательного

оборудования, приборов, инструментов и технических руководств;

- надежную индикацию для случаев отказа электрического питания, а также отказа оборудования или его функционирования с выходом за допустимые пределы.

Виды компенсаций при работе во вредных условиях труда.

В ручной машине электробур существуют такие вредные факторы как «повышенные уровни шума и вибрации». За работу с такими вредными факторами полагаются следующие компенсации:

- Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в соответствии со ст. 117 ТК РФ.
- Сокращенная продолжительность рабочего времени в соответствии со ст. 92 ТК РФ.
- Повышение оплаты труда в соответствии со ст. 147 ТК РФ.
- Досрочное назначение трудовой пенсии в соответствии со ст. 27 и 27.1 ТК РФ.

## **4.2 Производственная безопасность**

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследования. В ходе исследования будет произведена установка привода и датчиков на стенд, подключение к сети переменного тока, оценена работа привода в различных условиях нагружения: на холостом ходу при максимальных оборотах электродвигателя; при предельно допустимых нагрузках. Соответственно могут возникнуть вредные и опасные факторы угрожающие здоровью и жизни человека.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы 16.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изготов- ление	Эксплуа- тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	ГОСТ 12.0.001-82; ГОСТ 12.1.003-2014; ГОСТ 12.1.005-88; ГОСТ 12.1.012-90; ГОСТ 12.1.019-2017; ГОСТ 12.1.029-80; ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ Р 51337-99; СНиП 23-05-95; СП 51.13330.2011; СП 52.13330.2016; СН 2.2.4/2.1.8.566-96; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002; СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2.2.4.3359-16.
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте		+	+	
3. Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	
4. Повышенный уровень вибрации		+	+	
5. Повышенная температура поверхностей оборудования.		+	+	
6. Наличие токопроводящих элементов, находящихся под напряжением.		+	+	

### 4.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов возникающих при эксплуатации объекта исследования

#### 1. Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается.

Повышенная влажность воздуха ( $\phi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\phi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в ГОСТ 12.1.005-88. Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа операторского типа, относится к категории легких работ – Ib. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 17.

Таблица 17 – Микроклимат производственных помещений

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Микроклимат производственных помещений поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной

вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года. Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию.

В производственном помещении отклонений от показателей микроклимата обнаружено не было.

## **2. Повышенный уровень шума на рабочем месте.**

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

По характеру спектра в производственном помещении присутствуют широкополосные шумы, источниками являются: работающее оборудование, нагрузочные стенды, работа электроприводов, громкая речь и т.д. Но основным источником шума является исследуемый привод, так как оператор находится в

непосредственной близости. Уровень звукового давления, воспроизводимый опытным образцом, равен приблизительно 85-95 дБ на средних частотах, что эквивалентно шуму при работе отбойного молотка. Причиной столь громкого шума являются: электродвигатель, в котором подшипники ротора создают шум, контактируя с дорожками качения, так как частота вращения вала приблизительно 15 000 об/мин; промежуточные тела качения волновой передачи, в передаче их содержится 59 штук.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать согласно ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002, Работа оператора станда относится ко 2 категории, требует сосредоточенности для проведения измерений. В таблице 18 указаны допустимые уровни для работы такого типа.

Таблица 18 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентный уровень звука, дБ А
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
93	79	70	63	58	55	52	50	49	60

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

- СКЗ (средства коллективной защиты)
  - устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
  - изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
  - применение средств, снижающих шум на пути его распространения.
- СИЗ (средства индивидуальной защиты)
  - применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

При эксплуатации ручной машины необходимо использовать беруши,

либо наушники. В качестве средств коллективной защиты можно применить заградительные щиты из звукопоглощающего материала.

### **3. Недостаточная освещённость рабочей зоны.**

Согласно СНиП 23-05-95 в помещении, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса, при постоянном нахождении людей в помещении освещённость при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

В данном производственном помещении площадью 42 м<sup>2</sup>, используются пять светильников с люминесцентными лампами типа «ОДОР-2-40». Эти светильники имеют две лампы мощностью 40 Вт каждая, световой поток которых равен 2200 Лм, что обеспечивает необходимую степень освещённости.

Стоит отметить, что при проведении исследования используется лазерный датчик фиксирующий скорость вращения вала. Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (луч лазера) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

### **4. Повышенный уровень вибрации.**

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и

многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности. Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96. В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и третьоктавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Воздействие производственной вибрации на человека вызывает изменения как физиологического, так и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений. Все это ведет к снижению производительности труда. Изменения в физиологическом состоянии организма — в развитии нервных заболеваний, нарушении функций сердечно-сосудистой системы, нарушении функций опорно-двигательного аппарата, поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций органов внутренней секреции. Все это приводит к возникновению вибрационной болезни. Вредность вибрации усугубляется одновременным воздействием на оператора повышенной температуры воздуха рабочей зоны, повышенного уровня шума, напряжение рук рабочего при работе с ручными машинами, запыленности воздуха.

Показатели вибрационной нагрузки на оператора – виброускорение (или виброскорость) и время действия вибрации, определяющие дозу, а также частотный спектр, определяющий характер клинических проявлений

вибрационных нарушений.

Корректированный (по частоте) уровень локальной вибрации (ЛВ) используют для характеристики ручных машин по степени виброопасности. Эквивалентный (по энергии) корректированный уровень ЛВ используют для оценки нагрузки на человека-оператора за смену.

В таблице 19 представлены нормируемые параметры ПДУ для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами.

Таблица 19 – ПДУ вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Допустимые значения			
	в величинах виброускорения		в величинах виброскорости	
	м/с <sup>2</sup>	дБ*	м/с·10 <sup>-2</sup>	дБ**
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

\*относительно 10<sup>-6</sup> м/с<sup>2</sup>; \*\* относительно 5·10<sup>-8</sup> м/с

При превышении нормы обязательны режимы труда, требования к которым приведены в ГОСТ 12.1.012-90 и СанПиН 2.2.2.540-96; при превышении нормы более 12 дБ проводить работы запрещается (см. табл. 20).

Таблица 20 – Нормы и соответствующие режимы труда

Класс условий труда по Р2.2.2006-05	Превышение ПДУ		Допустимое суммарное воздействие за смену, мин
	дБ	раз	
2	0	1	480
3.1	3	1,4	240
3.2	6	2	120
3.3	9	2,8	60
3.4	12	4	30
4	>12	>4	Проводить работы или применять машины, генерирующие такую вибрацию, запрещается

К способам борьбы с вибрацией относятся снижение вибрации в источнике (улучшение конструкции машин, статическая и динамическая балансировка вращающихся частей машин), виброгашение (увеличение эффективной массы путем присоединения машины к фундаменту), виброизоляция (применение виброизоляторов пружинных, гидравлических, пневматических, резиновых и др.) вибродемпфирование (применение материалов с большим внутренним трением), применение индивидуальных средств защиты (виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию).

Основной причиной возникновения вибрации в приводе машины электробур является волновая передача с промежуточными телами качения. Такой характер вибрации относится к локальной вибрации. Колебания, возникающие в процессе работы машины, передаются на рукояти инструмента. Рукояти электробура прорезинены специальными вставками. При эксплуатации ручной машины рекомендуется работать в перчатках.

## **5. Повышенная температура поверхностей оборудования.**

Горячие поверхности машин, доступные оператору, являются причиной риска ожогов. Прикосновение к горячей поверхности может быть преднамеренным, например при трогании рукоятки, или непреднамеренным,

если человек находится близко от машины. Основные указания по конструированию безопасных машин, принимающие во внимание меры против рисков, включая термические, даны в ГОСТ Р 51337-99.

При выполнении процесса бурения на оператора машины может воздействовать и такой вредный производственный фактор как повышенная температура поверхностей оборудования. Температуру поверхности машины измеряют с помощью соответствующих измерительных средств. Температура поверхности машины, вызывающая ожоги при контакте кожи с горячей поверхностью, зависит от материала поверхности и от продолжительности контакта кожи с горячей поверхностью. Эта зависимость представлена на рисунке 31.

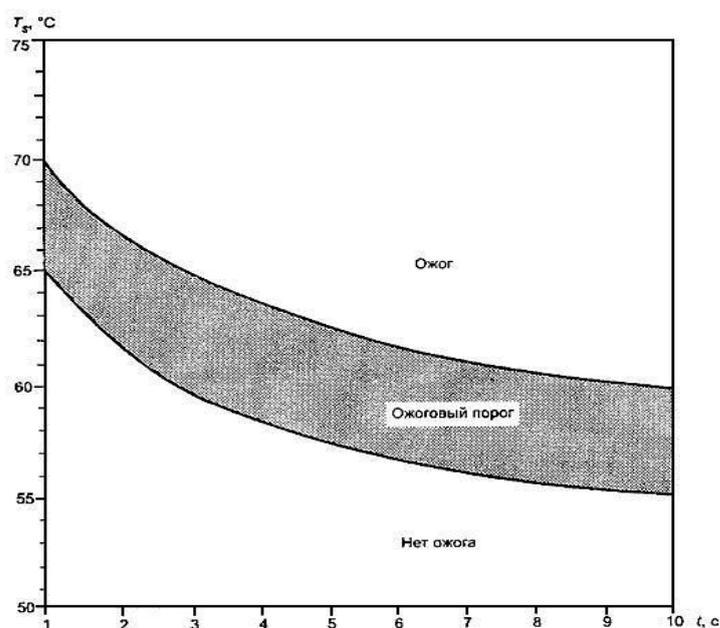


Рисунок 31 – Область ожогового порога при контакте кожи с гладкой горячей поверхностью металла без покрытия

При эксплуатации электробура повышенной температурой обладает поверхность алюминиевой крышки редуктора. В результате трения в передаче, корпус значительно нагревается, температура возрастает до  $120^{\circ}\text{C}$  и при несоблюдении правил безопасности прикосновение может вызывать ожог. Горячая деталь внешне ничем не отличается от холодной и поэтому не воспринимается как источник опасности. Работник при производстве работ должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты.

В процессе повседневной деятельности для исключения данного вредного фактора необходимо:

- эксплуатировать электроинструмент, обеспечивая 15-20 минутный перерыв, не допуская чрезмерного нагрева поверхностей элементов;
- пользоваться средствами индивидуальной защиты (защитный халат, термостойкие перчатки);
- быть внимательными во время работы и не допускать нарушений требований безопасности труда.

#### **6. Наличие токопроводящих элементов, находящихся под напряжением.**

Испытуемый привод электробура, стенд и регистрирующая аппаратура должны быть выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019–2017.

Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением.

С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением оборудования (нагрузочного стенда и привода) необходимо визуально проверить электропроводку на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;
- при появлении признаков замыкания или нагрева токоведущих частей необходимо немедленно отключить оборудование от электрической сети;

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозщитные средства. Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение

прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;

- зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

#### **4.4 Экологическая безопасность**

В ходе проведения исследований привода ручной машины не было использовано токсичных и радиоактивных материалов, а также материалов, подлежащим особым условиям утилизации.

Однако при эксплуатации ручной машины электробур периодически производится замена смазывающего материала в редукторе. Отработанное масло необходимо утилизировать согласно ГОСТ Р 56828.42-2018.

При проведении экспериментов для квалификационной работы вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, чрезвычайные ситуации не наблюдались, отрицательных воздействий на окружающую среду не происходило.

Процесс утилизации электробура будет проходить в несколько этапов:

- разборка изделия на составные элементы;
- сортировка деталей по материалам изготовления;
- отправка металлов, пластиков и других материалов, пригодных для

вторичного использования, на переработку, а электронные компоненты — на аффинаж.

#### **4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

Самой вероятной чрезвычайной ситуацией в производстве является пожар. Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. 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.

С целью предотвращения пожаров необходимо:

1. Уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;
2. Курить только в отведенных для курения местах;
3. Проверять уровень нормы газа в помещении, проветривать помещение;
4. В случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу;
5. Сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

При написании дипломного проекта была выявлена возможная ЧС, это пожар, который может произойти в результате короткого замыкания электропроводки исследуемого привода. На рисунке 32 представлен план



Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

### **Выводы по разделу**

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были исследованы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Проанализирована производственная безопасность, выявлены опасные и вредные факторы, были обоснованы мероприятия по снижению воздействия этих факторов.

Были подняты вопросы экологической безопасности и безопасности в ЧС. Полученные результаты могут быть применены на производстве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы выполнен анализ КПД различных механических передач, а так же описано влияние различных факторов на КПД привода. Проанализированы конструкции испытательных стендов для определения КПД приводов различного назначения. Разработана конструкция и технология изготовления присоединительных частей для испытательного стенда.

Определен КПД привода при различных уровнях нагружения выходного вала редуктора. Экспериментально установлено для привода ручной машины электробур на базе коллекторного электродвигателя с редуктором ВППТК значение КПД, равное 0,38, достигнуто при нагрузке 29,5 Нм.

## Список литературы

1. Игнатищев, Р. М. Синусошариковые редукторы / Р. М. Игнатищев. – Минск : Выш. шк., 1983. – 107 с. : ил.
2. Беляев А. Е., Брюховецкий В.П. Исследование волновых передач с шариковыми промежуточными телами // Доклады на 5-й научно-техн. конф. ТГУ. – Томск, 1974. – С. 41-48.
3. Брюховецкий В.П. Исследование планетарной эксцентриковой передачи с шариками в зацеплении: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Томск, 1979. – 21 С.
4. Янгулов В.С. Редуктор системы автоматического регулирования повышенной долговечности: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Томск, 1984. – 24 с.
5. Янгулов В.С. Волновые передачи с промежуточными телами. Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 2 – С.14-18.
6. Янгулов В.С. Прецизионный редуктор повышенной долговечности. Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 2 – С.18-22.
7. Янгулов В.С., Беляев А.Е. Элементы расчета жесткости волновой передачи с промежуточными телами качения. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 3 – С.69-73.
8. Янгулов В.С., Беляев А.Е. Расчёт мёртвого хода волновых передач с промежуточными телами качения. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 3 – С.74-77.
9. Ан И-Кан, А.Е. Беляев. Синтез планетарных передач применительно к роторным гидромашинам. – Новоуральск: НИИ МИФИ, 2001. – 92 с.
10. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства. Практикум лидера-проектировщика. – Томск: ТГУ, 1998. – 296 с.
11. Лустенков М. Е., Прудников А. П. «Структурные резервы повышения

- КПД передач с промежуточными телами качения». Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого № 3. 2010. – С.18-24.
12. Гилета В.П., Барис А.В. Коэффициент полезного действия волновой передачи. Доклады АН ВШ РФ № 2–3. 2014. НГТУ. С.50-56.
13. Люминарский С.Е., Люминарский И.Е. Влияние геометрических параметров на КПД волновой зубчатой передачи. Известия высших учебных заведений – Машиностроение. 2013. №4. С51-57.
14. «SIMACO Сибирская машиностроительная компания». URL: <http://www.smc.tomsk.ru/> (дата обращения: 18.04.2019).
15. «Сибирский машиностроитель, НПО ООО». URL: <http://www.nposibmach.ru/> (дата обращения: 07.05.2019).
16. Большая советская энциклопедия (БСЭ). Государственное научное издательство, 1967.
17. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.: ил.
18. Пат. 2134827 Россия. МПК7 F16H 1/00. Волновая передача для коллекторного двигателя / В.С. Коротков. – № 97120085/28; Заявлено 28.11.97; Публ. 20.08.99, Бюл. № 23.
19. Коротков В.С. Создание ручной машины с волновой передачей и исследование ее работоспособности. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. – С.126-130.
20. МиассЭлектроАппарат. URL: <http://www.miasselektroapparat.ru/> (дата обращения: 18.03.2019).
21. Тимофеев Г.А., Самойлова М.В. Коэффициент полезного действия комбинированного планетарно-волнового механизма. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. 2011. №4. – 15 с. ISSN 0236-3941.
22. ЗАО «НПП «МИКС Инжиниринг» URL: <http://www.mix-eng.ru/proekty/stend-dlya-izmereniya-krutyashchego-momenta-reduktorov/> (дата обращения: 17.05.2019).

23. Компания MAGTROL. Измерительное оборудование. Испытательные стенды. URL: <http://www.magtrol.ru> (дата обращения: 12.04.2019).
24. ЗАО «НПП «МИКС Инжиниринг» (2014) Стенд для измерения крутящего момента редукторов // YouTube ([https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=17&v=GKR6uZS2KuE](https://www.youtube.com/watch?time_continue=17&v=GKR6uZS2KuE)) Просмотрено: 17.05.2019.
25. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 29 с.
26. Металл-сервис. Прайс-лист. URL: <https://mc.ru/prices/listovojprokat.htm> (дата обращения: 27.04.2019).
27. Корнилович, Олег Павлович. Техника безопасности при работе с инструментами и приспособлениями / О. П. Корнилович. — Москва: Энергоатомиздат, 1992. — 93 с.: ил. — Библиотека электромонтера; Вып. 633. — Библиогр.: с. 94.
28. Корнилович, Олег Павлович. Техника безопасности при электромонтажных и наладочных работах / О. П. Корнилович. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 238 с.: ил. — Справочник электромонтажника. — Библиогр.: с. 237.
29. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера // под ред. проф. В.Ф. Панина. – М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5СТПУ%5Сbook%5С25604>.

## Нормативные ссылки

1. **ГОСТ 25100-95.** Грунты. Классификация;
2. **ГОСТ 23108-94.** Редукторы волновые зубчатые одноступенчатые. Основные параметры;
3. **ГОСТ 12.0.001-82.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения;
4. **ГОСТ 12.0.003-2015.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
5. **ГОСТ 12.1.003-2014.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
6. **ГОСТ 12.1.005-88.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
7. **ГОСТ 12.1.012-90.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность;
8. **ГОСТ 12.1.019-2017.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
9. **ГОСТ 12.1.029-80.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация;
10. **ГОСТ 12.1.038-82.** Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
11. **ГОСТ Р 51337-99.** Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей;
12. **СНиП 23-05-95.** Естественное и искусственное освещение;
13. **СП 51.13330.2011.** Защита от шума;
14. **СП 52.13330.2016.** Естественное и искусственное освещение;
15. **СН 2.2.4/2.1.8.566-96.** Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;
16. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.** Гигиенические требования к естественному,

искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;

17. **СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002.** Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;

18. **СанПиН 2.2.4.548-96.** Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;

19. **СанПиН 2.2.4.3359-16.** Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

20. **ГОСТ Р 56828.42-2018.** Утилизация отработанных масел. Показатели для идентификации.

## Приложение А (обязательное)

### Раздел 1 Исследовательский (1.8 – 1.11)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Стариков Максим Александрович		

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна	-		

## **1.8. Stand to determine the efficiency of the drive manual machine**

### **General information about the stand**

In the experiment, a load stand was used to measure the torque. The stand is intended for carrying out periodic and life tests of various drives, structural elements, such as electric actuators of pipeline valves. The bench allows to carrying out the tests both in statics (measurements of torque) and in dynamics (measurement of torque instability). The main task of the load stand is an imitation of the working process of loading the electric drill manual machine at maximum power. But unlike the real load, the load created by the module is controlled, has a smooth adjustment, so it will not lead to breakage, but only reveal shortcomings in the work, if any.

### **Stand construction**

The stand is a design, all the details of which are installed on the base – 1 (see adj. B). On the platform – 2 is installed and fixed test drive. The drive is connected by a cam clutch – 3 with a – 36 hub on which the brake disc is fixed – 34. A caliper is attached to the disc - 35 with brake pads. The brake fluid pressure through hoses – 37 is transmitted to the caliper as a result of moving the stem – 6. The stem moves by turning the knob – 4 clockwise and creates pressure in the system, which fixes the pressure gauge – 28. As a result of braking, a reactive moment occurs, which turns the lever into opposite to the rotation side. The lever rests on the power sensor to which the weight indicator is connected. It should be noted that the lever of application of force has a length of 500 mm, therefore, when calculating the torque, the instrument must be divided in half. On the base of the stand, a rotation sensor is fixed on the tripod, so that the laser beam hits the surface of the output shaft of the drive.

### **Operating principle**

The principle of operation of the stand lies in the emergence of forces of resistance to the rotation of the drive shaft when braking with brake pads. Rotating by

the handle, the piston moves in the brake cylinder, pressure is created in the brake system (Fig. 12), pressing the pads against the disc (Fig. 13), respectively, the moment of resistance acts on the connected drive, while the lever is deflected to the side and exerts pressure on power sensor (Fig. 14)



Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14

### **Advantages and disadvantages**

Advantages of the loading stand are simplicity and low cost of the construction; possibility of smooth load adjustment; ease of installation of the drive or engine; torque measurement in a dynamic mode.

The disadvantages include the lack of work in a static mode (at constant speed, torque); lack of electronic control; when the load increases, the friction force acting on the brake disc increases, as a result of which the disc heats up and the metal expands, the load on the engine increases accordingly (at the same position of the handle), the need to manufacture the transition elements for connecting the drive

### **General information on the used sensors and measuring devices**

Force sensor 4508 DST-S-5P-0.05-C4-1R68 (Fig. 15) has been designed to measure static compression forces. Such sensors convert the measured force into an analog normalized electrical signal. This sensor works in compression and has a nominal force of 5 kN, an accuracy category of 0.05 according to GOST 28836-90.

The principle of the sensor is based on the change in the electrical resistance of the strain gauges connected to the bridge circuit during their deformation, which occurs in the places where the strain gauges stick to the elastic element of the sensor under the action of the applied force. The change in the electrical resistance causes an

imbalance of the bridge circuit and the appearance in the diagonal of the bridge an electrical signal that varies in proportion to the load.



Fig. 15 The red arrow indicates the force applied to the sensor.

The power sensor is connected to the weight indicator IVA-1 (Fig. 16). The indicator is designed to convert the input analog signals from a strain gauge sensor and display the weighing results. The values of the applied force to the sensor are displayed on the instrument display in kg·m.

It should be noted that the lever of force application has a length of 500 mm, therefore, when calculating the torque, the instrument reading must be divided into two.



Fig. 16

Diamech 2000 - Laser speed converter KR-0201 (Fig. 17). Non-contact optical speed sensors or tachometer transducers provide for the formation of pulses, the repetition rate of which is proportional to the frequency of passage of the tachometric mark mounted on the element (shaft) of a rotating object, through the sensor sensitivity region.

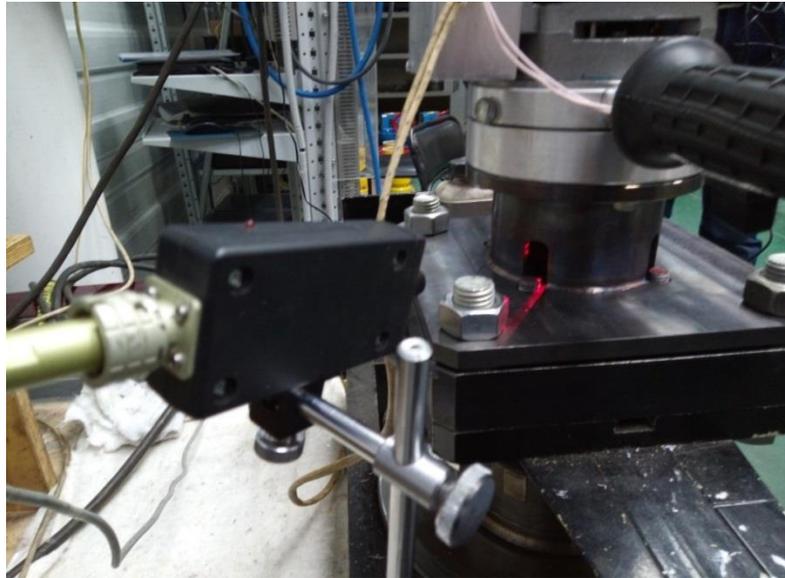


Fig. 17 The laser beam is directed to the window of the transition flange.

The signal from the speed converter is fed to the balancing device Diamech 2000 AGAT-M, the rotational speed of the gearbox shaft is displayed in real time.

A digital multimeter is used to measure electrical parameters (Fig. 18). It is designed to measure voltage and current, the values are displayed on a liquid crystal display. The plug of the power cable of the electric motor is connected to the AC mains (220 V, 50 Hz) directly through a multimeter.



Fig. 18

## Installation of the drive on the stand

Initially, the load stand is designed to measure the torque of the electric actuators of pipeline valves. The plane of the connector is designed specifically for its connection with the stand of Fig. 19.

The MM driver is mounted on the stand, so that the mounting flange is based on the holes in the guide pins, and both ends of the couplings engage the Fig. 23. The fasteners are four M20 bolts and nuts, which ensure a secure fit on the stand.



Fig. 19

Therefore, there is a need to design and manufacture a transition flange (Fig. 20) and a coupling half (Fig. 21) for the MM drive.

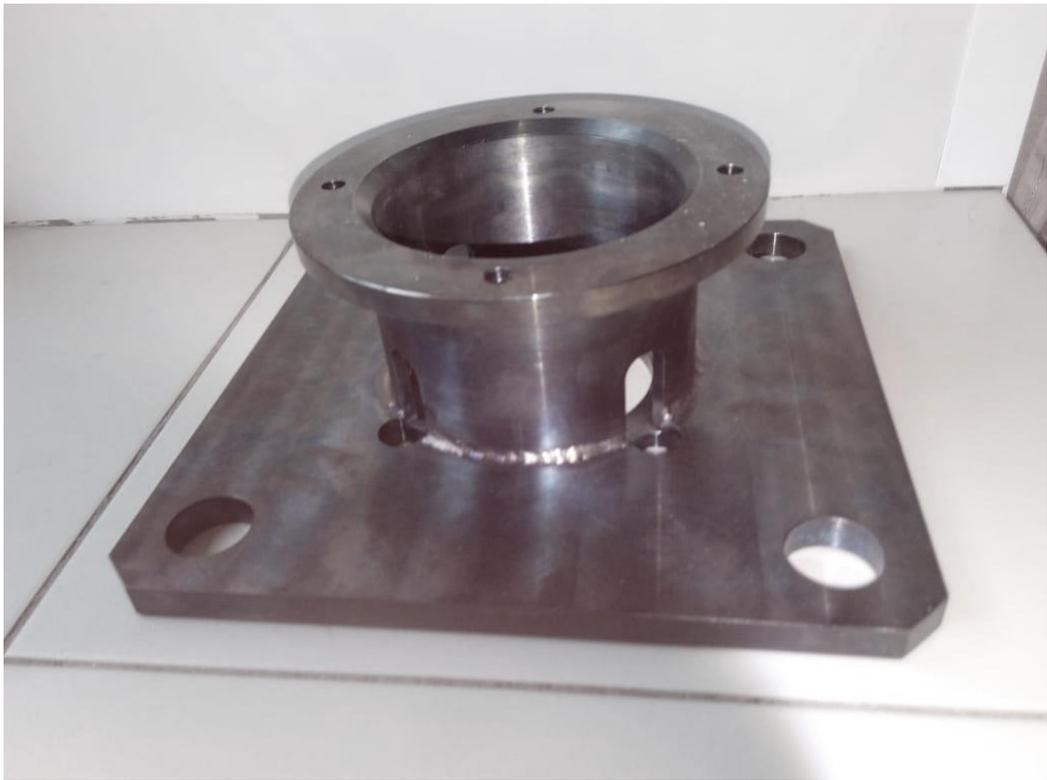


Fig. 20



Fig. 21

Transitional elements assembled with a drive, see. (Fig. 22)



## **1.9. The experiment methodology**

One of the requirements for wave transmissions is to increase their mechanical characteristics, including efficiency. In order to determine the efficiency of the transmission, it is necessary to conduct studies aimed at measuring the torque depending on the number of revolutions of the output shaft. On the basis of the obtained data, an opinion on the compliance of the mechanical characteristics calculated theoretically and the values obtained experimentally is given.

During testing, the drive must ensure stable performance at rated loads, briefly withstand the maximum allowable torque values on the output shaft and current in the circuit, while maintaining high efficiency.

After installing the drive on the stand and connecting it to AC power, it was necessary to perform a test run. Sometimes an electric motor worked without load, without extraneous sounds, seizures and overheating were found. Then, gradually increasing the load on the output shaft of the drive, it was found that the maximum allowable value of the resistance moment, at which there is no danger of breakage, is 25.7 Nm. It should be noted that when the load is higher than the allowable for the electric motor, the VPTK gearbox sustained a load of 42.3 Nm, but the electric motor in such modes cannot work for a long time, the reason is the high current consumption (above 7A) resulting in overheating of the stator winding.

### **Experimental determination of the efficiency**

After the drive has proven its working capacity, it is necessary to conduct an experiment. The experiment consists of 15 measurements. The first measurement was made without load at the maximum speed of the output shaft. Then, smoothly increasing the moment of resistance on the bench, the values of current, voltage, frequency of rotation, torque on the sensors and measuring devices at a constant frequency of rotation were recorded. The first ten measurements were with increments of 5 rpm, the other five measurements - with increments of 10 rpm in the downward direction. The experimental data are presented in Table 4.

Table 4 - Experimental Data

No	U, ~220V	I, A	P, W	n, rpm	$\omega$ , rad/s	T, N · m	N, W
1	223	5,1	1137,3	260	27,23	1,5	40,85
2	224	5,3	1187,2	255	26,70	10,2	272,34
3	223	5,4	1204,2	250	26,18	13,5	353,43
4	223	5,6	1248,8	245	25,66	15,7	402,86
5	222	5,9	1315,7	240	25,13	17,6	442,29
6	223	6,2	1382,6	235	24,61	18,9	465,13
7	223	6,4	1427,2	230	24,09	22,1	532,39
8	222	6,7	1487,4	225	23,56	23,4	551,30
9	223	7	1583,3	220	23,04	25,7	592,13
10	222	7,4	1642,8	215	22,51	27,8	625,78
11	223	7,6	1694,8	210	21,99	29,5	648,71
12	223	8,1	1806,3	200	20,94	32,5	680,55
13	223	8,2	1828,6	190	19,90	34,3	682,57
14	223	8,4	1873,2	180	18,85	36,8	693,68
15	223	8,6	1917,8	170	16,76	42,3	708,95

From the table it is seen that with increasing load on the output shaft of the drive speed decreases, while the current consumption of the motor increases.

Let us determine the efficiency of the drive in each dimension using the formula (9.2)

Table 5 - Drive efficiency

No	1	2	3	4	5	6	7
$\eta$	0,036	0,229	0,293	0,323	0,336	0,336	0,336
8	9	10	11	12	13	14	15
0,370	0,374	0,381	0,383	0,377	0,373	0,370	0,369

Determine the efficiency of the gearbox in each dimension by the formula (12)

Table 6 - the efficiency of gearbox VPPTK

№	1	2	3	4	5	6	7
$\eta$	0,051	0,327	0,419	0,461	0,480	0,480	0,480
8	9	10	11	12	13	14	15
0,529	0,534	0,544	0,547	0,539	0,533	0,529	0,527

### Results analysis

To obtain the torque on the output shaft of the MM electric drill, created by the friction brake at various rotational speeds, fifteen measurements were used. The dependence of efficiency on the level of loading is determined in the operating range of the engine from 8 to 30 Nm.

A straight line was chosen as the following approximating function  $y = 0,172 + 0,0066x$ . Direct coefficients were determined using inline functions of «MathCAD». The region of the points and the approximating straight line are presented in fig. 24.

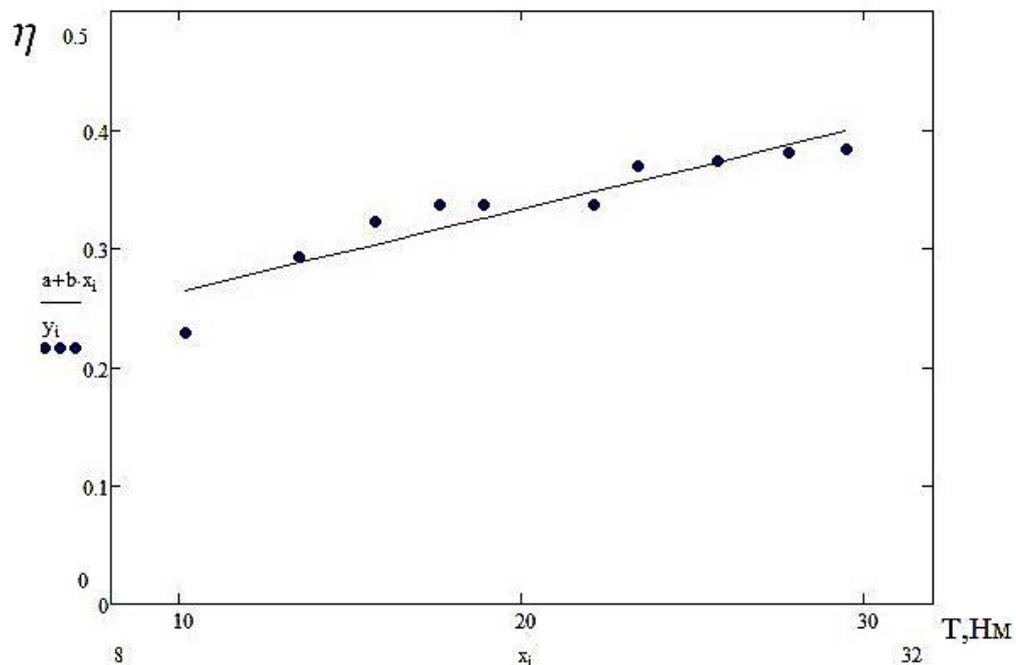


Fig. 24 - Graph of drive efficiency versus torque and output shaft speed

As can be seen from Figure 24, the efficiency increases with increasing torque on the output shaft and reaches a maximum value of 0.383 at 29.5 Nm. This is

explained by the fact that with increasing load the share of friction losses becomes less relative to the total transmitted power. When the load increases more than 30 Nm, the efficiency indicator starts decreasing as a result of motor overload. In this regard, the maximum zone is observed on the graph. The limited range of braking torques ( $T < 30$  Nm) is due to the strength capabilities of the tested prototype of the PM electric drill drive. The experiment has shown that with a better (industrial) production of the VPPTK gearbox, it is possible to achieve drive efficiency values exceeding 38.3%.

### **1.11. Conclusion**

An electric drill on the basis of a 1.5 kW collector electric motor with a gearbox VPTK having a gear ratio of 59, the maximum efficiency value of 0.38, was achieved experimentally with a load of 29.5 Nm.

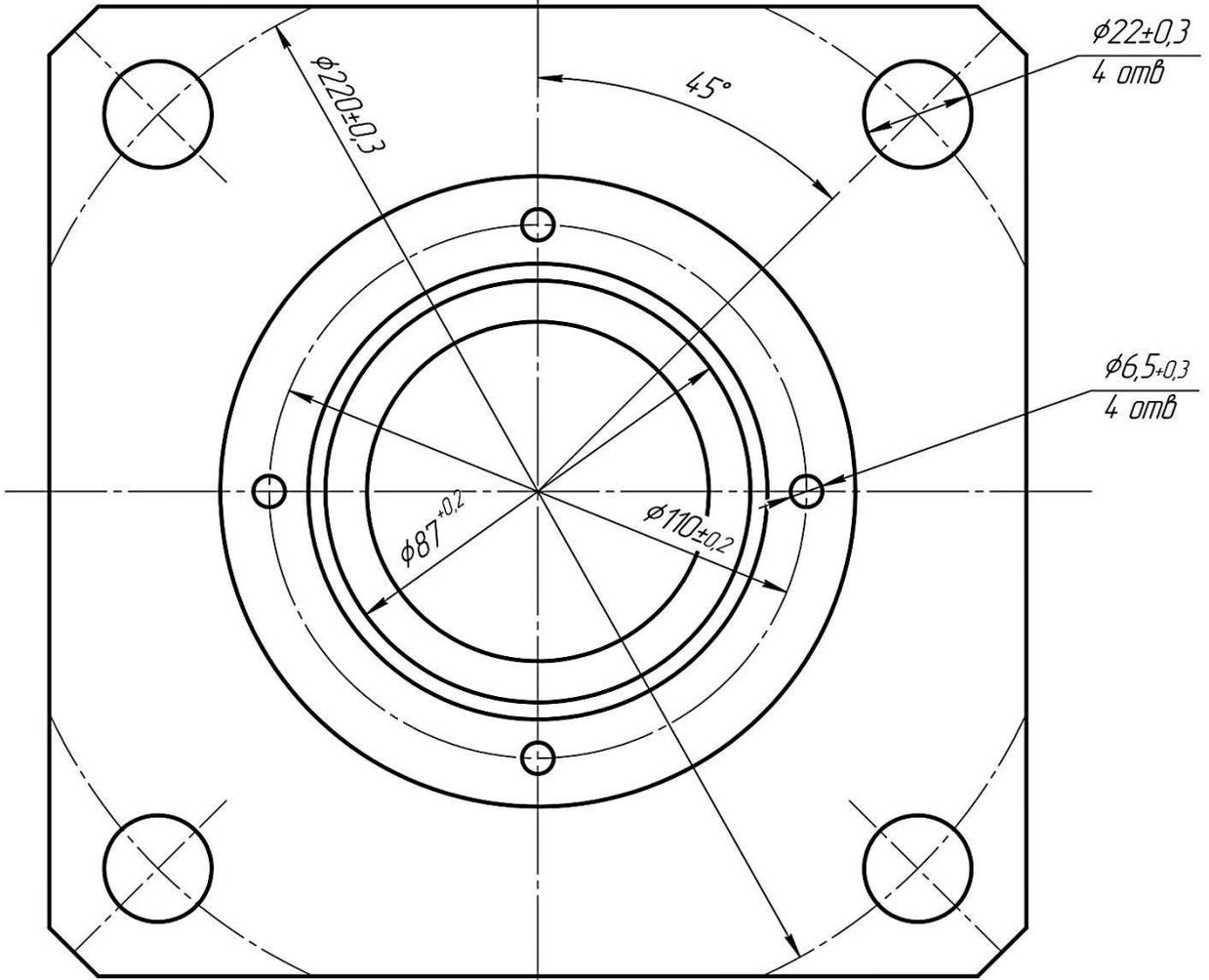
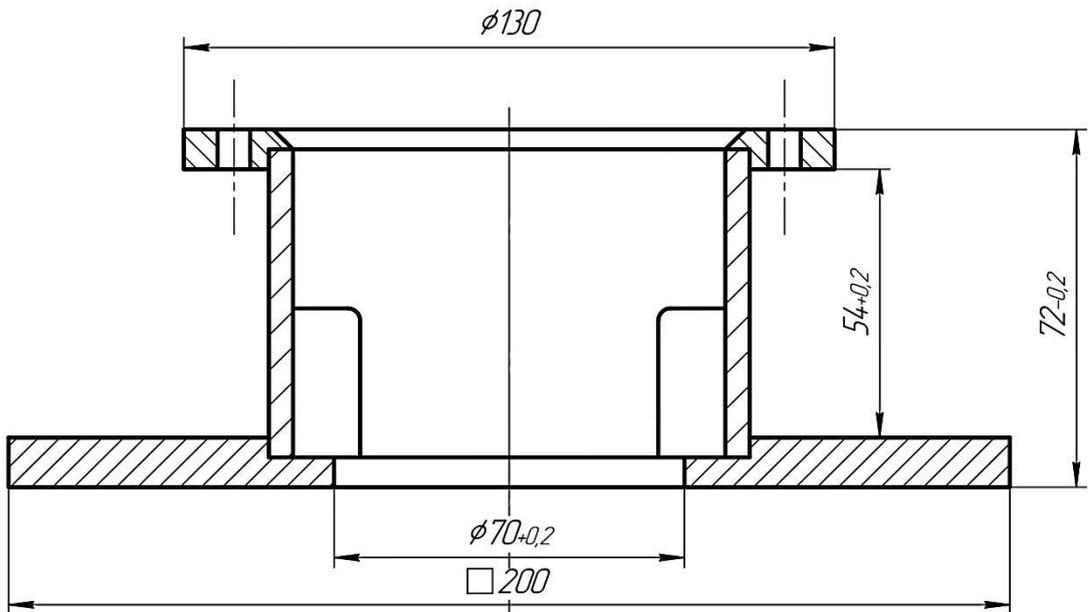
In comparison with the estimated drive efficiency factor of 0.54, the experimental figure was 1.4 times less. Various factors could affect the measurement error; low precision manufacturing gearbox parts; poor build quality.

As a result of the experiment, the problems of adjusting the drive power have been identified. From the effects of vibration, especially at high speeds, there is an uncontrolled rotation of the power regulator. Also, during an intensive work, the engine may overheat and the body parts may be heated to high temperatures of about 120 ° C. Therefore, there is a need to install a safety mechanism that prevents the growth of current consumption above 7A, and the body parts must be securely covered with protective elements.

In the process of testing on a load stand, the drive showed reliable operation and transmits the moment twice the nominal. When installing a more powerful electric motor, it is possible to increase the efficiency and extend the operating load range of the drive.

**Приложение Б**  
**(справочное)**

Сборочный чертеж детали  
«Переходной фланец»



Инд. №					
подп.	подп.	подп.	подп.	подп.	подп.
Изм.	Изм.	Изм.	Изм.	Изм.	Изм.
Лист	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Разраб.	Разраб.	Разраб.	Разраб.	Разраб.	Разраб.
Проб.	Проб.	Проб.	Проб.	Проб.	Проб.
Т.контр.	Т.контр.	Т.контр.	Т.контр.	Т.контр.	Т.контр.
Н.контр.	Н.контр.	Н.контр.	Н.контр.	Н.контр.	Н.контр.
Чтб.	Чтб.	Чтб.	Чтб.	Чтб.	Чтб.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Проб.				
Т.контр.				
Н.контр.				
Чтб.				

Сборочный чертеж		
Переходной фланец		
Лист	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

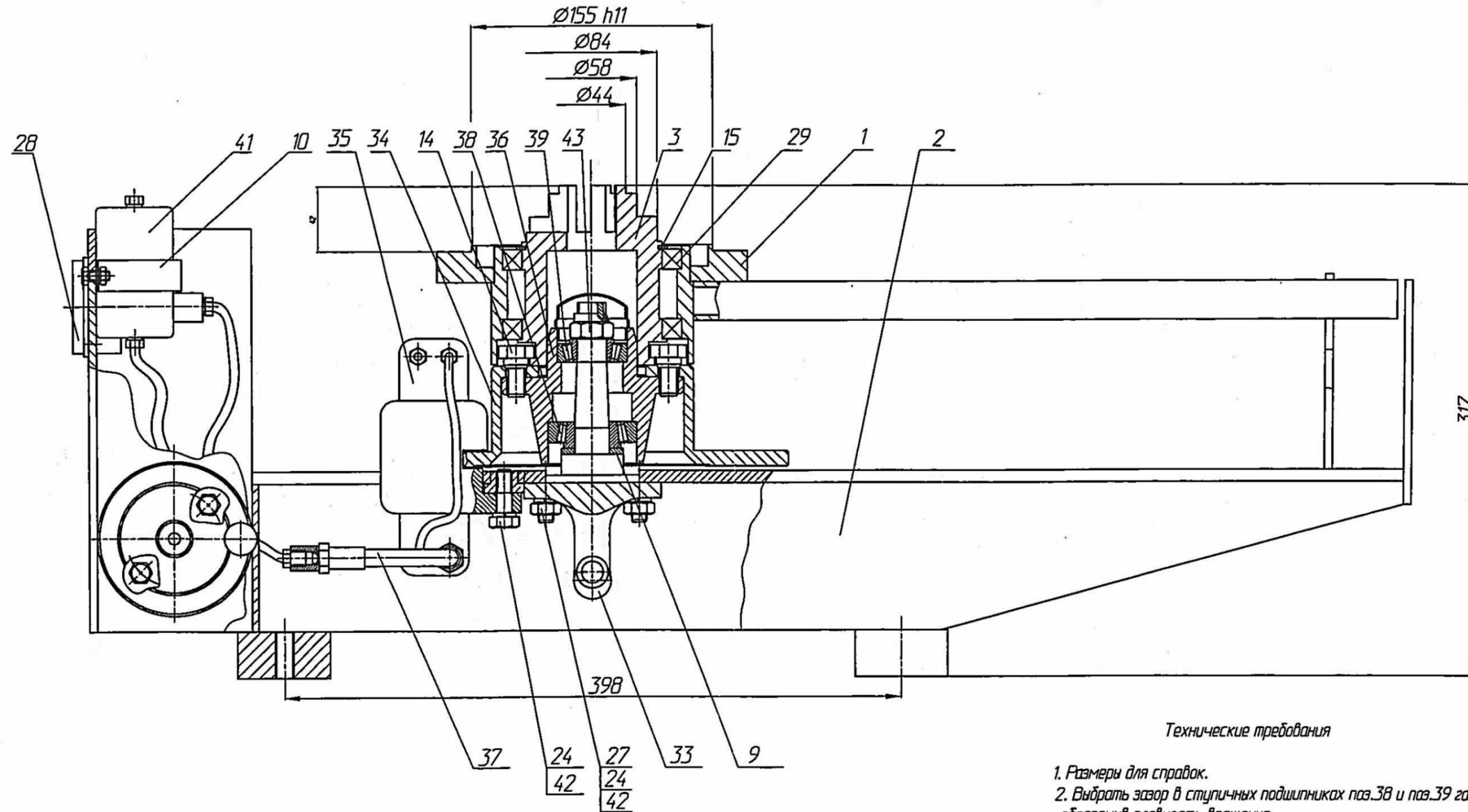
**Приложение В**  
**(справочное)**

Комплект конструкторской документации  
«Стенд нагрузочный» СИ.111.00.000.СБ

СИ.111.00.000СБ

Технические характеристики

1. Тип соединительного места (под электропривод) – А, Б, В
2. Диапазон испытательного момента, Н·м – 10...1000
3. Коэффициент к показаниям индикатора УСС-200 – 1/2



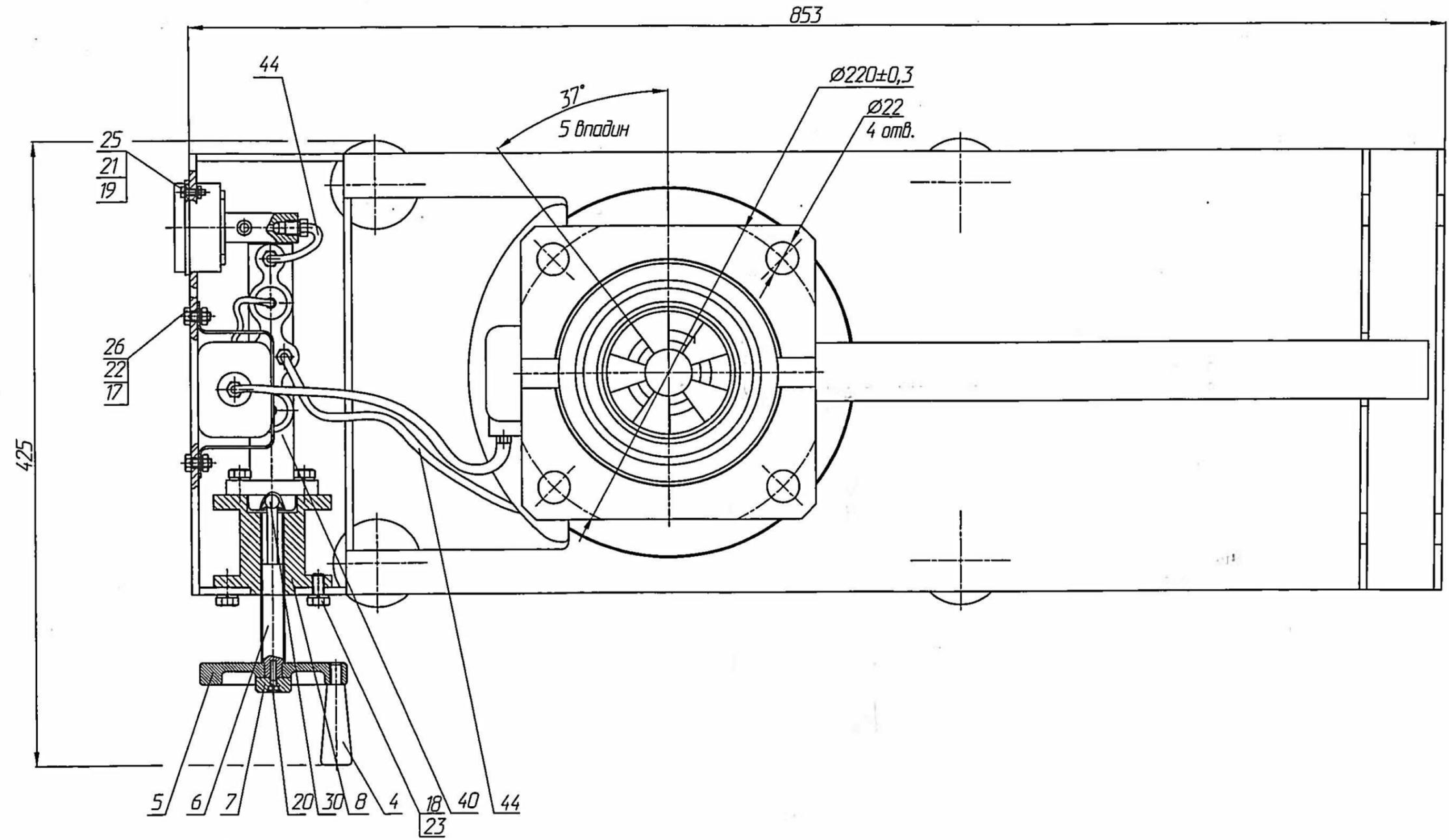
Технические требования

1. Размеры для справок.
2. Выбрать зазор в ступичных подшипниках поз.38 и поз.39 гайкой поз.43, обеспечить плавность вращения.
3. Застопорить гайку поз.43 кернением в паз кулака поворотного поз.33.
4. Прокатать гидравлическую систему для удаления воздуха, используя гидравлической жидкостью поз.45.

СИ.111.00.000СБ					Лист	Масса	Масшт
Стенд нагрузочный (А, Б, В) (Сборочный чертеж)							1:2,5
Изм	Лист	И докум	Подп	Дата	Лист 1	Листов 2	
Разраб		Пронин					
Проб		Левиндов					
Т.контр		Левиндов					
Нач.КБ		Левиндов					
Н.контр		Еренин					
Утв		Баканов					

Лист							
1	2	3	4	5	6	7	8

СИ.111.00.000СБ



И.И.И.И.	И.И.И.И.	И.И.И.И.	И.И.И.И.
----------	----------	----------	----------

Изм	Лист	И докум	Подп	Дата	СИ.111.00.000СБ	Лист 2
-----	------	---------	------	------	-----------------	-----------

Формат А2

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
				<u>Документация</u>						
А3			СИ.111.00.000 СБ	Сборочный чертеж	2					
				<u>Сборочные единицы</u>						
А4	1		СИ.111.01.000	Платформа	1					
А4	2		СИ.111.02.000	Основание	1					
				<u>Детали</u>						
А3	3		СИ.111.00.001	Муфта	1					
А4	4		СИ.111.00.002	Ручка	1					
А4	5		СИ.111.00.003	Маховик	1	Допускается замена на дет. поз. 11				
А4	6		СИ.111.00.004	Шток	1	Допускается замена на дет. поз. 12				
А4	7		СИ.111.00.005	Фиксатор	1					
А4	8		СИ.111.00.006	Корпус	1					
А4	9		СИ.111.00.013	Кольцо	1					
А4	10		СИ.111.00.014	Хомут	1					
А4	11		СИ.111.00.017	Маховик	1					
А4	12		СИ.111.00.018	Шток	1					
А4	14		СИ.111.00.011	Болт	4					
А4	15		ТЭП.001.00.00.018	Кольцо стопорное	1					
			СИ.111.00.000							
			3	Зач	234	26.08.14				
			Изм.	Лист	№ докум	Подпись				
Инв. № подл	Разраб.		Слободчиков		26.08.2014	Литера	Лист	Листов		
	Пров.		Демидов		28.14				1	4
	Нач. КБ		Демидов		28.14					
	Утв.		Давыдов		28.14					
Стенд на грузочный (А, Б, В)						ООО НПО "СибМаш"				

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Стандартные изделия</u>		
		17		Болт М6х14.58.016		
				ГОСТ 7805-70	2	
		18		Болт М8х16.58.016		
				ГОСТ 7798-70	4	
		19		Винт М4х14.58.016		
				ГОСТ 1491-70	4	
		20		Винт М4х16.58.016		
				ГОСТ 1491-72	1	
				Шайба ГОСТ 6402-70		
		21		4 65Г 016	4	
		22		6 65Г 016	6	
		23		8 65Г 016	8	
		24		10 65Г 016	10	
				Гайки ГОСТ 5915-70		
		25		М4.58.016	4	
		26		М6.58.016	2	
		27		М10.58.016	4	
		28		Манометр МП2-У		
				ГОСТ 8338-75	1	
		29		Подшипник 1000818		
				ГОСТ 8338-75	2	

Подп. и дата

Инв. № д/с

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

1 Зам 664  
Изм Лист № докум  
11.03.12

СИ.111.00.000

Лист 2

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		30		Шарик II 9,525 Н		
				ГОСТ 3722-81	1	
				<u>Прочие изделия</u>		
		33		Кулак поворотный левый		
				2101-07		
				2101-3001015	1	
		34		Диск переднего тормоза		
				2101-3501070	1	
		35		Суппорт левый 2101-07		
				2101-3501011-02	1	
		36		Ступица переднего колеса		
				2101-3103012	1	
		37		Шланг тормозной к распре-		
				лителю 2101-3506085	1	
				Подшипники ступицы		
				переднего колеса ВАЗ 2107		
		38		SK6-7805	1	
		39		LM11949/LM11910	1	
		40		Цилиндр главный тормозной		
				2101-3505008	1	

Подп. и дата

Инв. № д/у

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

З	Зам	664		11312	СИ.111.00.000	Лист
Изм	Лист	№ докум	Изд	Вмест		3

Калькуляция

Формат А4

