

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
«Промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта»

Кафедра
«Транспортные машины»

Специальность: 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Специализация: Автомобили и тракторы

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему:

**Эскизный проект платформы специального назначения с разработкой
мотор-колеса**

Студент _____ Сорокин Павел Станиславович
(подпись, дата)

Руководитель _____ К.Т.Н., доцент Генералова А.А.
(подпись, дата)

Нормоконтролёр _____ К.Т.Н., доцент Жук А.П.
(подпись, дата)

Рецензент _____
(должность, место работы) (подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от
_____ № _____)

Заведующий кафедрой _____ д.т.н., профессор Салмин В.В.
(подпись, дата)

Работа защищена с оценкой ____ (протокол заседания ГЭК от
_____ № _____)

Секретарь ГЭК _____ К.Т.Н., доцент Жук А.П.
(подпись, дата)

Пенза 2020 г.

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА «ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой «ТМ»
д.т.н., проф. _____ В.В. Салмин
подпись
« 08 » февраля 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на дипломное проектирование

Студент гр. 15МН1 факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта, специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, специализация «Автомобили и тракторы»

Сорокин Павел Станиславович

Руководитель проекта: к.т.н., доцент кафедры «ТМ», А.А. Генералова

Время дипломного проектирования: с 11.02.2020 г. по 01.06.2020 г.

Место преддипломной практики: ООО «ГАКС-РЕМ-АРМ», г. Пенза

Тема проекта: «Эскизный проект платформы специального назначения с разработкой мотор-колеса»

Тема утверждена приказом ПГУ № 1422/о от 26.12.2019

Техническое задание на проект (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.). Разработать тяговое компактное мотор-колесо для платформы специального назначения.

Объем и содержание основной части проекта

Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):

- проведение патентных исследований;
- кинематический расчет зубчатых передач редуктора разработанного мотор-колеса;
- расчет на прочность проектируемых деталей редуктора;
- прочностной расчет корпуса редуктора;
- разработка технологического процесса изготовления ступицы;
- вопросы безопасности жизнедеятельности;
- разработка инструкции по эксплуатации мотор-колеса.

Графическая часть (перечень и содержание чертежей, плакатов)

– структура дипломного проекта	1л А1
– актуальность темы	1л А1
– патентно-информационное исследование	1л А1
– общий вид платформы специального назначения	1л А1
– 3D модель мотор-колеса	1л А1
– сборочный чертеж мотор-колеса	1л А1
– сборочный чертеж редуктора мотор-колеса	1л А1
– чертеж солнечной шестерни	1л А3
– чертеж сателлита	1л А3
– чертеж оси сателлита	1л А3
– чертеж коронного колеса	1л А2
– чертеж корпуса редуктора	1л А2
– напряженно-деформированное состояние корпуса редуктора	1л А1
– чертеж ступицы	1л А3
– технологический процесс на изготовление ступицы	1л А1

Литература:

- патенты по тематике дипломного проекта;
- Артёмов И.И., Балакишин А.Б. и др. «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы. Курсовое и дипломное проектирование: методика и общие требования». – Пенза: ПГУ, 2004 г.

Консультанты и содержание дополнительных разделов (указывается конкретное содержание задания)

По конструкции устройства: «Разработка мотор-колеса платформы специального назначения»

Консультант: к.т.н., доцент _____ А.А. Генералова
подпись

По технологии: «Технологический процесс изготовления ступицы»

Консультант: к.т.н., доцент _____ А.А. Генералова
подпись

По практической части: «Разработка инструкции по эксплуатации»

Консультант: к.т.н., доцент _____ А.А. Генералова
подпись

По безопасности жизнедеятельности: «Методы безопасной эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом»

Консультант: к.т.н., доцент _____ А.А. Генералова
подпись

Дата выдачи задания 08.02.2020 г.

Руководитель дипломного проекта: к.т.н., доцент _____ А.А. Генералова
подпись

Задание к исполнению принял студент гр. 15МН1 _____ П.С. Сорокин
подпись

« 08 » февраля 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель проекта

_____ Генералова А.А.
подпись
« 08 » февраля 2020 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
выполнения дипломного проекта

Наименование выполняемой работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении (подпись руководителя, консультанта)
	начало	окончание	
1	2	3	4
1. Получение задания на ДП, его уяснение и беседа с руководителем	8.02.2020	10.02.2020	
2. Подготовка к выполнению задания	11.02.2020	15.02.2020	
3. Подбор и изучение патентов, литературы. Начало работы над ДП	20.02.2020	21.02.2020	
4. Обоснование проекта	22.02.2020	25.02.2020	
5. Информационно-патентный поиск	26.02.2020	26.03.2020	
6. Создание 3D-модели разработанного мотор-колеса	26.03.2020	5.04.2020	
7. Сборочный чертеж разработанного мотор-колеса	6.03.2020	13.03.2020	
8. Сборочный чертеж привода мотор-колеса	27.03.2020	29.03.2020	
9. Чертежи деталей	1.04.2020	25.04.2020	
10. Кинематический расчет привода разработанного мотор-колеса	25.04.2020	2.05.2020	
11. Расчет на прочность проектируемых деталей	2.05.2020	9.05.2020	

Продолжение календарного плана

Наименование выполняемой работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении (подпись руководителя, консультанта)
	начало	окончание	
1	2	3	4
<i>12. Руководство по эксплуатации разработанного мотор-колеса</i>	<i>18.05.2020</i>	<i>25.05.2020</i>	
<i>13. Структура дипломного проекта</i>	<i>26.05.2020</i>	<i>27.05.2020</i>	
<i>14. Общий вид мотор-колеса</i>	<i>27.05.2020</i>	<i>29.05.2020</i>	
<i>15. Предоставление ПЗ и чертежей руководителю на просмотр и подпись</i>	<i>1.06.2020</i>	<i>2.06.2020</i>	
<i>16. Полное завершение всех работ и представление заведующему кафедрой на подпись ПЗ (совместно с чертежами, отзывом и рецензией)</i>	<i>20.06.2020</i>		
<i>17. Подготовка к защите проекта</i>	<i>21.06.2020</i>		
<i>18. Защита дипломного проекта</i>	<i>По графику</i>		

Студент группы 15МН1 _____ *Сорокин П.С.*
« 08 » февраля 2020 г. *подпись*

УДК - 629.1.02

Сорокин П.С. «Эскизный проект платформы специального назначения с разработкой мотор-колеса» Дипломный проект. – Пенза: 2020 – ПГУ, 116 страниц, 19 таблиц, 31 рисунков.

Ключевые слова:

АВТОМОБИЛЬ, МОТОР-КОЛЕСО, ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА, МОТОР-РЕДУКТОР.

Настоящий дипломный проект представляет собой законченную расчетно-графическую работу, целью которой является разработка компактного тягового мотор-колеса, который сочетает в себе планетарный редуктор и электродвигатель.

Работа содержит: информационно-патентное исследование; проектирование и расчет планетарного редуктора, напряженно-деформированное состояние корпуса редуктора; анализ технологичности оригинальной детали, технологический процесс на изготовление оригинальной детали, опасные факторы, меры пожарной безопасности при изготовлении редуктора и способы их снижения; методы безопасной эксплуатации и инструкцию по эксплуатации мотор-колеса а также технико-экономический расчет проектируемого мотор-колеса.

Sorokin P. S. "Draft design of a special purpose platform with the development of a motor wheel" Diploma project. - Penza: 2020-PSU, 116 pages, 19 tables, 31 figures.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат			
Разраб.	Сорокин П.С.				Эскизный проект платформы специального назначения с разработкой мотор-колеса	Лит.	Лист
Провер.	Генералова А.А.						Листов
							4
							116
Н. контр.	Жук А.П.					Кафедра «ТМ», гр 15МН1	
Утв.	Салмин В.В.						

Keywords:

CAR, MOTOR WHEEL, ELECTRIC MOTOR, ELECTRIC DRIVE, ELECTRIC VEHICLE, MOBILE PLATFORM, GEAR MOTOR.

This diploma project is a complete computational and graphical work, the purpose of which is to develop a compact traction motor wheel, which combines a planetary gearbox and an electric motor.

The work contains: information and patent research; design and calculation of planetary gear, the stress-strain state of the housing; analysis of technological original parts, technical and economic section, process for the manufacture of original parts; safety hazards, fire safety measures in the manufacture of gear and ways to reduce them; methods of safe operation and instruction manual for the motor-wheel.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Состояние вопроса	10
1.1 Актуальность разработки	10
1.2 Мотор-колесо	11
1.3 патентно-информационный анализ	14
1.4 Оценка технического уровня аналогов	17
1.5 Разработка нового технического решения по исследуемой задаче	18
Выводы	22
2 Конструкторский раздел.	23
2.1 Описание разрабатываемой конструкции мотор-колеса платформы специального назначения.	23
2.2 Расчет планетарного редуктора. Общие сведения.	33
2.3 Кинематический расчет привода.	34
2.4 Определение моментов.	42
2.5 Выбор материалов зубчатых колес и определение допускаемых напряжений.....	42
2.6 Определение основные размеров зубчатых колес редуктора и межосевого расстояния.	45
2.7 Проверочный расчет зубьев колес по контактным напряжениям.	49
2.8 Проверочный расчет зубьев колес по изгибным напряжениям.....	50
2.9 Проверочный расчет, выбор материала и твердости коронного колеса.	52
2.10 Опоры сателлитов.	54
2.11 Выбор подшипников сателлитов.....	55
2.12 Смазка редуктора.	57
2.13 Манжетное уплотнение.....	58
2.14 Проверочный расчет корпуса редуктора.	59
Выводы.	68

3 Технологический раздел.	69
3.1 Описание и назначение детали - ступица.	69
3.2 Материал детали, его свойства и химический состав.	69
3.3 Анализ технологичности конструкции детали.	70
3.4 Выбор и обоснование типа производства.	73
3.5 Выбор и обоснование принятого варианта заготовки.	76
3.6 Проектирование маршрутного технологического процесса изготовления детали – ступица.	77
Выводы.	78
4 Безопасность жизнедеятельности.	80
4.1 Экологическая безопасность.	82
4.2 Требования к платформе специального назначения с разрабатываемым мотор-колесом.	82
4.3 Требования безопасности и рекомендации по управлению платформой специального назначения с мотор-колесом.	83
4.4 Мероприятия по безопасной эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом.	83
4.5 Пожарная безопасность.	84
Выводы.	86
5 Инструкция по эксплуатации.	87
5.1 Управление платформой специального назначения с мотор-колесом.	88
5.2 Общие требования к эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом.	91
5.3 Технико-экономическое обоснование мотор-колеса.	93
5.4 Комплексный метод оценки (технический уровень продукции).	94
5.5 Расчет себестоимости калькулированием.	97
5.6 Прогнозирование цены проектируемого изделия	105
Выводы.	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	107

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 108

ПРИЛОЖЕНИЕ А (Обязательное)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Обязательное)

ПРИЛОЖЕНИЕ В (Обязательное)

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы мотор-колесо имело достаточную тягу для перевозки массивных грузов, при этом оставалось компактным, в данном дипломном проекте предлагается разработать мотор-колесо для платформы специального назначения с планетарным редуктором для повышения момента и более компактного расположения. Мотор-колесо включает в себя электродвигатель, планетарный редуктор, тормозной механизм и колесный диск с безвоздушной покрышки из литой резины.

Установка тягового электродвигателя ведет к увеличению габаритов мотор-колеса из-за больших размеров самого электродвигателя. Установка электродвигателя с цилиндрическим или коническим редуктором также увеличивает габариты.

В дипломном проекте в качестве редуктора предлагается выбрать планетарный редуктор. Он сам по себе имеет меньшие габаритные размеры по сравнению с тем же цилиндрическим редуктором.

Разработка заключалась в том, чтобы интегрировать электродвигатель внутрь планетарной передачи, избавившись от дополнительных валов, что дополнительно уменьшает габариты мотор-колеса, и разработать крепление обеспечивающее передачу крутящего момента от редуктора на колесный диск, для движения платформы.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Состояние вопроса

1.1 Актуальность разработки

На сегодняшний день у людей всё больше возникает вопрос об экологичности. Данная проблема набирает серьезные масштабы глобального уровня. Уже сегодня многие автомобильные заводы всерьез задумываются о замене ДВС на электродвигатели для разрабатываемых транспортных средств. Электродвигатель по сравнению с ДВС обладает рядом преимуществ, во-первых, как говорилось ранее, это экологичность, во-вторых, бесшумность, в-третьих, практически максимальный крутящий момент на малых оборотах. Данные преимущества также привлекли и разработчиков специальных транспортных средств (грузовых платформ, специальных патрульных транспортных средств, которые управляются дистанционно), где данные преимущества являются наиболее важными.

Позже инженеры-конструкторы придумали способ избавиться от длинных приводных валов, дифференциалов, снизить массу и освободить полезное место под дополнительный багажный отсек, разместив электродвигатель внутри каждого из приводных колес. Так появилось мотор-колесо. Но для грузовых платформ, позволяющих перевозить грузы практически равные собственной массе, необходимо устанавливать тяжелые габаритные тяговые электродвигатели. Инженеры придумали способ избавиться и от этой проблемы и решили внедрять внутрь колеса редуктор, для того чтобы повысить момент на колесе. Но иногда и этого не достаточно.

Актуальной задачей по устранению этих недостатков является создание компактного мотор-колеса с большим крутящим моментом.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Мотор-колесо

Мотор-колесо – разновидность ведущего колеса, комплексный агрегат, в котором объединены непосредственно колесо, электродвигатель, редуктор и тормозная система [1].

Обязательной составляющей любого мотор-колеса является автоматическая система управления, которая обеспечивает согласованную работу всех приводов. Устанавливается, как правило, в подвешенном к рамекронштейне (в случае, когда колесо не является управляемым), либо в установленном в поворотной цапфеподшипнике (в случае, когда колесо является одновременно ведущим и управляемым). Питается энергией от двигателя внутреннего сгорания через электромеханическую трансмиссию (преимущественно на автомобильной технике, главным образом тяжёлой), от контактной сети (на троллейбусах и троллейвозах) или от аккумулятора (на электромобилях и электровелосипедах, либо, в качестве дополнительного источника энергии, на автомобильной технике с двигателем внутреннего сгорания, такой как гибридные автомобили, или троллейбусах).

Существует два режима работы мотор-колеса – тяговый и генераторный. В тяговом режиме вращение передаётся с вала якоря электродвигателя, работающего в двигательном режиме, через редуктор к внутреннему зубчатому венцу ведущего колеса; в генераторном режиме, используемом для электрического торможения, электродвигатель переходит в генераторный режим работы, а электроэнергия преобразуется в тепло на тормозном реостате (реостатное торможение) либо возвращается в электрическую сеть или применяется для зарядки аккумуляторов (рекуперативное торможение).

Электрические мотор-колеса обладают рядом веских преимуществ. В первую очередь – это отсутствие множества сложных и тяжелых передаточных механизмов между двигателем и колесом – сцепления, трансмиссии, приводных валов и дифференциалов. Во-вторых, отменная

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

динамика: компактные и легкие электрические моторы способны развивать максимальный крутящий момент сразу же, как только на них подаётся питание. В-третьих, управляемое мотор-колесо делает автомобиль чрезвычайно маневренным – ведь все колеса могут вращаться с разной скоростью и даже в разных направлениях. Платформа способна разворачиваться на 360 градусов, парковаться в самых сложных условиях и мгновенно адаптироваться к качеству дорожного покрытия. В-четвертых, значительно упрощается конструкция важнейшей для электромобилей системы регенерации энергии торможения. Ну и в-пятых, ничто не сможет сравниться с мотор-колесом в обеспечении активной безопасности движения – все продвинутые электромеханические алгоритмы типа *ABS*, *ESP*, *Traction Control*, *Brake Assist* и другие вспомогательные системы управления [2].

В зависимости от транспортного средства и сферы эксплуатации используются следующие виды мотор-колес:

- 1) Мотор-колесо с прямым приводом или безредукторное.



- 1 – колесо; 2 – ротор; 3 – ступица колеса; 4 – статор; 5 – защитный кожух;
6 – поворотный кулак.

Рисунок 1.1 – Безредукторное мотор-колесо

Это прямоприводные движки, отличающиеся великолепной надёжностью и долговечностью, простотой конструкции, нулевым люфтом, тихоходностью и повышенной жёсткостью при нагрузках. Вдобавок, данные модификации могут функционировать как генератор, при замедлении. Они вырабатывают рекуперативную энергию, которая рассеивается в приводе и снова поступает к аккумуляторной батарее.

Однако в этом случае имеет место и немаловажный нюанс: для задействования функции рекуперативного торможения, требуется чтобы контроллер предоставлял возможность выполнения такой функции электромотором. Редукторные модификации, в роли генератора, к сожалению, выступать не могут.

Но в то же время безредукторные мотор-колеса имеют не малую массу и габариты. Так, масса прямоприводных мотор-колёс в сравнении с редукторными, может быть в два раза большей при одной и той же мощности. Чаще всего этот вид мотор-колеса используют на транспортных средствах повышенной грузоподъемности с тяговым электродвигателем, либо для скоростных модификаций транспортных средств.

2) Редукторное мотор-колесо.

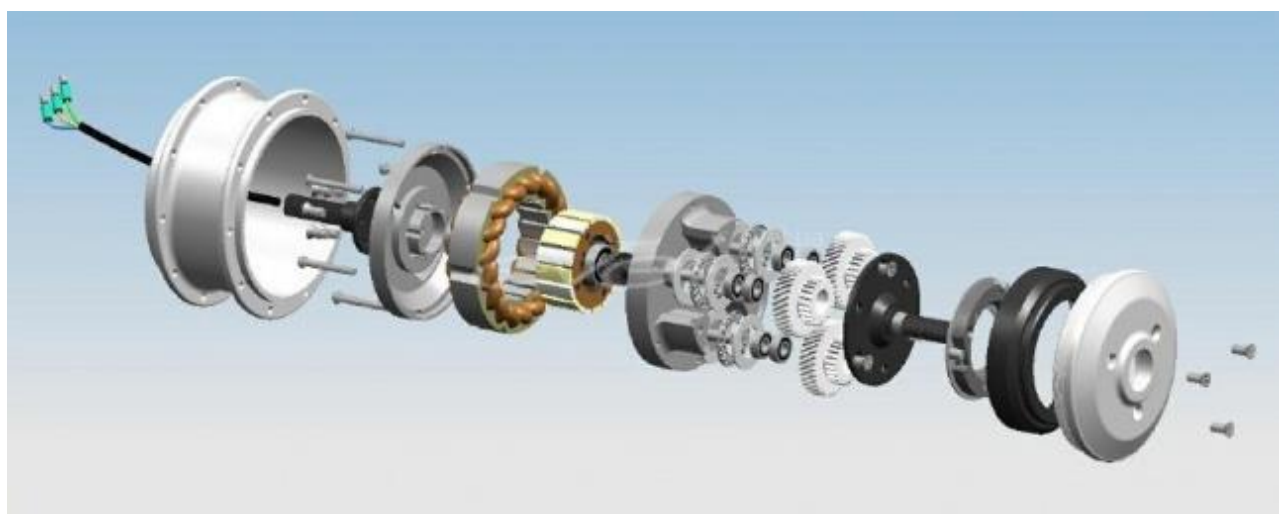


Рисунок 1.2 – Редукторное мотор-колесо

Редукторное мотор-колесо имеет в своём составе механизм, уменьшающий число оборотов (редуктор), а также обгонную муфту, позволяющую колесу вращаться почти свободно при отсутствии тяги. Редукторные моторы лёгкие, как правило, маломощные и раз в несколько лет требующие замену шестерёнок редуктора.

Этот тип мотор-колес наиболее распространен, их используют чаще всего.

Эти мотор-колеса отличаются от первых наличием редуктора, как и следует из названия. Редуктор нужен для повышения крутящего момента. А также, для обеспечения свободного наката, когда электродвигатель отключен. Таким образом, можно получить большую фактическую мощность мотора при меньшей потребляемой мощности. Благодаря этому, редукторные мотор-колеса имеют небольшие размеры и малый вес [4].

1.3 Патентно-информационный анализ

1.3.1 Обоснование необходимости проведения патентных исследований

На сегодняшний день в России наиболее востребованными средствами транспорта на промышленных предприятиях являются передвижные грузовые платформы, как правило, такие платформы оснащены электрическим двигателем. Поворот платформы осуществляется за счет бортовых редукторов, или путем отключения одного из электродвигателей, установленного на ведущих колесах.

На платформах используются электродвигатели, с приводом на одну из осей, или мотор колеса, установленные непосредственно на каждое колесо. Для осуществления управления скоростью движения платформы используется блок управления и датчики, которые позволяют перемещаться вдоль цветной линии, расположенной на дорожном покрытии. Это

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ограничивает перемещение платформы, в связи с загрязнением дорожного покрытия [3].

Как правило, на таких платформах используются безредукторные мотор-колеса с тяговым электродвигателем. Такие электродвигатели имеют большую массу и большие габаритные размеры.

Для устранения этих недостатков необходимо:

- разработать редукторное мотор-колесо для платформы специального назначения;
- снизить габариты мотор-колеса.

Выявить прогрессивные технические решения по данной задаче, которые могут лечь в основу разработки мотор-колеса, можно в результате проведения патентного исследования, чтобы определить достигнутый уровень развития в данной сфере, взять какое-либо конкретное изобретение за основу.

Реализовать данную разработку на внутреннем и внешнем рынках можно только при условии, что она обладает патентной чистотой в отношении стран проверки, которую можно установить только в результате проведения патентной экспертизы.

1.3.2 Описание базового объекта

Мотор-колесо компактное, предназначенное для установки на платформу специального назначения.

Целью исследования является выявление прогрессивных технических решений компактного мотор-колеса с использованием редуктора.

Целью экспертизы патентной чистоты является обеспечение патентной чистоты в отношении России, США, Германии.

Исследование проводится в отношении ведущих стран в области машиностроения Россия, США, Германия.

1.3.3 Определение исследуемого технического решения

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Наименование работы (темы): Разработка компактного мотор-колеса.

Цель: Поиск патентной информации, позволяющей исследовать технический уровень и тенденции использования мотор-колеса на транспортных средствах.

Начало поиска: 12.09.2019 г.

Окончание поиска: по настоящее время.

Определение классов рубрик МПК: B60K 7/00, F16F 7/00 (2006.01), 7B 60K, B60K 17/10.

Глубина поиска: Патентные документы, опубликованные с 2011 г. по 2019 г.

По фондам: Федеральный институт промышленной собственности; Патентное ведомство Соединенных Штатов Америки.

Результаты патентного поиска представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Отобранные патентные документы

№ п/п	Регистрационный номер охранного документа	Страна выдачи патента	Дата публикации
1	US20150144410	США	28.05.2015
2	2633129	Российская Федерация	10.11.2017
3	US20190308447	США	09.04.2019
4	US20190229596	США	25.07.2019
5	0109052	Российская Федерация	10.10.2011

1.4 Оценка технического уровня аналогов

Мотор-колесо Orbis



Рисунок 1.3 – Мотор-колесо от Orbis

Колесо Ring-Wheel от Orbis представляет собой лёгкий алюминиевый диск с покрышкой на нём и размещённым на внутренней части тормозным механизмом. Компактный электродвигатель, вращающий кольцевую шестерню, находится на ступице со смещением и неподвижен. Вся конструкция ступицы мотор-колеса крепится к стандартным рычагам подвески автомобиля. На ней же размещён тормозной суппорт и треугольная система подшипников колеса. Их три: на два нижних опирается масса автомобиля, а третий удерживает обод от наклона во время движения. То есть всё довольно компактно и легко [6].

Преимущества:

1) небольшая масса.

Недостатки:

1) нет защиты механизмов от воздействия внешней среды;

2) громоздкая конструкция.

1.5 Разработка нового технического решения по исследуемой задаче

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Для поиска нового технического решения был выбран «Метод мозгового штурма».

Актуальность рассматриваемого вопроса объясняется тем, что мозговой штурм, как креативный метод решения задач, стимулирует активность и интуитивное мышление людей в процессе поиска идей, предложений; способствует интегрированию накопленной информации и на этой основе значительно повышают эффективность принимаемых решений. Это особенно важно в условиях жесткой конкуренции, когда необходимы инновационные стратегии, неординарные идеи и действия, новые способы поведения. Одно из наиболее важных преимуществ мозгового штурма заключается в том, что во время мозгового штурма поощряется творческое мышление, причем генерирование идей происходит в условиях комфортной творческой атмосферы.

Происходит выход за пределы стандартного мышления. Интерактивное взаимодействие порождает синергический эффект. Чужие идеи дорабатываются, развиваются и дополняются, уменьшается шанс упустить конструктивную идею[9].

Привлекается большое количество идей, предложений, что позволяет избежать стереотипа мышления и отобрать продуктивную идею.

Задачи метода:

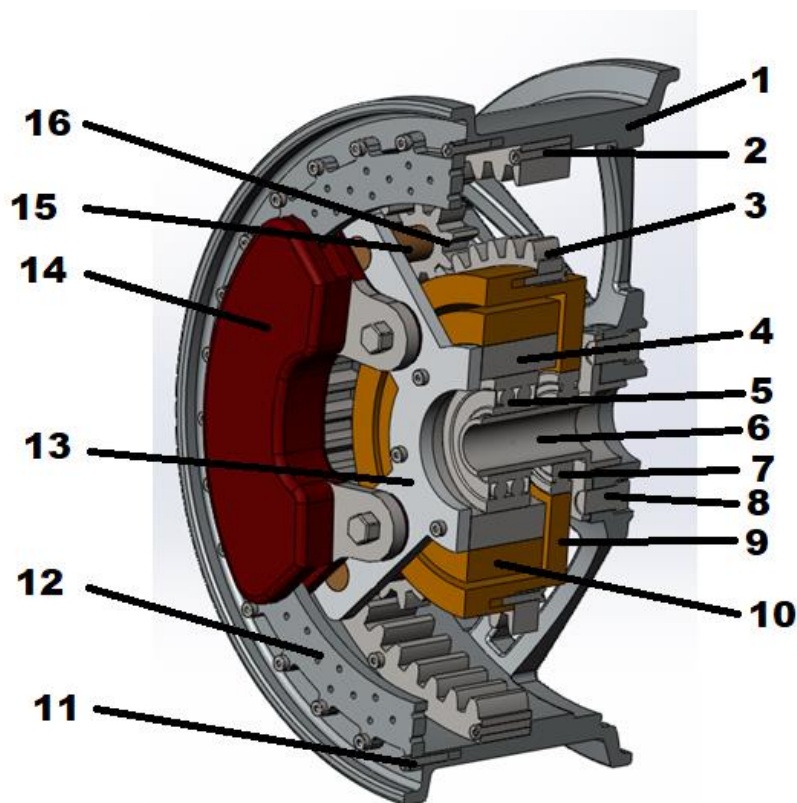
- 1)Предложить идеи на тему: «Компактного мотор-колеса с увеличенным крутящим моментом».
- 2)Выявить преимущества и недостатки предложенных вариантов.
- 3)Выбрать наилучшие идеи по технологическим критериями сделать выводы.

Указаны наиболее интересные и технически реализуемые идеи:

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1) Выбрать в качестве редуктора планетарный. Для компактности внедрить электродвигатель внутрь планетарного редуктора, расположив его ближе к солнечной шестерни.

Принцип работы следующий: к ротору с помощью крепежных винтов прикручен зубчатый венец солнечной шестерни. Сателлиты закреплены на осях, через игольчатые подшипники, которые неподвижно удерживает водило от вращения, закрепленное на неподвижном кулаке. К водилу крепится тормозной механизм. Зубчатый венец коронного колеса с помощью крепежных винтов закреплен на колесном диске. При вращении ротора, с той же частотой вращается и солнечная шестерня. Она передает крутящий момент на сателлиты, которые начинают вращение вокруг своей оси и передают крутящий момент на зубчатый венец коронного колеса. Колесо начинает вращаться.



1 – колесный диск; 2 – зубчатый венец колесного диска; 3 – зубчатый венец ротора; 4 – кулак; 5 – двухрядный радиально-упорный подшипник; 6 – ступица колеса; 7 – шариковый подшипник; 8 болты крепления диска к

ступице; 9 – ротор; 10 – статор; 11 – шпильки; 12 – тормозной диск; 13 – неподвижное водило; 14 – тормозной суппорт; 15 – ось сателлита; 16 – сателлит.

Рисунок 1.4 – Вид мотор-колеса в разрезе

Преимущества:

а) электродвигатель и редуктор расположены внутри колесного диска и не выходят за границу обода, при этом крутящий момент от двигателя после редуктора увеличивается.

Недостатки:

а) большие диаметральные размеры редуктора, с чем связана невозможность расположить тормозной механизм внутри колеса, тормозной механизм находится за пределами колесного диска;

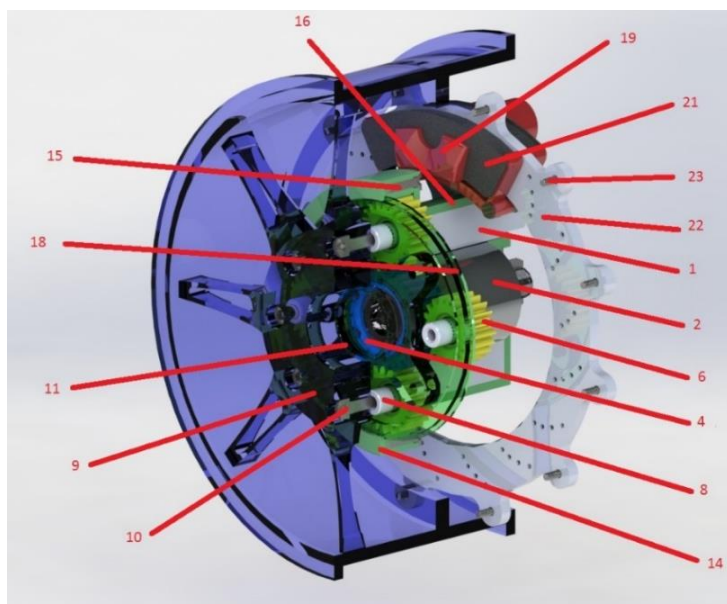
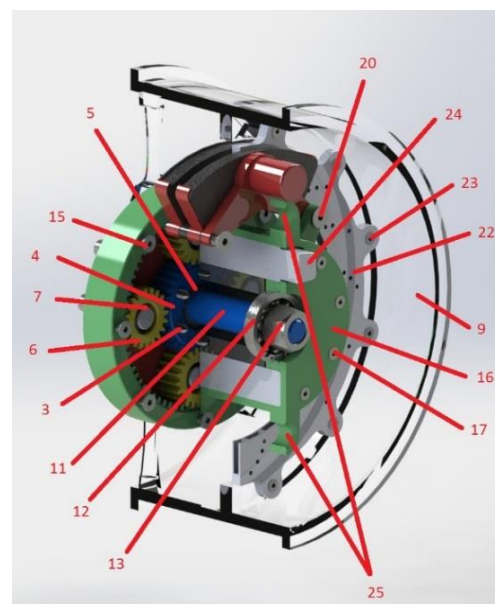
б) отсутствует защита редуктора от попадания пыли, грязи, редуктор не герметичный.

2) Также, как и в первом случае в качестве редуктора выбрать планетарный. Используется та же схема. Отличия заключаются в том, коронное колесо крепится не к колесному диску, а к корпусу редуктора и является неподвижным. А в качестве водила выступает колесный диск и напротив, является подвижным.

Принцип работы следующий:

Ротор электродвигателя передает вращение на солнечную шестерню, которая с помощью зубчатого зацепления начинает вращать сателлиты. Сателлиты, в свою очередь, вращаясь, начинают обкатываться по коронному колесу, передавая крутящий момент на водило (колесный диск). Колесо начинает вращаться.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



1 – статор; 2 – ротор; 3 – крепежные винты; 4 – солнечная шестерня; 5 – подшипник; 6 – сателлит; 7 – игольчатый подшипник; 8 – оси сателлитов; 9 – колесный диск; 10 – винты колеса; 11 – ступица; 12 – подшипник; 13 – гайка; 14 – коронное колесо; 15 – винты; 16 – корпус редуктора; 17 – винты; 18 – манжета; 19 – тормозной суппорт; 20 – крепежные винты; 21 – тормозные колодки; 22 – тормозной диск; 23 – крепежные винты; 24 – площадка под проводку; 25 – кронштейны крепления.

Рисунок 1.5 – Мотор-колесо-в разрезе

Преимущества:

- а) электродвигатель и редуктор расположены внутри колесного диска и не выходят за границу обода, при этом крутящий момент от двигателя после редуктора увеличивается;
- б) над редуктором появляется свободное пространство, для установки тормозного механизма;
- в) имеется защита редуктора в виде корпуса с задней стороны и в виде манжеты, изготовленной из полиуретана, с другой стороны.

Выводы

В данном разделе рассмотрено устройство мотор-колеса, выявлены преимущества и недостатки каждого из видов мотор-колес. Экспертиза на патентную чистоту показала, что данная конструкция обладает патентной чистотой, как изобретение в отношении России, США, Германии. Можно подать заявку на изобретение. С помощью мозгового штурма были найдены два новых технических решения. Для дальнейшей разработки принята вторая схема.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 Конструкторский раздел

2.1 Описание разрабатываемой конструкции мотор-колеса платформы специального назначения

В дипломном проекте разработана конструкция компактного мотор-колеса, представленная на рисунках 2.1-2.5. К особенности данной конструкции можно отнести то, что мотор-колесо имеет повышенный крутящий момент из-за наличия планетарного редуктора, но при этом мотор-колесо является компактным и все основные механизмы, и системы расположены внутри колеса и не выходят за границы обода.

Разработанное мотор-колесо предназначено для создания и передачи крутящего момента с ротора электродвигателя на ведущее колесо, внутри которого оно расположено. Мотор-колесо крепится к рычагам подвески платформы специального назначения.



Рисунок 2.1 – Мотор-колесо (вид спереди)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

23

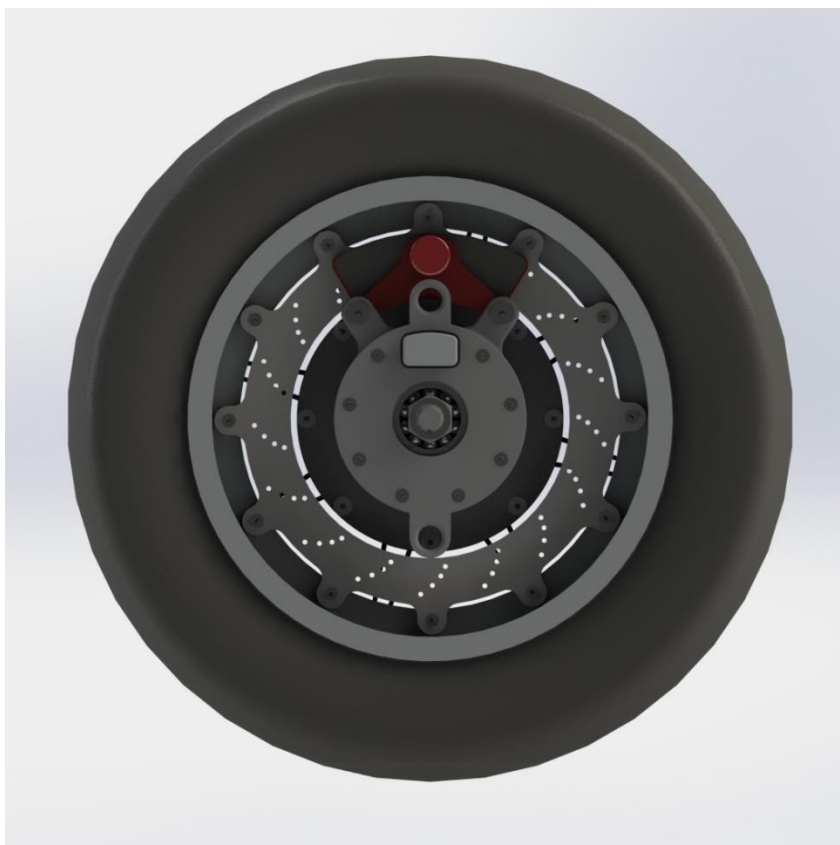


Рисунок 2.2 – Мотор-колесо (вид сзади)



Рисунок 2.3 – Мотор-колесо (вид сбоку)

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



Рисунок 2.4 – Мотор-колесо (изометрия)

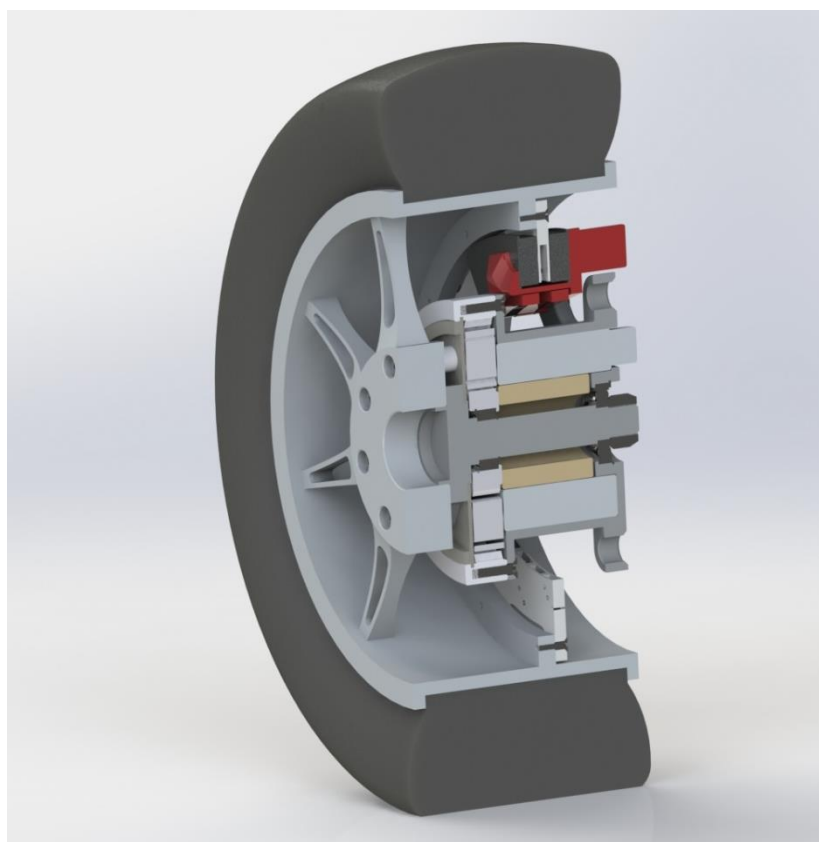
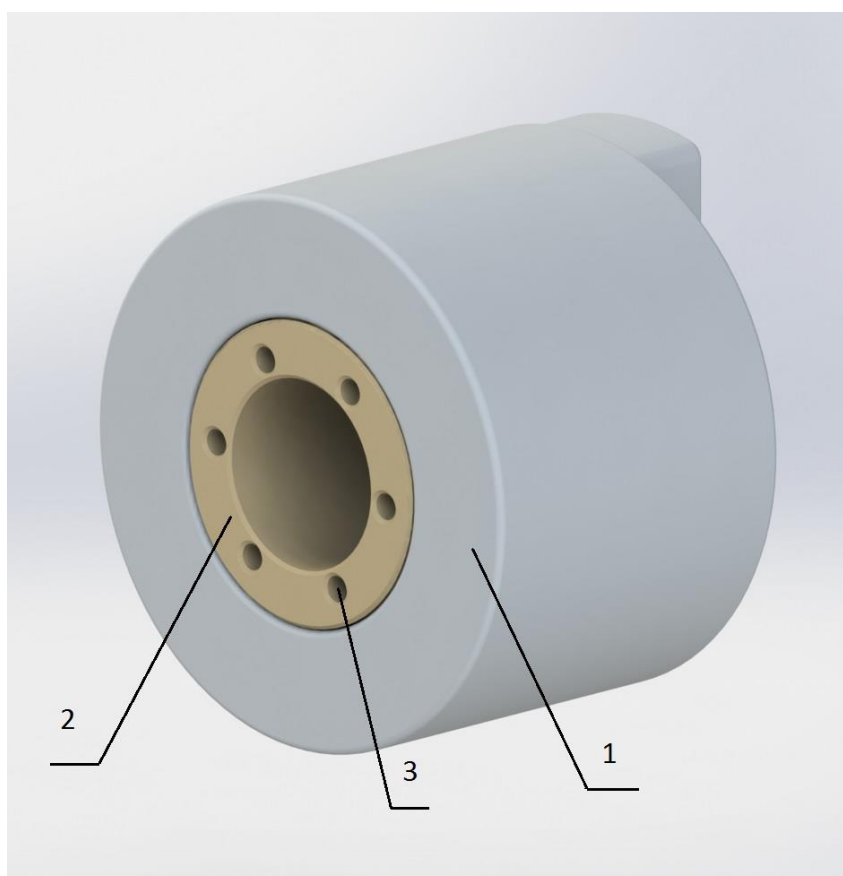


Рисунок 2.5 – Мотор-колесо в разрезе (изометрия)

Разрабатываемая конструкция сочетает в одном корпусе редуктор и электродвигатель.

Разрабатываемая конструкция мотор-колеса содержит электродвигатель, состоящий из неподвижного статора 1 и подвижного ротора 2. Ротор 2 имеет крепежные отверстия 3 (рисунок 2.6).

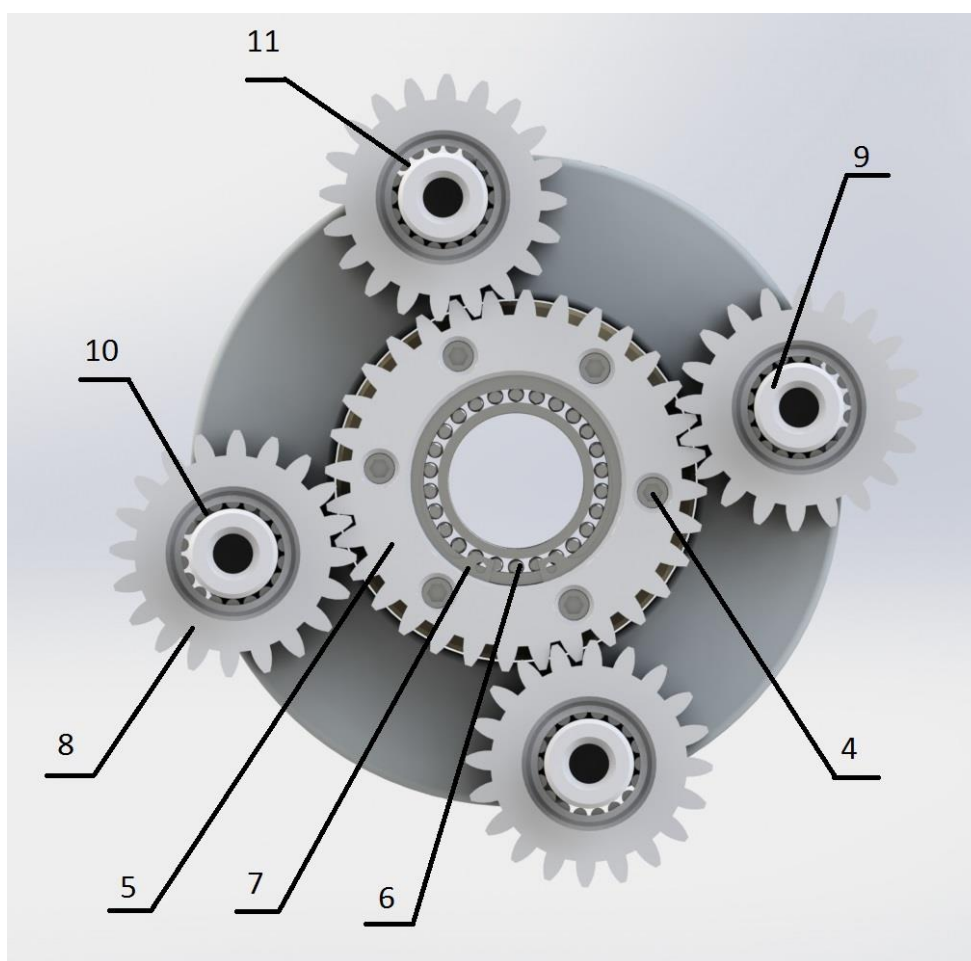


1 – статор; 2 – ротор; 3 – крепежные отверстия ротора

Рисунок 2.6 - Электродвигатель

К крепежным отверстиям 3 с помощью винтов 4 крепится солнечная шестерня 5. Внутри солнечной шестерни установлен игольчатый подшипник 6, который с одной стороны упирается в ступеньку солнечной шестерни 5, а с другой блокируется упорным кольцом 7. Солнечная шестерня 5, получая крутящий момент от ротора 2, передает его четырем сателлитам 8, которые установлены на осях 9 через игольчатые подшипники 10, которые упираются

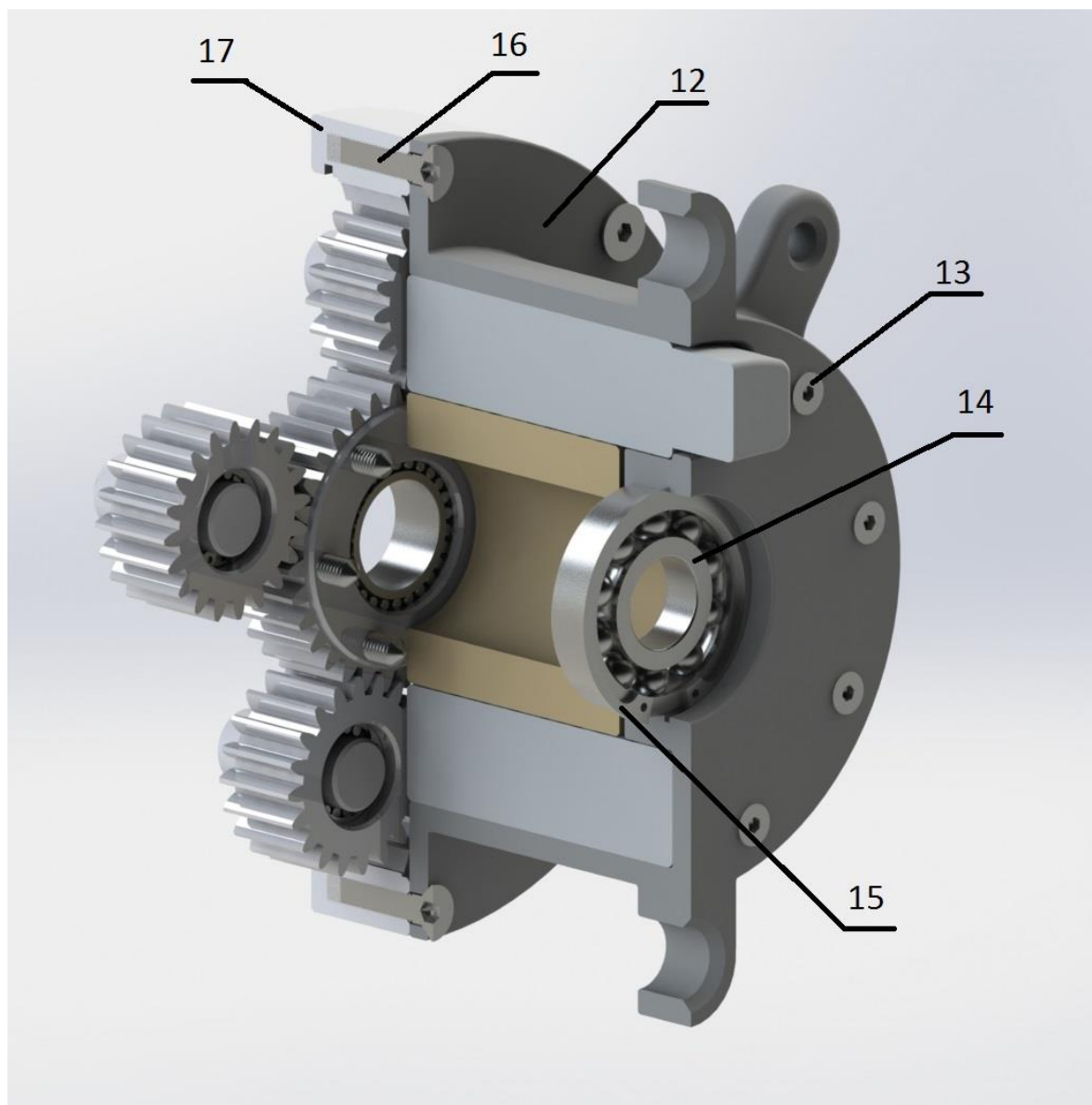
в ступеньку сателлита 8 с одной стороны, а с другой блокируются упорным кольцом 11 (рисунок 2.7).



4 – крепежный винт; 5 – солнечная шестерня; 6 – игольчатый подшипник солнечной шестерни; 7 – упорное кольцо подшипника солнечной шестерни; 8 – сателлит; 9 – ось сателлита; 10 – игольчатый подшипник сателлита; 11 – упорное кольцо подшипника сателлита

Рисунок 2.7 – Планетарный редуктор

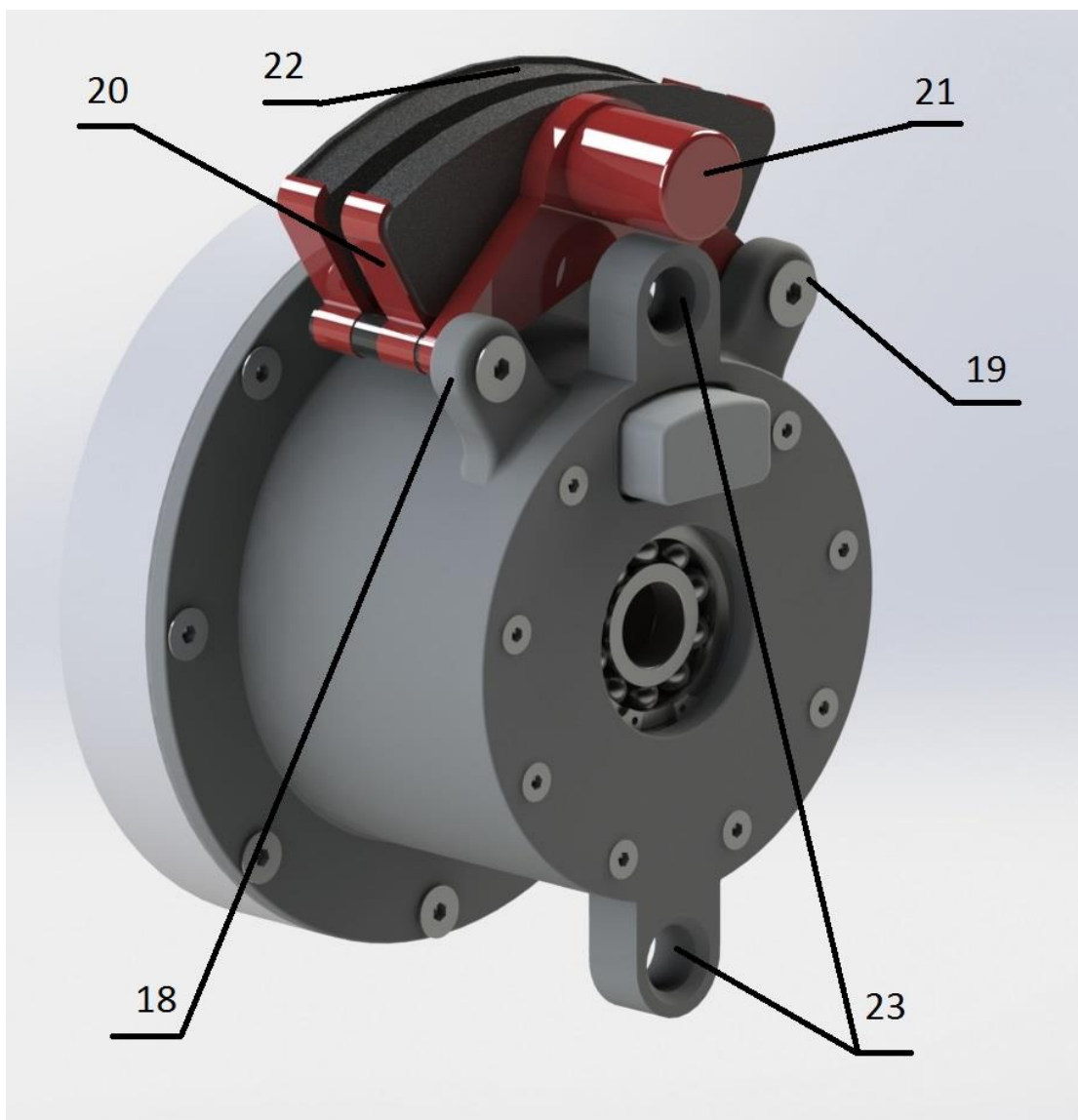
Электродвигатель помещается в неподвижный корпус редуктора 12 и крепится крепежными винтами 13. В корпусе электродвигателя установлен упорный подшипник 14, который блокируется ступенькой корпуса редуктора 12 и упорным кольцом 15. К корпусу редуктора через крепежные винты 16 прикручено неподвижное коронное колесо 17 (рисунок 2.8).



12 – корпус редуктора; 13 – крепежный винт статора электродвигателя; 14 – упорный подшипник; 15 – упорное кольцо подшипника; 16 – крепежный винт коронного колеса; 17 – коронное колесо

Рисунок 2.8 – Редуктор в разрезе

Через кронштейны 18, корпуса редуктора 12, с помощью крепежных винтов 19 крепится тормозной механизм, состоящий из тормозного суппорта 20, тормозного цилиндра 21 и тормозных колодок 22. На корпусе редуктора 12 так же имеется два кронштейна крепления для рычагов подвески 23 (рисунок 2.9).



18 – кронштейн крепления тормозного механизма; 19 крепежный винт тормозного механизма; 20 – тормозной суппорт; 21 – тормозной цилиндр; 22 – тормозные колодки; 23 – кронштейны крепления для рычагов подвески

Рисунок 2.9 – Редуктор с тормозным механизмом

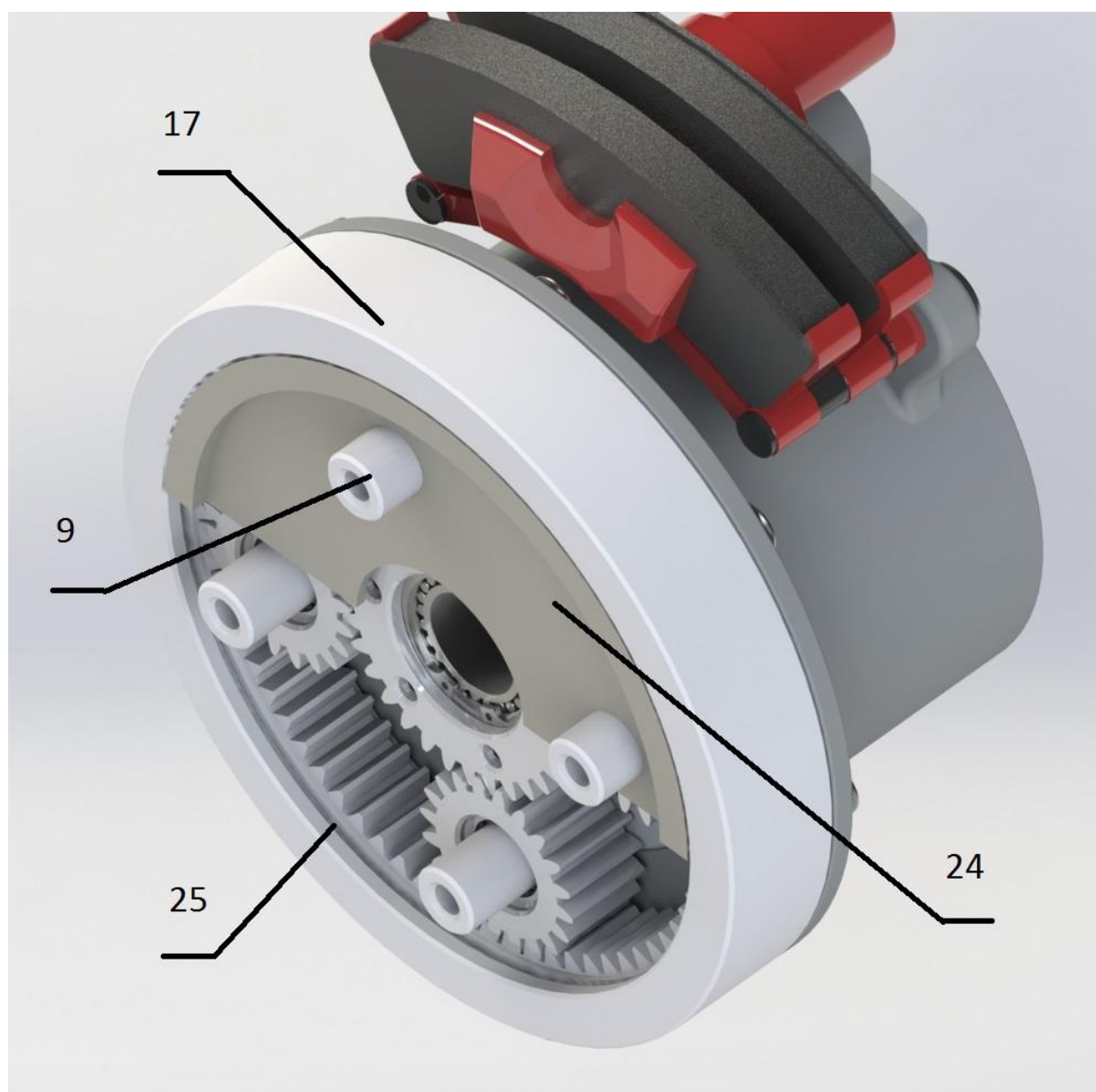
Для герметичности редуктора используется полиуретановая манжета 24, которая установлена в пазах 25 коронного колеса 17. Манжета имеет отверстия для осей сателлитов 9 и вращается вместе с ними (рисунок 2.10).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

29



9 – ось сателлита; 17 – коронное колесо; 24 – манжета; 25 – канавка под манжету

Рисунок 2.10 – Герметичность редуктора

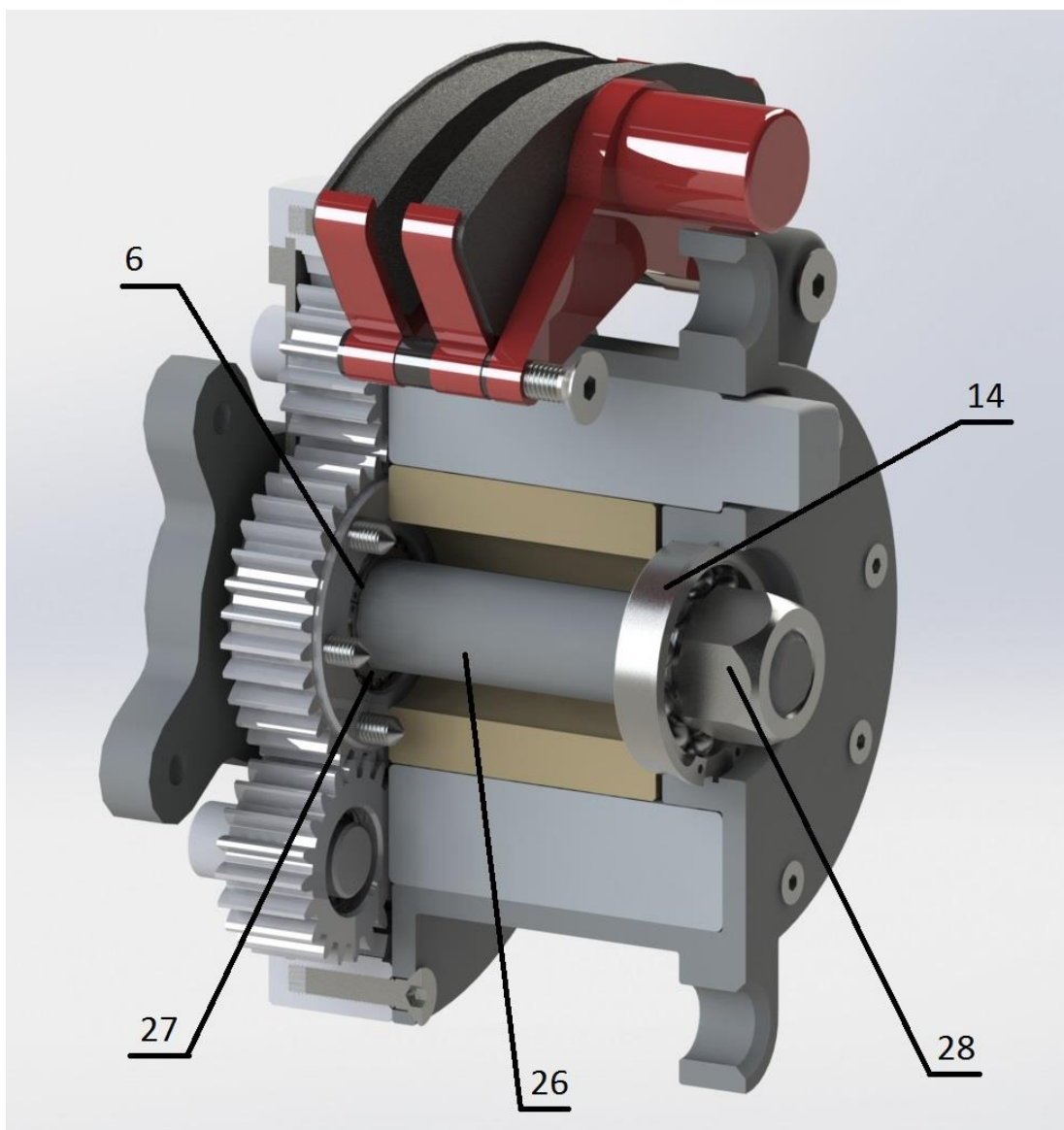
Для крепления колеса имеется ступица 26, который устанавливается в игольчатом подшипнике солнечной шестерни 6 и в упорном подшипнике 14. Игольчатый подшипник 6 зафиксирован с одной стороны ступенькой вала, а с другой упорным кольцом 27. Упорный подшипник 14 зафиксирован с одной стороны ступенькой вала, а с другой гайкой 28 (рисунок 2.11).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

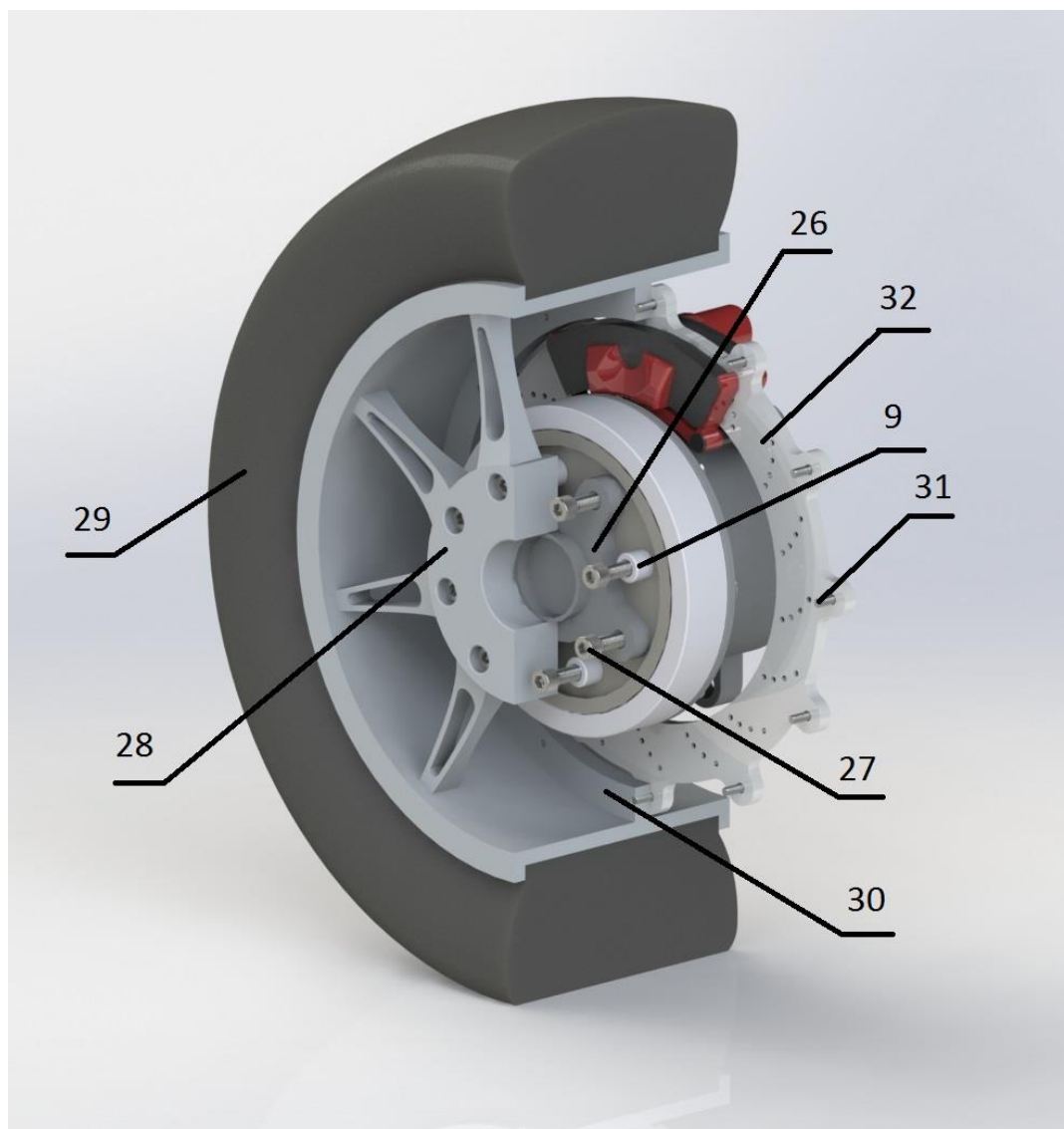
30



6 – игольчатый подшипник; 14 – упорный подшипник; 26 – ступица; 27 – упорное кольцо ступицы; 28 – гайка.

Рисунок 2.11 – Редуктор с установленной ступицей

К ступице 26 через крепежные винты 27 крепится колесный диск 28, с установленной безвоздушной крышкой 29. Колесный диск 28 получает крутящий момент от осей сателлитов 9, которые закреплены с помощью тех же крепежных винтов 27. Колесный диск 28 в такой схеме выступает в роли водила планетарного редуктора. Внутри колесного диска имеется ступенька 30, к которой через крепежные винты тормозного диска 31 крепится тормозной диск 32 (рисунок 2.12).



9 – ось сателлита; 26 – ступица; 27 – крепежный винт; 28 – колесный диск; 29 – безвоздушная покрышка; 30 – крепежная ступенька; 31 – крепежный винт тормозного диска; 32 – тормозной диск

Рисунок 2.12 – Мотор-колесо в сборе

Принцип работы заключается в следующем: на электродвигатель подается электрическое напряжение, ротор начинает вращаться. Вместе с ним вращается и солнечная шестерня, которая передает крутящий момент на сателлиты. Сателлиты с осями начинают обкатываться по неподвижному коронному колесу и начинается их вращение вокруг оси колеса. К осям сателлитов прикручен колесный диск, который воспринимает крутящий момент от осей. Начинается движение. Для того чтобы снять напряжение на

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

зубчатые зацепления, колесный диск крепится к ступице, который установлен в подшипниках и воспринимает основную нагрузку от неровностей дорожного покрытия. Для того чтобы остановить движение необходимо прекратить подачу электричества на электродвигатель и с помощью тормозного механизма заблокировать вращение тормозного диска, с которым непосредственно связан колесный диск.

2.2 Расчет планетарного редуктора. Общие сведения

Важнейшим ресурсом для снижения габаритов и веса машин является переход от обычных передач с неподвижными осями зубчатых колес к планетарным передачам, имеющим зубчатые колеса с подвижными осями, называемые сателлитами [13].

Большая компактность планетарных передач в сравнении с обычными передачами объясняется распределением нагрузки между несколькими сателлитами и рациональным применением внутреннего зацепления. Таким образом, в самой схеме планетарных передач заложена возможность получения значительно меньших габаритов и веса в сравнении с обычными передачами даже и в том случае, если материалы и механические свойства деталей у них одинаковы.

Опыт проектирования показывает, что переход от обычных передач к планетарным обеспечивает снижение веса в 2–6 раз. Большие значения относятся к тем случаям, когда с переходом к планетарным передачам оказывается возможным использование мер повышения нагрузочной способности зацепления, применение которых нерационально или невозможно (из-за больших размеров зубчатых колес) в обычных передачах [14].

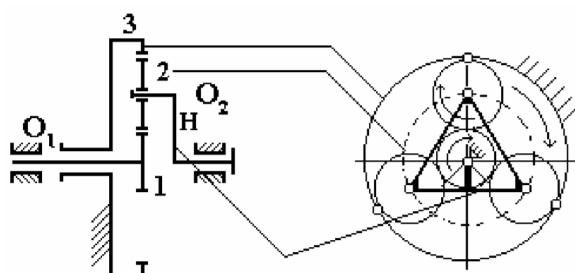
Стоит отметить следующую особенность планетарных механизмов: при одинаковой точности изготовления в планетарных редукторах обычно

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обеспечивается лучшее распределение нагрузки по ширине зубчатого венца, чем в передачах с неподвижными осями. Это объясняется тем, что в планетарных передачах отношение ширины зубчатого венца к его диаметру ψ_{bd} обычно не превышает 0,7, тогда как в обычных редукторах оно доходит до 1,6, а в отдельных случаях, может и превышать эту величину.

В качестве объекта проектирования для дипломного проекта используется привод мотор-колеса, включающий планетарный редуктор.

Ниже приведена схема привода.



1 – солнечная шестерня, 2 – сателлит, 3 – коронное колесо, Н - водило

Рисунок 2.13 – Планетарная зубчатая передача.

2.3 Кинематический расчет привода

2.3.1 Выбор двигателя и определение относительного передаточного числа

Конкретную марку (типоразмер) электродвигателя подбираем по каталогу назначенной серии двигателей в соответствии с желаемым диапазоном n частоты вращения ротора и требуемой (необходимой) величиной его расчетной мощности $P_{эд}^{тр\epsilon б}$ по следующему условию:

$$P_{эд}^{ном} \geq P_{эд}^{тр\epsilon б}, \quad (2.1)$$

где $P_{эд}^{тр\epsilon б}$ - номинальная мощность двигателя, указанная в его каталоге (максимальная мощность, при которой двигатель еще может длительно работать без перегрева).

Требуемую величину расчетной мощности электродвигателя $P_{\text{тр}}$ определяем из уравнения мощностного баланса.

Исходные данные:

- полная масса платформы $m = 250 \text{ кг}$;
- максимальная скорость платформы $V_{\text{max}} = 35 \text{ км/ч}$.

Требуемую максимальную сумму мощностей $P_{\Sigma}^{\text{треб}}$ двух электродвигателей, для создания необходимой силы тяги на колесах, определяют из условия энергетического обеспечения максимальной скорости, т.е. из мощностного баланса [2]:

$$P_{\Sigma}^{\text{треб}} = \frac{(F_{\psi} + F_w) \cdot V_{\text{max}}}{\eta_{\text{тр}} \cdot k_c}, \quad (2.2)$$

где F_{ψ} – сила дорожного сопротивления, определяем по формуле :

$$F_{\psi} = G \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha),$$

где G – вес платформы, определяем по формуле:

$$G = m \cdot g, \quad (2.3)$$

где m – полная масса платформы, $m = 250 \text{ кг}$;

g – ускорение свободного падения, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Тогда,

$$G = 250 \cdot 10 = 2500 \text{ Н};$$

f – коэффициент сопротивления качению, для грунтовых дорог $f = 0,030 - 0,035$ [15], принимаем $f = 0,035$;

α – преодолеваемый угол подъема, принимаем $\alpha = 11^\circ$,

Тогда,

$$F_{\psi} = 2500 \cdot (0,035 \cdot \cos 11 + \sin 11) = 562,9 \text{ Н};$$

F_w – сила сопротивления воздуха, определяем по формуле:

$$F_w = C_x \cdot A \cdot q_v, \quad (2.4)$$

где C_x – коэффициент обтекаемости, для платформы с прямоугольным сечением принимаем $C_x = 0,5$ [15];

A – площадь лобового сечения, находим по формуле:

$$A = B \cdot H, \quad (2.5)$$

где B – ширина платформы, $B = 1,2$ м; H – высота платформы;

$H = 0,8$ м,

Тогда,

$$A = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ м}^2;$$

q_v – скоростной напор, определяем по формуле:

$$q_v = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot V_{\text{max}}^2}{2}, \quad (2.6)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, принимаем $\rho_{\text{в}} = 1,25 \text{ кг/м}^3$;

V_{max} – максимальная скорость платформы, $V_{\text{max}} = 35 \text{ км/ч} = 9,7 \text{ м/с}$,

Тогда,

$$q_v = \frac{1,25 \cdot 9,7^2}{2} = 58 \text{ кг/м}^2;$$

Тогда,

$$F_w = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 58 = 27,84 \text{ Н};$$

$\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии, поскольку трансмиссия состоит из планетарного редуктора, то выбираем КПД для планетарного редуктора по таблице $\eta_{\text{тр}} = 0,97$ [16]; k_c – коэффициент, учитывающий потери мощности в воздухоочистителе, глушителе, радиаторе, компрессоре и вспомогательных агрегатах, поскольку данный коэффициент учитывает потери только в ДВС, а в нашем случае установлен электродвигатель, то принимаем $k_c = 1$.

После определения всех необходимых величин, подставляем их в основную формулу и находим суммарную мощность двух электродвигателей:

$$P_{\Sigma}^{\text{треб}} = \frac{(562,9 + 27,84) \cdot 9,7}{0,97 \cdot 1} = 5,8 \text{ кВт}.$$

Найдём требуемую минимальную мощность каждого электродвигателя по формуле:

$$P_{\text{эд}} = \frac{P_{\Sigma}^{\text{треб}}}{2}, \quad (2.7)$$

где $P_{\text{эд}}$ – требуемая минимальная мощность электродвигателя.

$$P_{\text{эд}} = \frac{5,8}{2} = 2,9 \text{ кВт}$$

По каталогу компании «*RUCH SERVOMOTOR*» выбираем электродвигатель *RM24-81-75-GT1* мощностью 2,9 кВт, с частотой вращения 1017 мин⁻¹ [16].

При определении передаточного числа редуктора используем уравнение планетарного ряда [17]

$$w_a - w_H = -kw_b + kw_H, \quad (2.8)$$

где индекс «а» относится к солнечной шестерне, индекс «b» – к коронному колесу, индекс «С» - к сателлиту, индекс «Н» – к водилу, k – конструктивная характеристика или параметр планетарного ряда ($k = z_b/z_a$ – передаточное число при остановленном водиле). Это выражение получено из выражения для передаточного числа u_{ab}^H при мысленно остановленном водиле (теорема Виллиса)

$$u_{ab}^H = \frac{w_a - w_H}{w_b - w_H} = -\frac{R_b}{R_a} = -\frac{z_b}{z_a} = -k. \quad (2.9)$$

Выражая скорости вращения через n в мин⁻¹ и учитывая, что в нашем случае эпицикл неподвижен, получим

$$n_a = (1 + k)n_H.$$

Тогда передаточное число планетарного ряда определяется выражением: $u_{aH}^b = n_{\text{вц}} / n_{\text{вм}} = n_a / n_H = 1 + k$. Здесь и далее индексы «вц» и «вм» относятся соответственно к величинам на ведущем и ведомом валах.

Конструктивная характеристика k обычно $k \approx 1,3 \dots 5(6)$, тогда передаточное число соответственно $u \approx 2,3 \dots 6(7)$ [18]. При этом необходимо

иметь ввиду, что при $k < 1,3$ для спутника остается мало места, в случае $k > 6$ передача получается громоздкой, так как спутники очень большие и их размещение на водиле затруднено.

В нашем случае передаточное число редуктора будет:

$$u = \frac{n_{\text{вц}}}{n_{\text{вд}}},$$

где $n_{\text{вц}} = n_{\text{эд}} = 1017 \text{ (мин}^{-1}\text{)}$ – частота оборотов солнечной шестерни;

$n_{\text{вд}} = n_{\text{колеса}} \text{ (мин}^{-1}\text{)}$ – частота оборотов водила.

$$n_{\text{колеса}} = \frac{v_{\text{платформы}} \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot D_{\text{колеса}}}, \quad (2.10)$$

$D_{\text{колеса}}$ в соответствии с выбранным колесом принимаем = 600 мм.

$$n_{\text{колеса}} = \frac{9,7 \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot 600} = 310 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда,

$$u = \frac{1017}{310} = 3,28.$$

С учетом малой потери мощности при применении планетарных редукторов ($\text{КПД} \approx 0,96$). Действительная величина КПД проектируемого редуктора будет определена ниже после определения числа зубьев его колес. Конструктивная характеристика k планетарного ряда в нашем случае $k = u - 1 = 3,28 - 1 = 2,28$.

2.3.2 Подбор числа зубьев колес редуктора

Числа зубьев выбираем исходя из величины передаточного числа при соблюдении условий соосности, соседства и сборки (условий геометрического существования планетарного ряда) [17, 18].

Условие соосности элементов редуктора, выражаемое через количество зубьев (если зубья нарезаны без смещения), определяется выражением:

$$z_a + 2 \cdot z_c = z_b. \quad (2.11)$$

Условие соседства сателлитов заключается в том, чтобы между двумя соседними сателлитами обеспечивался достаточный промежуток δ для свободной циркуляции масла, уменьшения вихревых и подобных потерь мощности. Возможное число сателлитов при этом зависит от характеристики k и составляет $C = 2$ или $C = 3$ при $k \geq 4,5$ и $C = 3$ или $C = 4$ при $k = 4,55 \dots 2,9$. В нашем случае $k = 2,28$, поэтому целесообразно принять $C = 4$.

Условие сборки, обеспечивающее попадание зубьев колес в соответствующие впадины при контакте сателлитов с солнечным колесом и эпициклом или соответствующее условию кратности суммы целых чисел зубьев центральных колес (солнца и эпицикла) количеству сателлитов, определяется выражением:

$$(z_a + z_b) / C = \gamma, \quad (2.12)$$

где γ – целое число, C – число сателлитов.

Подбор чисел зубьев выполняют в предположении, что на меньших из колес (солнечное колесо или сателлит) число зубьев будет больше 14 (при наличии коррекции при положительном смещении инструмента) и больше 17 (из условия не подрезания при отсутствии коррекции). При этом примем метод подбора числа зубьев, когда число зубьев солнечного колеса кратно числу сателлитов при условии их не подрезания [13].

Число зубьев z_a кратно числу сателлитов.

Таблица 2.1 – Подбор числа зубьев.

z_a	Номинальное значение	Действительное (принимаемое) значение		

	$z_b = z_a \cdot k$	Z_b кратно C	$K=zb/za$	$u_{aH}^b = 1 + k$	Условие сборки $\gamma = \frac{z_a + z_b}{2}$	Условие соосности $z_c = \frac{z_b - z_a}{2}$
20	45,6	44	2,2	3,2	32	12
24	54,7	56	2,33	3,33	40	16
28	63,8	64	2,29	3,29	46	18
32	72,96	72	2,25	3,25	52	20
36	82,08	84	2,33	3,33	60	24
40	91,2	92	2,3	3,3	66	26

Окончательно число зубьев установим после определения диаметра солнечного колеса d_a и выбора величины модуля зацепления m .

2.3.3 Определение относительной частоты вращения колес

Наиболее целесообразно определить относительные скорости вращения колес по отношению к водилу (в обратном движении при остановленном водиле) [13]:

$$n_a^H = n_a - n_H; \quad (2.13)$$

$$n_a^H = 1017 - 310 = 707 \text{ мин-1};$$

$$n_b^H = n_b - n_H; \quad (2.14)$$

$$n_b^H = 0 - 310 = -310 \text{ мин-1};$$

$$n_c^H = -(n_a - n_H) \frac{2}{k-1}; \quad (2.15)$$

$$n_c^H = -707 \frac{2}{2,28-1} = -1104 \text{ мин-1}.$$

Из анализа приведенных формул следует, что относительную частоту вращения можно определить еще до расчета чисел зубьев колес, используя

только конструктивную характеристику планетарного ряда (т.е. передаточное число при остановленном водиле) [13].

2.3.4 Определение КПД редуктора

КПД редуктора определяется выражением [6]:

$$\eta = \frac{P_{\text{вм}}}{P_{\text{вц}}} = \frac{T_{\text{вц}} \cdot \omega_{\text{вм}}}{T_{\text{вц}} \cdot \omega_{\text{вц}}} = \frac{\hat{u}}{u}, \quad (2.16)$$

где $u = \omega_{\text{вц}} / \omega_{\text{вм}}$ – кинематическое передаточное число; $\hat{u} = T_{\text{вм}} / T_{\text{вц}}$ – динамическое передаточное число. Через конструктивную характеристику k планетарного ряда эти передаточные числа выражаются следующим образом:

$$u = 1 + k, \quad \hat{u} = k \cdot \eta_{\text{отн}}, \quad (2.17)$$

где $\eta_{\text{отн}}^x = \eta_{\text{ас}} \cdot \eta_{\text{сб}} = 0,99 \cdot 0,99 = 0,98$ – КПД в относительном движении, где $\eta_{\text{ас}} = 0,99$ – КПД передачи вращения от солнца к сателлиту и $\eta_{\text{сб}} = 0,99$ – КПД передачи вращения от сателлита к эпициклу, а показатель степени x определяется выражением $x = \text{sign} \frac{k}{1+k} \frac{\partial u}{\partial k} = 1$, где аббревиатура *sign* означает наличие знака в выражении для x , а $1 + k = u$. При этом, если в результате расчета значение $\frac{k}{1+k} \frac{\partial u}{\partial k}$ получается положительным, берется $x = +1$, если отрицательным, то принимается $x = -1$. В нашем случае $x = +1$. Таким образом, КПД проектируемого нами редуктора равно [13]:

$$\eta = \frac{1 + k \cdot \eta_{\text{отн}}^x}{1 + k}, \quad (2.18)$$

$$\eta = \frac{1 + 2,28 \cdot 0,98}{1 + 2,28} = 0,986.$$

2.4 Определение моментов

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Распределение мощности и крутящих моментов по валам редуктора:

– ведущий вал

$$P_1 = P_{\text{до}} = 2,9 \text{ кВт.}$$

$$T_1 = T_a = 9550 \frac{P_1}{n_1}; \quad (2.19)$$

$$T_1 = T_a = 9550 \frac{2,9}{1017} = 27,23 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

2.5 Выбор материалов зубчатых колес и определение допускаемых напряжений

Любой эпициклический ряд мысленно может быть разделен на две элементарные передачи – с наружным и внутренним зацеплением, эти зацепления и подлежат расчету. Проектировочный расчет редуктора начинается с определения диаметра солнечной шестерни d_a . При этом рассматривается полюс зацепления солнечное колесо-сателлит.

2.5.1 Выбор материалов колес редуктора

С целью обеспечения компактности и невысокой стоимости проектируемого редуктора целесообразно принять для солнечной шестерни и сателлитов сталь 40Х с различной термообработкой.

Контактные напряжения на зубьях солнечного колеса и сателлитов одинаковы.

Таким образом, принимаем:

– солнечная шестерня – сталь 40Х, термообработка – улучшение, твердость 260...280НВ, НВ_{ср} = 270;

– сателлит – сталь 40Х, термообработка – улучшение, твердость 280...300НВ, НВ_{ср} = 290.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

В дальнейших расчетах на прочность по рекомендации ГОСТа 21354-87 будут использованы средние значения ($HV_{ср}$) твердостей материалов соответствующих колес [13].

2.5.2 Определение допускаемых напряжений

Базовые числа циклов перемены напряжений:

– при расчете на контактную прочность [13]:

$N_{HO1} = 21 \cdot 10^6$ циклов для солнечной шестерни;

$N_{HO1} = 24 \cdot 10^6$ циклов для сателлита.

– при расчете на изгиб*

$N_{FO1} = N_{FO2} = 4 \cdot 10^6$ циклов.

* – Значение базового числа циклов нагружения N_{FO} для всех сталей и значений твердости при испытании на изгибную усталость рекомендуется принимать равным $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ [18].

Эквивалентные числа циклов перемены напряжений:

– для сателлита

$$N_{HE2} = N_{HEC} = 60 \cdot n_C^H \cdot t_{HE} \cdot c, \quad (2.20)$$

$N_{HE2} = N_{HEC} = 60 \cdot 1104 \cdot 1878 \cdot 1 = 124,4 \cdot 10^6$ циклов;

– для солнечной шестерни

$$N_{HE1} = N_{HEa} = 60 \cdot n_a^H \cdot C \cdot t_{HE}, \quad (2.21)$$

$N_{HE1} = N_{HEa} = 60 \cdot 707 \cdot 4 \cdot 1878 = 318,7 \cdot 10^6$ циклов.

Пределы выносливости [22]:

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– при расчете на контактную прочность

$$\sigma_{HO1} = 2HB_{cp} + 70, \quad (2.22)$$

$$\sigma_{HO1} = 2 \cdot 290 + 70 = 650 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{HO2} = 2HB_{cp} + 70, \quad (2.23)$$

$$\sigma_{HO2} = 2 \cdot 270_{cp} + 70 = 610 \text{ МПа};$$

– при расчете на изгибную прочность

$$\sigma_{FO1} = 1,8HB_{cp}, \quad (2.24)$$

$$\sigma_{FO1} = 1,8 \cdot 270 = 486 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{FO2} = 1,8HB_{cp}, \quad (2.25)$$

$$\sigma_{FO2} = 1,8 \cdot 290 = 522 \text{ МПа}.$$

Допускаемые напряжения:

– при расчете на контактную прочность

$$[\sigma_{H1}] = \frac{\sigma_{HO1}}{S_{H1}} K_{HL}, \quad (2.26)$$

Коэффициенты безопасности S_{H1} и S_{H2} для однородных материалов принимаются одинаковыми $S_{H1}=S_{H2}=1,1$ [17].

$$[\sigma_{H1}] = \frac{610}{1,1} 1 = 555 \text{ МПа},$$

$$[\sigma_{H2}] = \frac{\sigma_{HO2}}{S_{H2}} K_{HL}, \quad (2.27)$$

$$[\sigma_{H1}] = \frac{650}{1,1} 1 = 591 \text{ МПа}.$$

Для прямозубых колес, которые чаще всего применяются в планетарных редукторах, с учетом равенства контактных напряжений в зубьях солнечного колеса и сателлита, расчетное значение допускаемого напряжения принимается равным наименьшему, т.е. для солнечной шестерни

$$[\sigma_H] = [\sigma_H]_{\min} = 555 \text{ МПа}$$

- при расчете на изгибную долговечность

$$[\sigma_{F1}] = \frac{\sigma_{FO1}}{S_{F1}} K_{FL}, \quad (2.28)$$

Коэффициенты безопасности S_{F1} и S_{F2} для однородных материалов также принимаются одинаковыми $S_{F1} = S_{F2} = 1,75$.

$$[\sigma_{F1}] = \frac{486}{1,75} = 278 \text{ МПа},$$

$$[\sigma_{F2}] = \frac{\sigma_{FO2}}{S_{F2}} K_{FL}, \quad (2.29)$$

$$[\sigma_{F2}] = \frac{522}{1,75} = 298 \text{ МПа}.$$

2.6 Определение основных размеров зубчатых колес редуктора и межосевого расстояния

Как указывалось ранее, при проектировочном расчете в первую очередь определяется диаметр солнечной шестерни, в соответствии со следующим выражением [17]:

$$d_{a \min} = K_d \sqrt[3]{\frac{T_{ap}}{\psi_{bd} \cdot [\sigma_H]^2} \cdot \frac{(u_{aC}^H + 1)}{u_{aC}^H}}, \quad (2.30)$$

где $K_d = 780 \text{ МПа}^{1/3}$ – коэффициент, зависящий от механических характеристик, формы сопрягаемых поверхностей и длины контактной линии зацепления, принимаемый для стальных прямозубых колес равным указанной величине;

$\psi_{bd} = 0,6$ – принятая величина коэффициента ширины колеса по диаметру. Относительная ширина колес в планетарном редукторе $\psi_{bd} \approx (0,2)0,3 \dots 0,4(0,6)$ выбирается в зависимости от точности изготовления и монтажа. Чем меньше ψ_{bd} , тем равномернее нагружается зуб по ширине

колеса, но радиальные размеры колеса при этом увеличиваются. При более точном изготовлении $\psi_{bd} \approx 0,4...0,6(0,8...1,0)$ [17];

$u_{ac}^H = (k - 1) / 2 = (2,28 - 1) / 2 = 0,64$ – передаточное число от солнечной шестерни к спутнику в относительном движении;

T_{ap} – расчетный момент на солнечном колесе с учетом многопоточности между четырьмя спутниками ($C = 4$) и неравномерностью нагрузки спутников, учитываемой коэффициентом $K_c = 1,1$ ($K_c \approx 1,1...1,25(1,4...1,8)$, $K_c = 1,1-1,2$ при одном плавающем колесе [18]):

$$T_{ap} = \frac{T_a \cdot K_{H\beta} \cdot K_c}{C}, \quad (2.31)$$

Здесь $K_{H\beta} = 1,02$ – коэффициент концентрации нагрузки, т.е. коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине контактной линии.

Коэффициент $K_{H\beta}$ определяется по графикам [13] для простых передач в зависимости от способа закрепления солнечного колеса, принимаемой твердости и величины ψ_{bd} . В случае равномерного нагружения спутников $K_{H\beta} = 1,0...1,03$. Коэффициенты $K_{H\alpha}$ и $K_{H\gamma}$, которые также влияют на величину контактной нагрузки, принимаются равными единице, так как на данном этапе они еще не ясны. При выполнении проверочного они уже могут быть определены точно.

$$T_{ap} = \frac{27,23 \cdot 1,02 \cdot 1,1}{4} = 7,64 \text{ Нм.}$$

Тогда,

$$d_{a \min} = 780 \sqrt{\frac{7,64}{0,6 \cdot 555^2} \cdot \frac{(0,64 + 1)}{0,64}} = 36,9 \text{ мм.}$$

Исходя из того, что присоединительные размеры к ротору электродвигателя находятся на диаметре 61 мм, а $d_{a \min}$ получился равным 36,9, принимаем делительный диаметр больше, с запасом, под крепежные отверстия к ротору. Принимаем $d=80$ мм.

Ниже в таблице приведены величины числа зубьев, полученные в разделе 2.1, а также соответствующие им расчетные трасч и стандартные мстанд величины модуля зацепления, имеющего размерность в мм.

Таблица 2.2 – Расчетные и стандартные значения модуля.

z_a	20	24	28	32	36	40
$m_{расч} = \frac{d_a}{z_a}$	4	3,33	2,86	2,5	2,22	2
$m_{станд}$	4	3,5	2,75	2,5	2,25	2

Таким образом, при $z_a=20$; $z_a=32$ и $z_a=40$ расчетные значения модуля совпадают с рекомендуемыми стандартными значениями 1 ряда. Однако, при $z_a=20$ $z_c=12$, что не соответствует минимальному числу зубьев $z_{min}=17$ прямозубой передачи, поэтому рассмотрим следующее число зубьев. При $z_a=32$ $z_c=20$, что удовлетворяет наши требования и позволяет нам принять окончательное число зубьев солнечной шестерни $z_a=32$ и модуль $m=2,5$ мм.

Таким образом, получим

- делительные диаметры:

$$d_a = m \cdot z_a, \quad (2.32)$$

$$d_a = 2,5 \cdot 32 = 80 \text{ мм};$$

$$d_b = m \cdot z_b, \quad (2.33)$$

$$d_b = 2,5 \cdot 72 = 180 \text{ мм};$$

$$d_c = m \cdot z_c, \quad (2.34)$$

$$d_c = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ мм};$$

- диаметры окружностей впадин зубьев:

$$d_{fa} = d_a - 2,5 \cdot m, \quad (2.35)$$

$$d_{fa} = 80 - 2,5 \cdot 2,5 = 73,75 \text{ мм};$$

$$d_{fb} = d_b + 2,5 \cdot m, \quad (2.36)$$

$d_{fb} = 180 + 2,5 \cdot 2,5 = 186,25 \text{ мм}$; (т.к. коронное колесо имеет внутреннее зацепление, то в этом случае для диаметра окружности впадин знак «-» меняется на «+», а для диаметра вершин знак «+» меняется на знак «-»);

$$d_{fc} = d_c - 2,5 \cdot m, \quad (2.37)$$

$$d_{fc} = 50 - 2,5 \cdot 2,5 = 43,75 \text{ мм};$$

- диаметры окружностей вершин зубьев:

$$d_{ma} = d_a + 2 \cdot m, \quad (2.38)$$

$$d_{ma} = 80 + 2 \cdot 2,5 = 85 \text{ мм};$$

$$d_{mb} = d_b - 2 \cdot m, \quad (2.39)$$

$$d_{mb} = 180 - 2 \cdot 2,5 = 175 \text{ мм};$$

$$d_{mc} = d_c + 2 \cdot m, \quad (2.40)$$

$$d_{mc} = 50 + 2 \cdot 2,5 = 55 \text{ мм}.$$

Ширину солнечной шестерни b_a и коронного колеса b_b принимаем равными между собой и находим по формуле

$$b_a = b_b = \psi_{bd} \cdot d_{a \min}, \quad (2.41)$$

$$b_a = b_b = 0,6 \cdot 36,9 = 22,14 \text{ мм}.$$

Принимаем $b_a = b_b = 24 \text{ мм}$.

Ширину сателлита увеличим на 2 мм и примем равной $b_c = 26 \text{ мм}$.

Окружная скорость V солнечного колеса, необходимая в дальнейшем при выполнении проверочных расчетов, составит:

$$V = \frac{\pi \cdot d_a \cdot n_a}{60 \cdot 1000}, \quad (2.42)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 80 \cdot 1017}{60 \cdot 1000} = 4,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1},$$

что соответствует 8...9 степени точности [5].

Находим межосевое расстояние:

$$a_w = \frac{d_a + d_c}{2}, \quad (2.43)$$

$$a_w = \frac{80 + 50}{2} = 65 \text{ мм};$$

2.7 Проверочный расчет зубьев колес по контактным напряжениям

Расчет действующих контактных напряжений в полюсе наружного зацепления (солнце – сателлит) выполняется после эскизной проработки конструкции с учетом полученных размеров колес с использованием условия прочности [18]

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \cdot T_{ap} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{Hv} \cdot K_c (u_{ac}^H + 1) \cdot 10^3}{b \cdot d_a^2 \cdot u_{ac}^H \cdot C}} \leq [\sigma_H]. \quad (2.44)$$

При этом оптимальное соотношение величин действительных и допускаемых контактных напряжений определяется выражением $\sigma_H = (0,8...1,1) \cdot [\sigma_H]$ [7].

Коэффициенты, входящие в выражение для σ_H , определяются также, как и для обычных зубчатых передач с неподвижными осями, но с учетом многопоточности и некоторой неравномерности нагрузки сателлитов (коэффициенты C и K_c):

$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$ – коэффициент механических свойств материалов для стальных колес с $\mu = 0,3$ и $E = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

$Z_H = 1,76$ – коэффициент формы сопряжения поверхностей для прямозубых колес ($\beta = 0^\circ$);

$Z_\varepsilon = 0,88$ – коэффициент учета длины линии зацепления, определяемый выражением $Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}$.

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \cdot \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right], \quad (2.45)$$

где ε_α – коэффициент торцового перекрытия (внешнее зацепление), определяемый по приведенной эмпирической формуле, z_1 и z_2 – соответственно количество зубьев солнца и сателлита;

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \cdot \left(\frac{1}{32} + \frac{1}{20} \right) \right] = 1,62.$$

Таким образом получим:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - 1,62}{3}} 0,89.$$

– коэффициенты концентрации (рассмотрены ранее): динамического воздействия нагрузки (зависит от величины окружной скорости, подсчитанной выше) и учета неравномерности распределения нагрузки между зубьями (зависит от точности изготовления и монтажа), определяемые по соответствующим графикам и таблицам [19]:

$$K_{H\beta} = 1,02; K_{H\alpha} = 1,2; K_{H\alpha} = 1.$$

$$K_c = 1,1 \text{ при четырех сателлитах.}$$

– остальные параметры, входящие в выражение для σ_H , определены ранее и составляют: $u_{ac}^H = 0,64$; $d_a = 80$ мм; $C = 4$.

После подстановки всех величин в выражение для σ_H получим:

$$\sigma_H = 275 \cdot 1,76 \cdot 0,89 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,64 \cdot 1,02 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot (0,64 + 1) \cdot 10^3}{24 \cdot 80^2 \cdot 0,64 \cdot 4}} = 126,6 \text{ МПа} <$$

$$< [\sigma_H] = 555 \text{ МПа,}$$

что подтверждает допустимость принятых размеров колес редуктора.

2.8 Проверочный расчет зубьев колес по изгибным напряжениям

Определенной ранее величине окружной скорости солнечного колеса $V_a = V_c = 4,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ соответствует 8-я степень точность передачи.

Условие прочности при расчете на изгиб зубьев колес выполняется по формуле [13]:

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$\sigma_F = Y_F \frac{2 \cdot T_{ap} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_c \cdot 10^3}{C \cdot K_\varepsilon \cdot b \cdot \varepsilon_\alpha \cdot d_a \cdot m_t} \leq [\sigma_F]. \quad (2.46)$$

Коэффициенты $K_{F\beta} = 1,03$; $K_{Fv} = 1,3$; $K_{F\alpha} = 1$ определяем по таблицам [1]. Коэффициент формы зуба Y_F , зависящий от количества зубьев и величины коэффициента смещения, который в нашем случае равен нулю (колеса без смещений), определяется по графику [3] и составляет для солнечного колеса $Y_{F1} = 3,88$, а для сателлита $Y_{F2} = 4,13$;

K_ε – коэффициент точности взаимодействия зубчатых колес равен $K_\varepsilon \approx 0,92 \dots 0,97(1,0)$ и увеличивается для зубьев, выполненных с более высокой точностью. Для 8-го класса точности можно принять $K_\varepsilon = 0,92$. Коэффициент торцового перекрытия $\varepsilon_\alpha = 1,62$ определен нами ранее.

Торцовый модуль зацепления для прямозубых колес равен нормальному, т.е. $m_t = m_n = 2,5$ мм.

Расчет ведется для более слабого зуба (солнца или сателлита), который определяется путем сравнения отношений:

$$\frac{[\sigma_{F1}]}{[Y_{F1}]} = \frac{278}{3,88} = 71,65 < \frac{[\sigma_{F2}]}{[Y_{F2}]} = \frac{298}{4,13} = 72,15$$

следовательно, проверку на изгибную прочность ведем по солнечной шестерне:

$$\sigma_{F1} = 4,13 \frac{2 \cdot 7,64 \cdot 1,03 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,92 \cdot 24 \cdot 1,62 \cdot 80 \cdot 2,5} = 32,5 \text{ МПа} < [\sigma_{F1}] = 278 \text{ МПа},$$

т.е. прочность зубьев колес на изгиб обеспечена.

2.9 Проверочный расчет, выбор материала и твердости коронного колеса

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Расчет проводится из условия контактной выносливости, при этом рассматривается полюс зацепления сателлит-коронное колесо [13]:

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \cdot T_b \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\nu} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_c (u_{cb}^H - 1) \cdot 10^3}{b \cdot d_c \cdot d_b \cdot u_{cb}^H \cdot C}}, \quad (2.47)$$

Определяем окружную скорость v_C (м/с) в зацеплении солнечная шестерня-сателлит по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot d_c \cdot n_c^H}{60 \cdot 1000}, \quad (2.48)$$

$$v = \frac{\pi \cdot 50 \cdot 1104}{60 \cdot 1000} = 2,89$$

Коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между зубьями $K_{H\alpha}=1$ [19].

Коэффициент, учитывающий внутреннюю динамику нагружения, связанную с ошибками и погрешностями профилей зубьев шестерни и колеса, $K_{H\nu}=1,049$ и коэффициент неравномерности распределения контактной нагрузки $K_{H\beta}=1,02$ [17].

Коэффициент торцового перекрытия ε_α рассчитывается по приведенной ранее формуле, но с учетом внутреннего зацепления колес коронное колесо-сателлит:

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \cdot \left(\frac{1}{z_c} - \frac{1}{z_b} \right) \right], \quad (2.49)$$

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \cdot \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{72} \right) \right] = 1,76.$$

Коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий Z_ε определяется:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}, \quad (2.50)$$

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - 1,76}{3}} = 0,86.$$

Передаточное число от сателлита к коронному колесу:

$$u_{Cb} = z_b / z_C, \quad (2.51)$$

$$u_{Cb} = 72 / 20 = 3,6$$

Таким образом в зоне контакта получим

$$\sigma_H = 275 \cdot 1,76 \cdot 0,86 \sqrt{\frac{2 \cdot 98,8 \cdot 1,02 \cdot 1,049 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot (3,6 - 1) \cdot 10^3}{26 \cdot 50 \cdot 180 \cdot 3,6 \cdot 4}} = 176,3 \text{ МПа.}$$

Далее найдем предел контактной выносливости, соответствующий базовому числу перемены напряжений:

$$\sigma_{H0} = \frac{\sigma_H}{K_{HL}} S_H, \quad (2.52)$$

$$\sigma_{H0} = \frac{176,3}{1} \cdot 1,1 = 193,9 \text{ МПа.}$$

Находим твердость поверхности зубьев коронного колеса:

$$HB = \frac{\sigma_H - 70}{2}, \quad (2.53)$$

$$HB = \frac{176,3 - 70}{2} = 53,15$$

Это позволяет сделать вывод о том, что термообработка коронного колеса не требуется.

2.10 Опоры сателлитов

2.10.1 Определение усилий, действующих на оси сателлитов

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

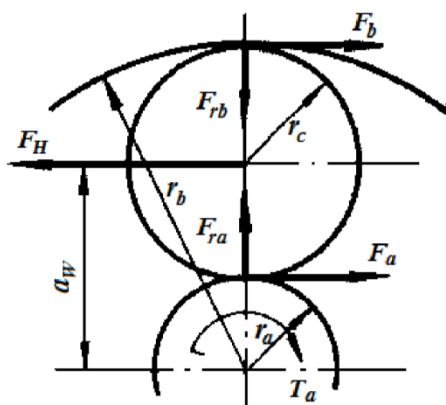


Рисунок 2.14 – Схема нагрузок, действующих в зацеплении.

Схема нагрузок, действующих в зацеплении, приведена на рисунке 2. Из условия равновесия сателлита получим [32]:

$$F_a = F_b; F_H = F_a + F_b = 2F_a; \quad (2.54)$$

$$F_a = \frac{2T_a \cdot K_c}{d_a \cdot C}; \quad (2.55)$$

$$F_a = \frac{2 \cdot 27,23 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{80 \cdot 4} = 187,2 \text{ Н};$$

$$F_H = 2 \cdot 187,2 = 374,4 \text{ Н}.$$

Кроме этого, как это видно из рисунка, сателлит вращается относительно оси солнечного колеса с угловой скоростью, равной угловой скорости водила. При этом возникает динамическая сила $F_v = m a_w \cdot \omega_H$, где m – масса сателлита вместе с его осью, a_w – радиус вращения оси сателлита, ω_H – угловая скорость вращения сателлита. Обычно эта сила много меньше F_H и чаще всего её величиной пренебрегают [30].

2.10.2 Расчет оси сателлита

При малой длине оси сателлита, можно считать, что ось будет нагружена по всему пролету $l = 45$ мм (между внутренней поверхностью сателлита и

соединения с колесным диском) равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью $q = F_H / l = 374,4 / 30 = 12,48 \text{ Н/мм}$. Изгибающий момент в середине пролета (опасное сечение) составит $M_{изг} = q \cdot l^2 / 8 = 12,48 \cdot 45^2 / 8 = 3159 \text{ Нмм}$.

В качестве материала для оси сателлита выберем сталь марки Сталь 40Х с закалкой $HRC 50 \dots 59$.

Требуемый диаметр оси составит:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{изг}}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (2.56)$$

где $[\sigma] = 240 \text{ Н/мм}^2$ (Сталь 40Х).

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3159}{\pi \cdot 240}} = 6,4 \text{ мм}.$$

Окончательный диаметр оси будет установлен при выборе подшипников.

2.11 Выбор подшипник сателлитов

По характеру работы сателлитов в них применяют наиболее распространенные шариковые радиальные подшипники, которые могут быть установлены как в самом сателлите, так и в теле водила. В рассматриваемом редукторе для его большей компактности подшипники целесообразно установить в теле сателлита [30].

Определим потребную динамическую грузоподъемность подшипников.

Подшипники воспринимают только радиальную нагрузку

$$F_{r \max} = F_H = 374,4 \text{ Н}.$$

Радиальные силы F_{rb} и F_{ra} уравниваются на теле сателлита. Действием центробежной силы, как и в случае расчета оси сателлита пренебрегаем.

С учетом отсутствия осевой нагрузки F_a для прямозубых колес эквивалентная нагрузка на подшипник определяется выражением

$$P_{\varnothing} = V \cdot F_H \cdot K_{\sigma} \cdot K_T \cdot K_H, \quad (2.57)$$

где $V = 1,2$ – коэффициент вращения кольца (вращение наружного кольца подшипника);

$K_{\sigma} = 1,3$ – коэффициент безопасности (редукторы всех конструкций при умеренных толчках и небольших перегрузках [13]);

$K_T = 1$ – температурный коэффициент в случае, когда температура деталей $t = 70 \div 125^{\circ}\text{C}$ [13];

$K_H = 1$ – коэффициент режима работы, учитывающий переменность нагрузки.

Тогда,

$$P_{\varnothing} = 1,2 \cdot 374,4 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 584 \text{ Н.}$$

Долговечность подшипника определяется выражением [27]:

$$L_h = \left(\frac{C_r}{P_{\varnothing}} \right)^3 \frac{10^6}{60 \cdot n_C^H}, \quad (2.58)$$

где L_h (час) – долговечность, примем $L_h = 20000$ часов;

C_r – динамическая грузоподъемность подшипника.

Выразим C_r и запишем условие:

$$C_r = P_{\varnothing} \sqrt[3]{L_h \cdot \frac{60 \cdot n_C^H}{10^6}}, \quad (2.59)$$

Тогда,

$$C_r = 584 \cdot \sqrt[3]{20000 \cdot \frac{60 \cdot 1104}{10^6}} \geq 6,4 \text{ кН.}$$

Исходя из диаметра окружности впадин зубьев сателлита $d_{mc}=43,25$ выбираем по ГОСТ 4657-82 подшипник роликовый радиальный игольчатый однорядный без внутреннего кольца и без сепаратора 4024902 со следующими характеристиками: $D=28$ мм, $d=20$ мм, $B=13$ мм, $C_r=8,9$ кН.

Таким образом диаметр оси, определяемый размерами подшипника составит 20 мм, что удовлетворяет требованиям по минимальному диаметру сателлита равному 6,4 мм.

2.12 Смазка редуктора

Смазка планетарных редукторов предназначена для снижения потерь на трение, удаления продуктов износа, отвода тепла, а также для предохранения от коррозии. Способ смазки редуктора – картерный, непроточный, при необходимости, может быть предусмотрена система принудительной смазки [20].

В нашем случае использование жидкостной смазки не допустимо, т.к. наименьшая герметичность редуктора определяется манжетой, поэтому применяется пластичная смазка.

Пластические смазки состоят из двух компонентов: жидкой основы (минеральные, растительные, синтетические и другие масла) и загустителя (твёрдые углеводороды, различные соли высокомолекулярных жирных кислот – мыла, высокодисперсные силикагели и бентониты, другие продукты органического и неорганического происхождения). В своём составе содержат присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики. В состав смазок вводят различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их окислы, слюду и др. Мыла – это соли высших жирных кислот, включающие ионы щелочных металлов (кальция, натрия) [21].

Пластические смазки обладают рядом преимуществ:

- 1) способность «удерживаться» в негерметичных узлах трения;
- 2) работоспособность в широких температурном и скоростном диапазонах;
- 3) лучшая смазывающая способность;

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

- 4) более высокие защитные свойства от коррозии;
- 5) работоспособность в контакте с водой и другими агрессивными средами;
- 6) большая экономичность;
- 7) отсутствие циклов замены смазочного материала (смазка заменяется только при ремонте, либо добавляется по мере необходимости).

Основными пластичными смазочными материалами, которые применяются в редукторах, в настоящее время являются: Литол–24 ТУ 21150-75 (для работы в температурном интервале $-40...+130^{\circ}\text{C}$) и ЦИАТИМ–201 ГОСТ 6267-74 ($-60...+90^{\circ}\text{C}$) [10].

Применим в нашем случае Литол–24 ТУ 21150-75.

2.13 Манжетное уплотнение

Герметичность редуктора определяется с одной стороны корпусом, с другой необходима оригинальная манжета. Основные размеры манжеты определяются компоновкой. С такими размерами резиновые манжеты будут слишком гибкими, а в данном случае необходима жесткость и прочность манжеты, поэтому в качестве материала манжеты целесообразно выбрать полиуретан марки СКУ-ПФЛ-100. Полиуретан прочнее резины и имеет широкий температурный диапазон применения. Данная марка полиуретана имеет отличную стойкость к абразивному износу, достаточную эластичность, отличные свойства поглощения ударов, низкую плотность, отличную химическую стойкость, в том числе и к примененной смазке Литол-24 ТУ. Температурный диапазон применения данной марки полиуретана колеблется от минус 40 до плюс 110°C , что говорит о возможности эксплуатации в условиях суровой зимы и летнего зноя [24].

3D модель манжеты представлена на рисунке 2.15.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

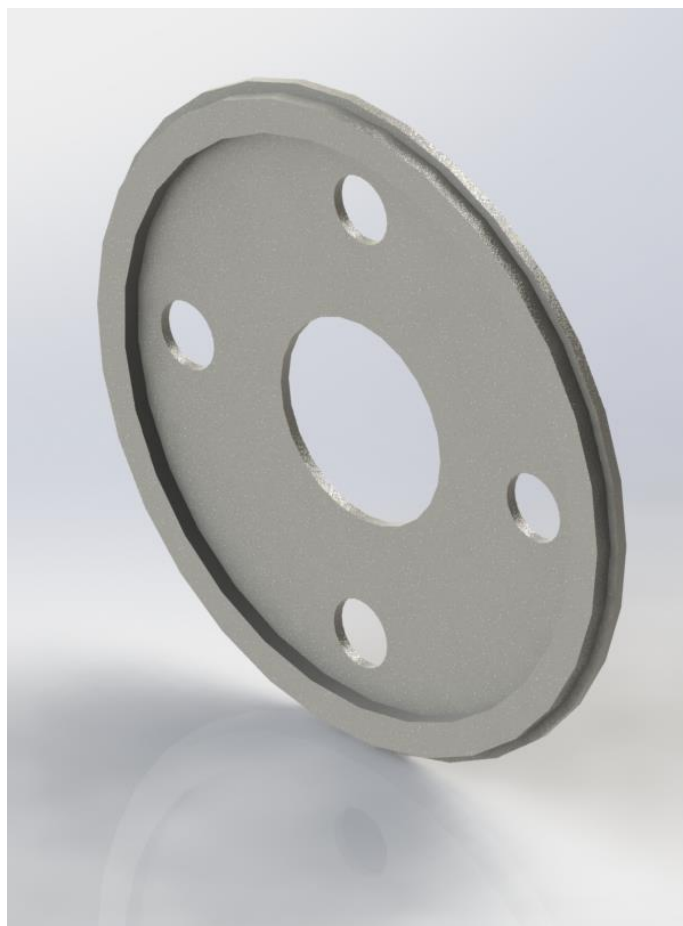


Рисунок 2.15 – Полиуретановая манжета

Данная манжета установлена с помощью лабиринтного уплотнения в канавках коронного колеса и ступицы, которое блокирует горизонтальные перемещения манжеты, а также увеличивает герметичные свойства редуктора в целом.

2.14 Прочностной расчет корпуса редуктора

Корпус редуктора в процессе эксплуатации испытывает большие нагрузки в местах крепления коронного колеса, тормозного суппорта и рычагов подвески, которые передаются от колеса из-за неровностей дорожного покрытия и при торможении от тормозного механизма. Поскольку корпус редуктора не рассчитывается, а построение происходит исходя из компоновки, то необходимо выяснить соответствие конструкции и материалов

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

59

корпуса. Для этого необходимо провести прочностной расчет напряженно-деформированного состояния в среде *SolidWorks*.

В качестве материала корпуса был выбран серый чугун марки СЧ20. Данный материал широко используется там, где требуется повышенная нагрузка на детали. Из этого материала изготавливают блоки цилиндров, станины станков. Толщина корпуса рассчитана исходя из следующего условия:

$$\delta \approx 0,025 \cdot a_w + 1 \dots 5 \geq 6 \text{ мм}, \quad (2.60)$$

$$\delta \approx 0,025 \cdot 65 + 1 \dots 5 = 2,625 \dots 6,625 \geq 6 \text{ мм}.$$

Примем $\delta = 7 \text{ мм}$.

3D модель корпуса редуктора представлена на рисунке 2.16

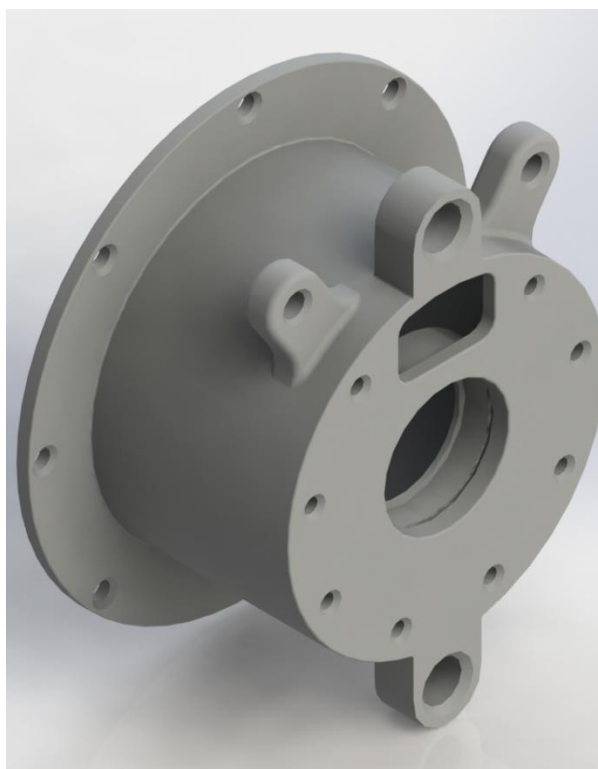


Рисунок 2.16 – Модель для расчета

Смоделируем следующую схему: платформа движется и совершает наезд на неровность, тогда:

- корпус фиксируется кронштейнами крепления рычагов;

- крутящие моменты прикладываются в точках крепления коронного колеса;

- нагрузка прикладывается от ступицы.

Для начала необходимо задать материал корпуса редуктора СЧ20. Затем ограничиваем перемещение со стороны крепления рычагов (рисунок 2.17).

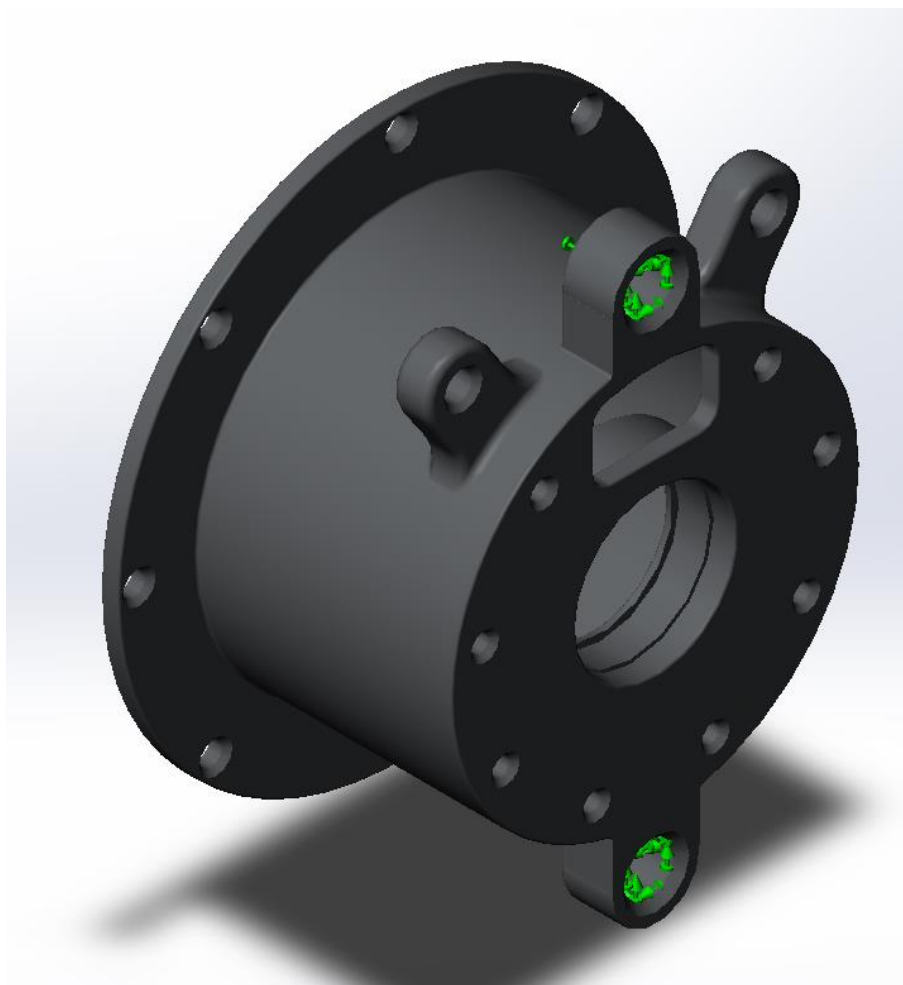


Рисунок 2.17 – Фиксирование корпуса редуктора.

Крутящие моменты будут действовать в местах крепления коронного колеса (рисунок 2.18).

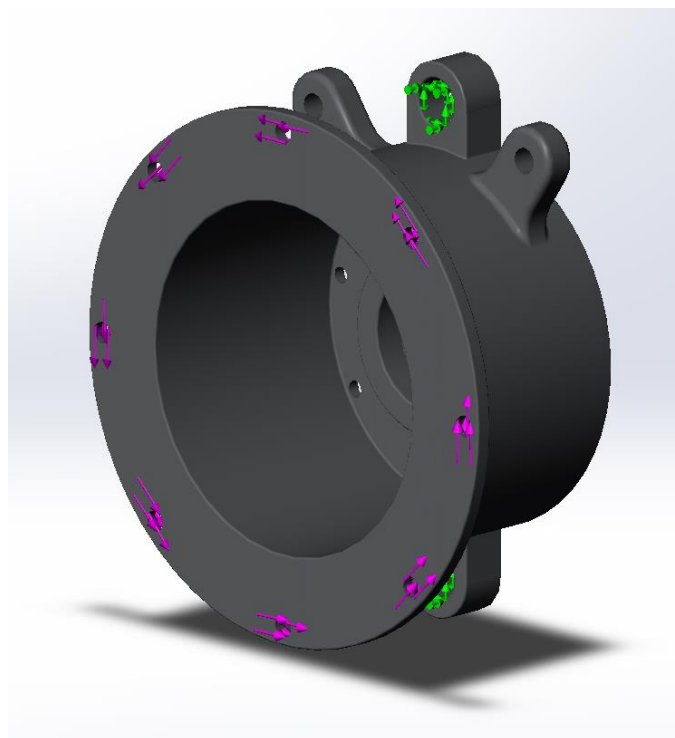


Рисунок 2.18 – Приложение крутящего момента к корпусу редуктора.

Приложим силу, направленную вверх от дорожной поверхности, действующую на крепления коронного колеса и подшипниковое отверстие ступицы (рисунок 2.19).

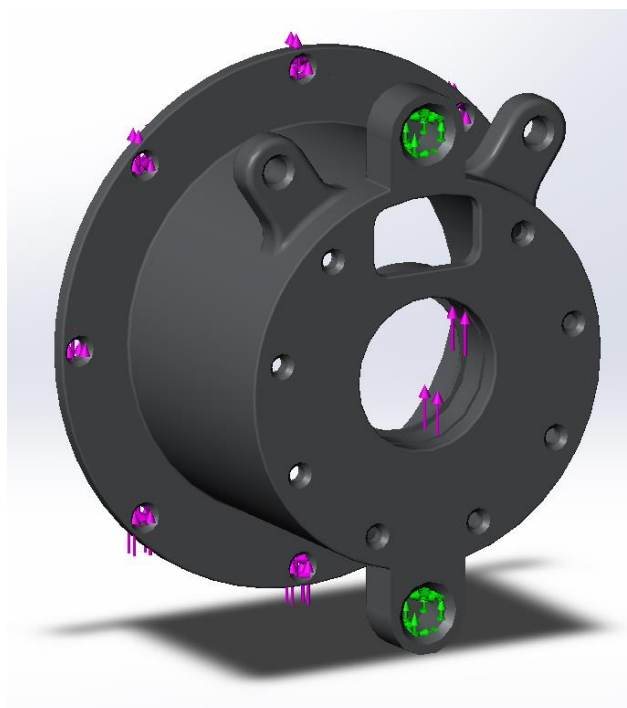


Рисунок 2.19 – Приложение вертикальной силы

Для расчета необходимо разбить конструкцию на множество отдельных элементов, воспользовавшись методом конечных элементов. Создаем расчетную сетку (рисунок 2.20).

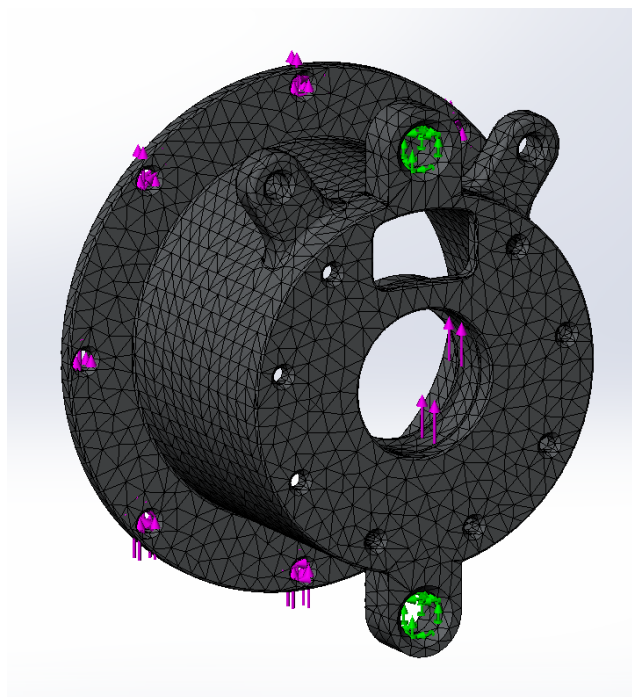


Рисунок 2.21 – Расчетная сетка

Далее запускаем исследование.

2.14.1 Анализ расчетов

Таблица 2.3 – Свойства исследования

Имя исследования	Статический анализ
Тип анализа	<i>Static</i>
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Тепловой эффект:	Вкл
Термический параметр	Включить тепловые нагрузки
Включить эффекты давления жидкости из <i>SOLIDWORKS Flow Simulation</i>	Выкл

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

63

Продолжение таблицы 2.3

Тип решающей программы	<i>FFEPlus</i>
Влияние нагрузок на собственные частоты:	Выкл
Мягкая пружина:	Выкл
Инерционная разгрузка:	Выкл
Несовместимые параметры связи	Авто
Большие перемещения	Выкл
Вычислить силы свободных тел	Вкл
Трение	Выкл
Использовать адаптивный метод:	Выкл

Таблица 2.4 – Свойства материала

Материал:	Чугун СЧ20 ГОСТ 1412-85
Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Неизвестно
Предел прочности при растяжении:	8e+008 N/m ²
Модуль упругости:	9e+010 N/m ²
Коэффициент Пуассона:	0.27
Массовая плотность:	7100 kg/m ³
Модуль сдвига:	7.9e+010 N/m ²
Коэффициент теплового расширения:	1.2e-005 /Kelvin

Таблица 2.5 – Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки:	Выкл
Включить автоциклы сетки:	Выкл
Точки Якобиана	4 Точки
Размер элемента	7.75939 <i>mm</i>
Допуск	0.38797 <i>mm</i>
Качество сетки	Высокая

Таблица 2.6 – Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	<i>N</i>	0.739929	-9000.8	1.87182	9000.8

Таблица 2.7 – Результаты исследования

Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение (рисунок 2.22)	<i>VON</i> : Напряжение <i>Von</i> <i>Mises</i>	23310.9 <i>N/m</i> ² Узел: 32329	1.2875e+008 <i>N/m</i> ² Узел: 7097
Перемещение (рисунок 2.23)	<i>URES</i> : Результирующее перемещение	0 <i>mm</i> Узел: 1	0.0551883 <i>mm</i> Узел: 15315
Деформация (рисунок 2.24)	<i>ESTRN</i> : Эквивалентная деформация	2.46872e-007 Элемент: 3916	0.00111954 Элемент: 7637

Запас прочности (рисунок 2.25)	Максимальное напряжение <i>von Mises</i>	6.21362 Узел: 7097	34318.7 Узел: 32329
-----------------------------------	---	-----------------------	------------------------

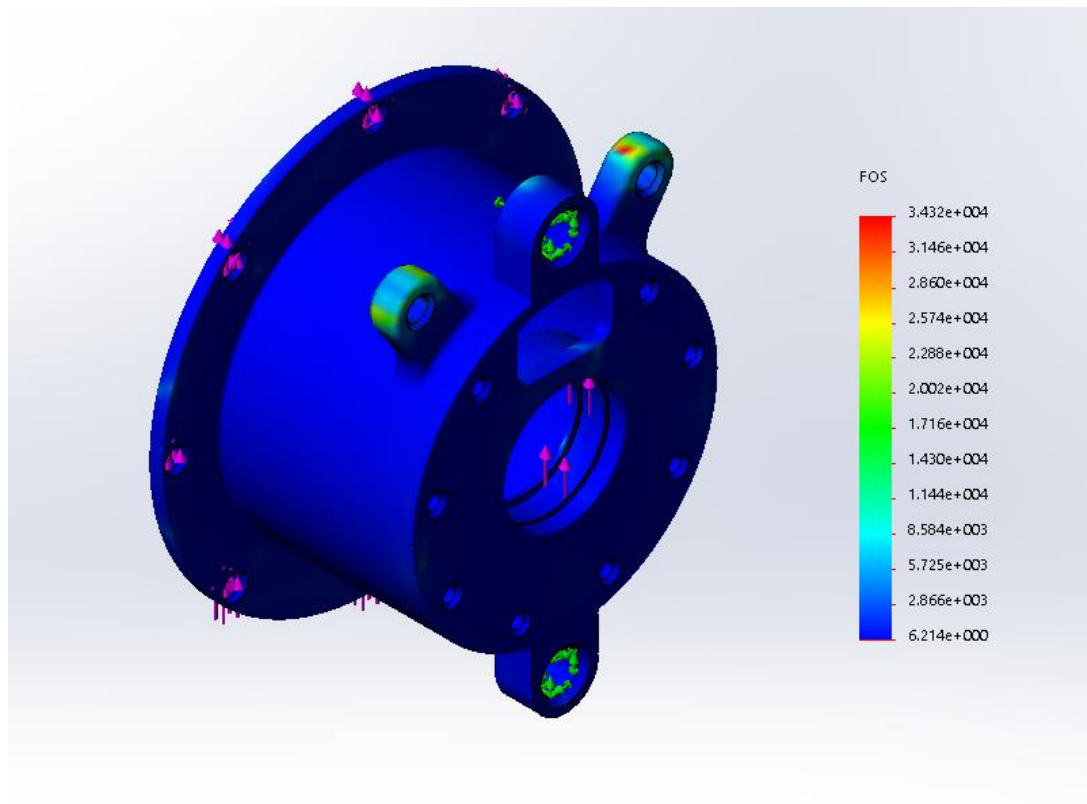


Рисунок 2.22 – Эпюра напряжений

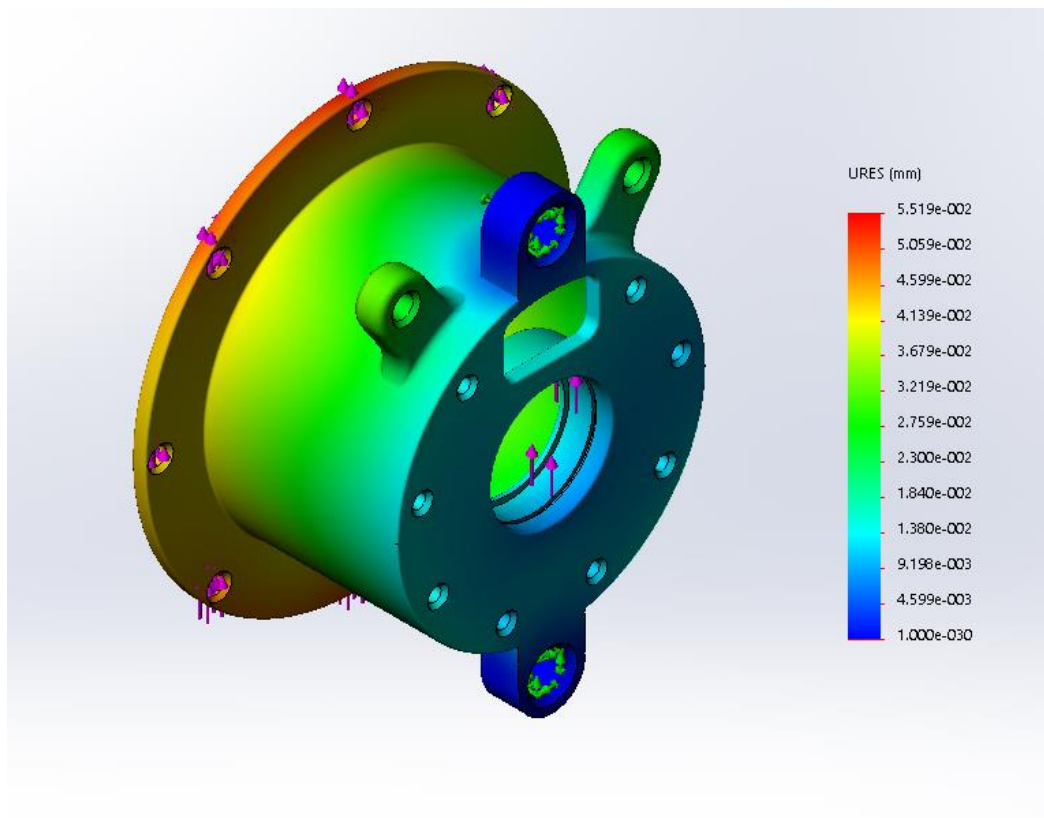


Рисунок 2.23 – Эпюра перемещений

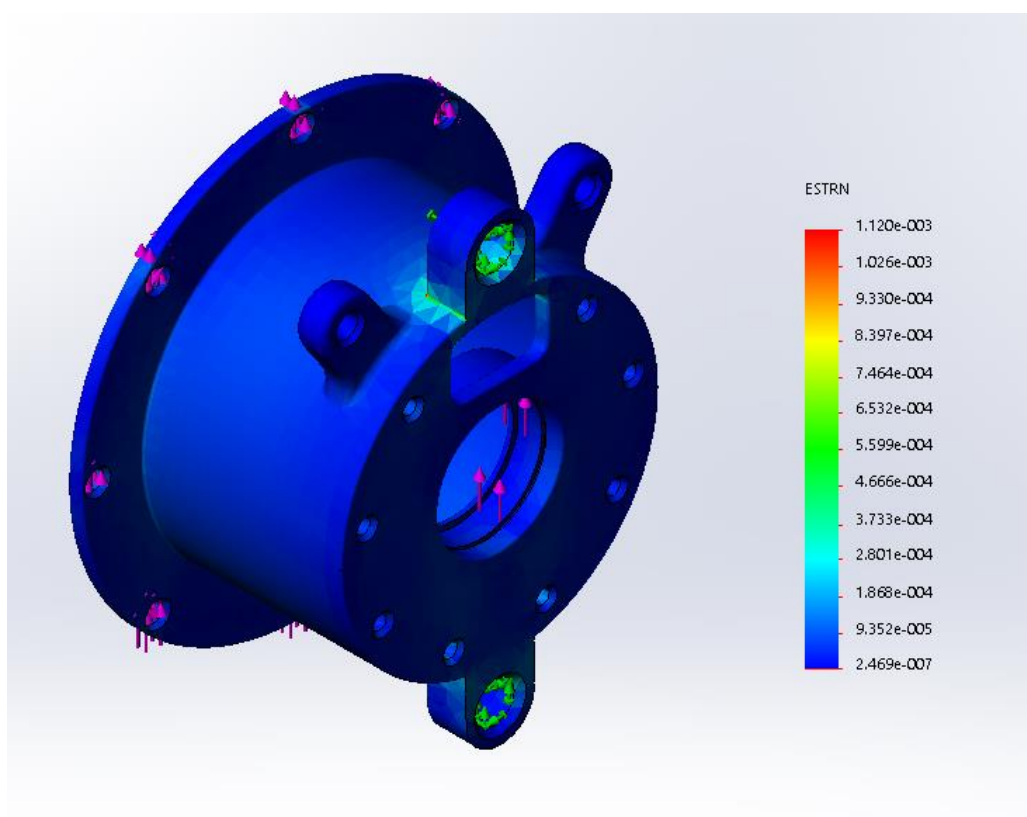


Рисунок 2.24 – Эпюра деформаций

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ

Лист

67

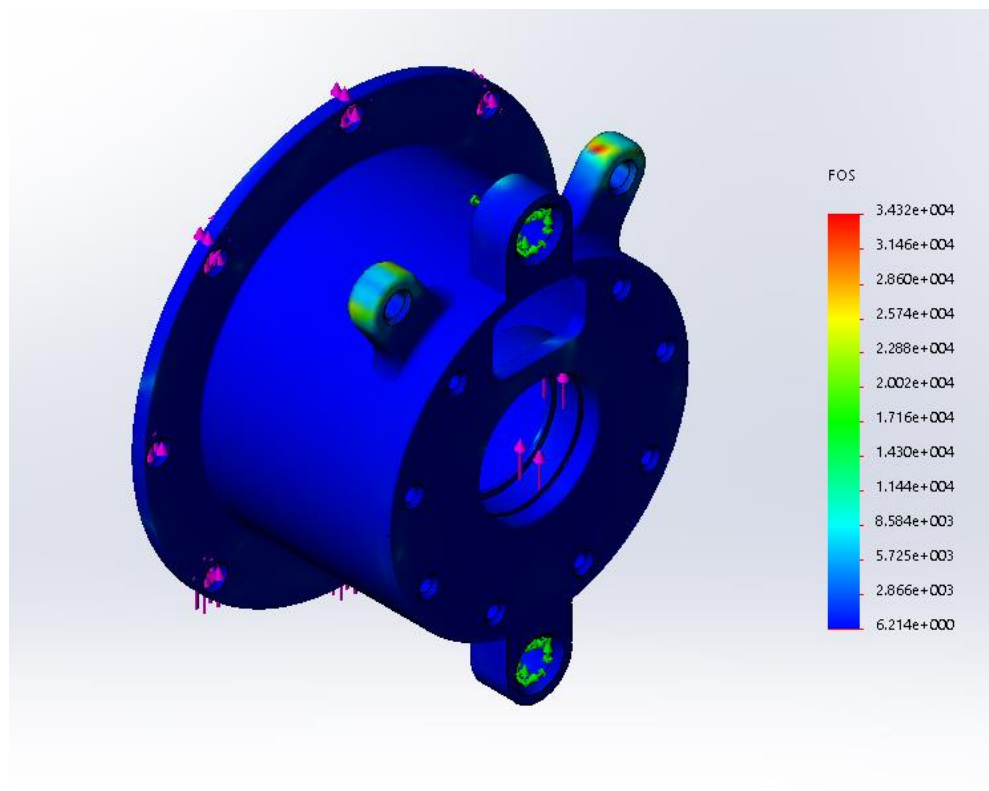


Рисунок 2.25 – Эпюра коэффициента запаса прочности

Проведенный прочностной анализ корпуса редуктора мотор-колеса показал зоны максимальных и минимальных деформаций, перемещений и напряжений. Анализ результатов доказал работоспособность деталей.

Выводы

В данном разделе рассмотрено устройство разрабатываемого мотор-колеса. Был выбран электродвигатель, выполнены необходимые кинематические расчеты привода, проверочные расчеты на контактную и изгибную прочности зубьев колес, был выбран тип смазочного материала редуктора. Оценка полученных результатов показывает работоспособность конструкции и соответствие заданным техническим требованиям.

Таблица 3.1 – Химический состав

Углерод «C»	Кремний «Si»	Марганец «Mn»	Сера «S»	Фосфор «P»
0,42 - 0,5	0,17 – 0,37	0,5 - 0,8	до 0,04	до 0,035

Технологические свойства

Свариваемость – ограниченно свариваемые способы сварки. Способы сварки: РДС- необходимы подогрев и последующая термообработка, КТС [35].

3.3 Анализ технологичности конструкции детали

Конструкция детали является технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление детали с минимальными затратами и высокой производительностью. Технологичность детали оценивается для конкретных условий производства [36].

Существует два вида оценки технологичности конструкции:

Качественный

Количественный

Кроме того, технологичность может быть оценена дополнительными техническими показателями:

- коэффициентом использования материала;
- коэффициентом унификации и стандартизации;
- коэффициентом точности и шероховатости поверхностей

Качественный анализ технологичности детали

При проведении качественного анализа технологичности следует проанализировать возможность обработки данной детали при условии сохранения принципа единства баз [34].

Деталь – ступица, относится к классу фланцев. Изготовлена из стали 45 ГОСТ 1050-2013.

Конструктивная форма детали позволяет выполнять следующие требования по технологичности механической обработки:

- возможность простого и надежного закрепления детали на станке;
- отсутствуют отверстия, расположенные не перпендикулярно к плоскости входа инструмента;
- форма поверхностей и их размеры позволяют производить обработку на выпускаемых станкостроительной промышленностью моделях металлорежущих станков [42].

Деталь имеет снаружи 3 ступени и в отверстии 2 ступени. Снаружи ступень 1 и 8 отверстий с шероховатостью $R_a 3,2$. 8 отверстий с резьбой М10.

При обработке данной детали не должно возникнуть трудностей из-за конструкции детали.

После проведения качественного анализа технологичности детали делаем вывод, что, конструкция детали является технологичной.

Количественный анализ технологичности детали

При проведении количественного анализа технологичности детали определяем следующие коэффициенты

1) Коэффициент уровня технологичности по шероховатости. Коэффициент шероховатости $K_{шo}$ определяется по ГОСТ 14202-73, и принимается в пределах от 0 до 1 [40].

$$K_{шo} = \frac{1}{B_{cp}}, \quad (3.1)$$

где B_{cp} – средний класс шероховатости обработки данной детали:

$$B_{cp} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 \dots + 14 \cdot n_{14}}{n_1 + n_2 \dots + n_{14}}, \quad (3.2)$$

где 1,2, ..., 14-класс шероховатости обработки;

$n_1, n_2, \dots, n_{14}$ – количество поверхностей данного класса шероховатости [40].

$$B_{cp} = \frac{4 \cdot 14 + 5 \cdot 7}{14 + 7} = 4,3;$$

$$K_{ш.о} = \frac{1}{4,3} = 0,23.$$

- Если $K_{ш.о.} < 0,16$ – то деталь считается трудоёмкой в изготовлении;

- если $K_{ш.о.} > 0,16$ – то деталь нормальной трудоёмкости [40].

Т.к. расчётный $K_{ш.о.} = 0,23$, то деталь считается нормальной трудоёмкости в изготовлении.

2) Уровень технологичности по точности обработки детали,

Коэффициент точности $K_{ТО}$ является относительно частым показателем технологичности конструкции и определяется по ГОСТ 14202-73.

Расчетная формула:

$$K_{ТО} = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad (3.3)$$

где A_{cp} – средний квалитет точности обработки детали:

$$A_{cp} = \frac{6 \cdot n_6 + 7 \cdot n_7 + \dots + 17 \cdot n_{17}}{n_6 + n_7 + \dots + n_{17}}, \quad (3.4)$$

где 6, 7, ..., 17 – квалитеты точности изготовления;

$n_6, n_7, \dots, n_{17}$ – количество размеров данного квалитета [40].

$$A_{cp} = \frac{6 \cdot 7 + 14 \cdot 14}{7 + 14} = 11,33;$$

$$K_{ТО} = 1 - \frac{1}{11,33} = 0,912$$

-Если $K_{т.о.} < 0,85$, то деталь считается весьма точной;

-Если $K_{т.о.} > 0,85$, то деталь считается нормальной точности;

Т.к. расчётный $K_{т.о.} = 0,912$ то деталь считается нормальной точности [40].

Замечания по технологичности детали:

На основании качественной и количественной оценки технологичности установлено, что в целом технологичность детали удовлетворительная и таким образом чертеж детали Ступица не должен подвергаться изменениям и пересмотру.

3.4 Выбор и обоснование типа производства

Выбор типа производства существенно влияет на форму организации технологического процесса (групповая или поточная), выбор оборудования (универсальное, специализированное, специальное или автоматические линии), характер используемой оснастки (универсальная или специальная) [34].

Характеристика видов производства.

1) Единичный тип производства характеризуется широкой номенклатурой выпуска и малым годовым объёмом выпуска, применяется универсальное оборудование расположенное по групповому признаку. Применяется универсальный режущий и мерительный инструмент. Квалификация рабочих высокая. Трудоёмкость и себестоимость – высокие.

2) Серийный тип производства характеризуется ограниченной номенклатурой выпуска, детали изготавливаются периодически повторяющимися партиями. Трудоёмкость и себестоимость ниже, чем в единичном производстве. Различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное типы производства.

Крупносерийный тип производства характеризуется применением специализированного оборудования, расположенного на участке по ходу технологического процесса. Применяется специализированный режущий и

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

мерительный инструмент. Квалификация рабочих низкая. Применяется принцип не полной взаимозаменяемости.

3) Массовый тип производства характеризуется узкой номенклатурой выпускаемых изделий, большим годовым объемом выпуска. Применяется специальное и специализированное оборудование, расставленное на участке по ходу технологического процесса. Квалификация рабочих низкая при наличии высоко квалифицированных наладчиков оборудования.

Трудоёмкость и себестоимость изготовления низкая. Используются точные индивидуальные заготовки с минимальными припусками под механическую обработку. Обработка осуществляется на предварительно налаженных специальных станках. Точность обработки обеспечивается автоматически за счет предварительной настройки оборудования, возможно применение активного контроля. Рабочие приспособления неразборные специальные с механизированным зажимом заготовки. Контрольный и режущий инструмент используется в основном специальный. Применяется принцип полной взаимозаменяемости.

Одним из показателей, характеризующих тип производства, является коэффициент закрепления операции, который показывает, сколько операций закреплено за одним рабочим местом – это его физический смысл

Исходные данные:

– годовая программа	$N =$	100000;
– вес детали	$m =$	0,77 кг;
– режим работы – 2-х сменный	$k =$	2;
– календарный фонд времени оборудования	$\Phi_d =$	3720 час.

Таблица 3.2 – Ориентировочное определение типа производства

Тип производства	Годовой объем выпуска		
	Тяжелых	Средних	Легких
	> 30 кг	8 - 30 кг	< 8 кг
Единичное	< 5	< 10	< 100
Мелкосерийное	5 – 100	10 – 200	100 - 500
Среднесерийное	100 – 300	200 – 500	500 - 5000
Крупносерийное	300 – 1000	500 – 5000	5000 - 50000
Массовое	> 1000	> 5000	> 50000

Ориентировочно по таблице определяем тип производства – массовое.

Более точно можно определить тип производства по коэффициенту закрепления операций $K_{з.о.}$.

при $K_{з.о.} = 1$ - производство массовое,

$1 \leq K_{з.о.} \leq 10$ – крупносерийное,

$10 \leq K_{з.о.} \leq 20$ - среднесерийное,

$20 \leq K_{з.о.} \leq 40$ - мелкосерийное,

$40 > K_{з.о.}$ – единичное производство.

Значение $K_{з.о.}$ на стадии разработки процесса вычисляют по формуле [40]:

$$K_{зо} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (3.5)$$

Где: $\sum O$ – количество операций, выполняемых на участке в течение месяца,

$\sum P$ – количество рабочих мест на участке.

$$K_{зо} = \frac{6}{6} = 1.$$

Коэффициент закрепления операций соответствует массовому типу производства ($K_{з.о.} \leq 1$).

Расчет такта выпуска деталей

τ (мин.) - Такт выпуска - это интервал времени через который с конвейера сходит готовое изделие [41]

$$\tau = \frac{\Phi_d \cdot 60}{N}, \quad (3.6)$$

где Φ_d – годовой действительный фонд времени работы оборудования.

$\Phi_d = 3720$ час

N – годовая программа выпуска

$$\tau = \frac{3720 \cdot 60}{100000} = 2,2(\text{мин.})$$

3.5 Выбор и обоснование принятого варианта заготовки

Метод получения заготовок для деталей машин определяется назначением и конструкцией детали, её массой, техническими требованиями, масштабом и серийностью выпуска, а также экономичностью изготовления [35].

Для изготовления заготовки ступицы, используется материал – сталь 45 ГОСТ 1050-2013.

Для указанных условий выбираем способ получения заготовки горячая объемная штамповка повышенной точности. Это обеспечивает минимальные припуски на обработку. За счёт того штамповочный уклон 2° , 30 мин стойкость штампа меньше чем у горячей объёмной штамповки. За счёт уменьшения припусков на обработку снижается трудоёмкость изготовления детали.

Вывод: выбранный метод изготовления заготовки обеспечивает минимальные припуски на механическую обработку заготовки и экономию материала за счёт этого.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.6 Проектирование маршрутного технологического процесса изготовления детали – ступица

При разработке маршрутной технологии обработки детали Ступица ориентируемся на общие рекомендации для обработки детали типа фланец в массовом производстве. В массовом производстве рекомендуется использовать высокопроизводительное специальное и специализированное оборудование и много инструментальные станки.

Сначала производится штамповка детали и последующий термический отпуск. Затем выполняется обработка базовых поверхностей. Это центро-фрезерная обработка поверхностей, по которым будет происходить базирование на следующих операциях. На второй и третьей операции выполняются токарные обработки. Сначала черновая, затем чистовая обработка поверхности с ступеньками. На следующей операции проводится фрезерная обработка фланцевой части детали и затем производится сверление отверстия и нарезание резьбы М10. Затем производится термическая закалка и шлифовальная операция. Последней операцией является контрольно-измерительная.

Таблица 3.3 – Технологический маршрут изготовления детали

Номер операции	Метод обработки	Тип и модель станка	Режущий инструмент
005	Заготовительная (штамповка)	Штамповочная машина	
010	Термическая (отпуск)	Печь электрическая	
015	Центро-фрезерная	Фрезерный- центровальный станок 2Г942	Фреза торцевая Ø200; сверло центровое Ø4

Продолжение таблицы 3.3

Номер операции	Метод обработки	Тип и модель станка	Режущий инструмент
020	Токарная черновая	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный
025	Токарная чистовая	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный; резец резьбовой
030	Токарная	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный; резец расточной
035	Фрезерная	Станок фрезерный ФС50МФ3	Фреза пальцевая Ø15
040	Агрегатная	Станок агрегатный	Сверло Ø8,5, зенковка, метчик М10
045	Термическая закалка	Печь электрическая	
050	Шлифовальная	Станок кругло- шлифовальный 3М151	Круг шлифовальный
055	Контрольная		

Выводы

Во время выполнения технологической части проекта был разработан технологический процесс изготовления оригинальной детали Ступица. Был

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

проведен анализ технологичности данной детали, был выбран тип производства. Также проведен выбор станков, инструмента и средств измерения.

4 Безопасность жизнедеятельности

К мотор-колесам предъявляется ряд требований, как в плане безопасной эксплуатации, так и в плане экологии. К экологическим требованиям можно отнести подтекание технологических жидкостей из редуктора и тормозной жидкости из тормозного механизма и попадания в почву. Чтобы этого избежать, необходимо периодически проверять состояние корпуса редуктора на наличие трещин, манжетных уплотнений, тормозных шлангов, места их крепления и состояние тормозного цилиндра. В данном разделе рассматриваются мероприятия, проводимые для обеспечения безопасности при изготовлении и эксплуатации мотор-колеса.

Опасные факторы:

- Вращающиеся части приводов в процессе работы могут нанести травму.
- На корпус редуктора, оси сателлитов, действует динамическая нагрузка, что увеличивает вероятность усталостной поломки и разрушения механизма. Что может привести к травмированию.
- Присутствие в редукторе трущихся поверхностей приводит к нагреву корпусных деталей.

Таблица 4.1

Наименование фактора и его характеристика	Нежелательные последствия	Причины проявления опасностей
Опасные факторы		
1. Подвижные элементы – при изготовлении деталей используются станки с режущим инструментом.	Получение травмы рабочего от Металлорежущего инструмента.	Нарушение техники безопасности. Отсутствие защитного оборудования.

Продолжение таблицы 4.1

Наименование фактора и его характеристика	Нежелательные последствия	Причины проявления опасностей
2. Электричество – используется для работы электроинструмента и освещения рабочих мест.	Поражение рабочих электрическим током. Возгорание, пожар, который может привести к ожогам и жертвам.	Нарушение пожарной безопасности, техники безопасности. Некачественная изоляция проводов.
3. Пожароопасные вещества и материалы – Используются при изготовлении ремня вариатора и уплотнительных манжет.	Возникновение пожаров и как следствие ожоги, жертвы и отравления продуктами горения.	Нарушение требований пожарной безопасности. Отсутствие вентиляции.
Вредные факторы		
1. Едкие и токсичные твердые и жидкие вещества – присутствуют на химическом производстве резинотехнических изделий.	Ухудшение самочувствия, нарушение дыхания.	Недостаточная производительность системы вентиляции.

4.1 Экологическая безопасность

Экологические требования к современным транспортным средствам являются в настоящее время приоритетными. Экологическая безопасность – это свойство автомобиля снижать негативные последствия влияния эксплуатации автомобиля на участников движения и окружающую среду. Она направлена на снижение токсичности отработанных газов, уменьшение шума, снижение радиопомех при движении автомобиля.

На платформе специального назначения установлено мотор-колесо. В качестве силового агрегата выступает электродвигатель, у которого отсутствуют вредные выбросы в атмосферу, и небольшое шумовое воздействие, что благоприятно сказывается на экологичности в целом.

4.2 Требования к платформе специального назначения с разрабатываемым мотор-колесом

Для установки разрабатываемого мотор-колеса платформа специального назначения должна иметь подвеску, крепления к колесу которой должны совпадать с кронштейнами крепления корпуса редуктора для подвески.

Масса перевозимого груза и его центр тяжести должны определяться из условий грузоподъемности платформы специального назначения.

Платформу специального назначения допускается эксплуатировать при соблюдении следующих условий:

- масса перевозимого груза не должна превышать грузоподъемности платформы;
- при загрузке платформы максимально допустимым по массе грузом его центр тяжести должен совпадать с центром тяжести платформы.

4.3 Требования безопасности и рекомендации по управлению платформой специального назначения с мотор-колесом

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом запрещается:

- перевозить груз, масса которого больше грузоподъемности платформы;
- движение со скоростью больше разрешенной;
- эксплуатировать платформу с низким уровнем заряда аккумуляторных батарей;
- эксплуатировать платформу специального назначения с неисправностями в электрооборудовании;
- эксплуатировать платформу с неисправной тормозной системой;
- включение заднего хода при движении вперед;
- резкое трогание и торможение (кроме экстренных ситуаций);
- эксплуатировать платформу специального назначения без проведения технического осмотра;
- эксплуатировать платформу с наличием каких-либо неисправностей.

4.4 Мероприятия по безопасной эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом

При эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом рекомендуется руководствоваться рядом правил:

- не превышайте разрешенную максимальную скорость движения платформы с мотор-колесом;
- учитывайте, что при буксировке прицепа или другого неисправного транспортного средства рама, тормоза, редуктор и электродвигатель испытывают повышенные нагрузки и напряжения;

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- помните, что повышение массы, а также повышение сопротивления качению и сопротивления воздуха, вызывают больший расход электроэнергии, вследствие чего запас хода может значительно сократиться;
- если при движении начинается заметное раскачивание платформы, следует уменьшить скорость, а при возможности – остановиться и перераспределить размещение груза;
- немедленно снижайте скорость, если заметили какую-либо неисправность;
- буксировать другое транспортное средство с неисправной тормозной системой разрешается только на жесткой сцепке;
- помните, что при повышенной нагрузке электродвигатель и редуктор могут перегреваться;
- при движении с полной загрузкой, рекомендуется увеличить давление воздуха в шинах;
- избегайте резкого трогания с места, разгона и торможения (кроме экстренных случаев);
- избегайте резких поворотов, особенно с полной загрузкой;
- помните, что при длительном торможении тормозной механизм и тормозной диск нагреваются;
- помните, что при эксплуатации в дождливую погоду, тормоза могут стать менее эффективными из-за влажного тормозного диска.

4.5 Пожарная безопасность

Требования пожарной безопасности подразумевают правила безопасного пребывания рабочих в цехах при изготовлении деталей для механизмов. К ним относятся: создание условий для успешного тушения пожара; предотвращение пожара; ограничение его распространения. Требования пожарной безопасности должны соблюдаться в процессе

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

проектирования, строительства, эксплуатации помещений. Лишь в этом случае получится создать благоприятные условия для производства [50].

Пожарная безопасность регламентирует использование на рабочих местах огнеопасных веществ, их перевозку, хранение и транспортирование. Жидкости и вещества при этом должны находиться в герметичных закрытых сосудах или ёмкостях. Эвакуация людей при возникновении пожара должна производиться своевременно через запасные выходы в помещениях. Все здания должны быть оборудованы средствами пожаротушения для эффективного и своевременного тушения возгорания [53].

Противопожарные мероприятия могут быть организационными, техническими, ремонтными и эксплуатационными.

К организационным мероприятиям относится правильная эксплуатация платформы специального назначения, на производстве: правильная эксплуатация обрабатывающих станков, диагностических, покрасочных, шиномонтажных и других отделений и цехов, а также зданий, территорий.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение требований при проектировании зданий и сооружений; правильность монтажа оборудования; организация отопления цехов и качественной вентиляции.

При ремонте и восстановлении емкостей для горючих жидкостей и топливных баков, необходимо сначала промыть, высушить, убедиться, что не осталось следов горючих материалов. Затем можно приступать к сварке, при открытых крышках. Запрещается курение в непредназначенных для этого местах.

Эксплуатационные мероприятия заключаются в профилактических осмотрах, в плановых ремонтах оборудования, машин и механизмов, проведения испытаний на стендах двигателей или автомобилей [50].

Огнетушители должны располагаться рядом с наиболее возможным появлением очага пожара. Все рабочие должны пройти технику безопасности и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения. В случае

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пожара необходимо обесточить помещение и по возможности, перекрыть доступ горючих веществ в область пожара. Информация о горючих веществах и их свойствах приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Пожарные свойства применяемых веществ и материалов.

Наименование веществ	Температура, °С		
	Вспышки	Самовоспламенения	Воспламенения
Химические и органические вещества и нефтепродукты	До 104 Свыше 104	-	-
Лаки, краски, эмали	-	-	-
Пластичная смазка редуктора	199	364	Свыше 250

Выводы

Соответствие эксплуатационных качеств платформы с эксплуатационными качествами мотор-колеса, позволяет обеспечить полный срок службы мотор-колеса. В результате чего могут быть достигнуты высокие экологические показатели.

Безопасность движения зависит от внимательности оператора, управляющего платформой, надежной и совершенной конструкции рамы платформы и мотор-колеса, своевременного технического обслуживания, использование сигналов и знаков, регулирующих движение и предупреждающих об опасности, от легкости управления платформой и условий труда оператора.

5 Инструкция по эксплуатации

Разрабатываемое мотор-колесо для платформы специального назначения крепится через кронштейны крепления к рычагам подвески. Основными элементами мотор-колеса являются: электродвигатель, планетарный редуктор, тормозная система и колесный диск с безвоздушной литой покрышкой.

При подаче напряжения на электродвигатель, ротор начинает вращательное движение. В свою очередь солнечная шестерня связана напрямую с ротором с помощью крепежных винтов и имеет ту же частоту вращения, что и якорь. Далее солнечная шестерня передает крутящий момент на сателлиты, которые установлены на осях. Сателлиты в свою очередь обкатываются по неподвижному коронному колесу и распределяют крутящий момент на водило (через оси сателлитов). В качестве водила как раз и выступает колесный диск. Платформа начинает движение.

Для того чтобы снять напряжение от колеса на оси сателлитов, колесо крепится к фланцу, который свободно вращается с той же частотой вращения, что и колесный диск, что и оси сателлитов. Он же и воспринимает всю основную нагрузку от колеса.

Тормозная система имеет электромагнитный привод. То есть на выдавливание тормозного цилиндра действует не жидкость под давлением, а электромагнит нормально-закрытого типа (без электрического напряжения цилиндр разжат, колодки блокируют тормозной диск). Такая система избавит дополнительно от проектирования стояночного тормоза, поскольку при выключении питания платформы, электромагнит не будет получать электроэнергию, и колодки автоматически будут блокировать тормозной диск, выступая в качестве стояночного тормоза. Также есть и ещё одно преимущество, в процессе движения в случае обрыва какого-либо провода,

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

аварии в электрической системе, колодки также будут блокироваться и останавливать платформу, а не продолжать движение.

Тормозной суппорт закреплен двумя винтами на специальных кронштейнах крепления корпуса редуктора.

5.1 Управление платформой специального назначения с мотор-колесом

Платформа специального назначения имеет два режима эксплуатации: ручной – осуществляется оператором с пульта управления и автономный – платформа перемещается по заданному ранее маршруту. При ручном управлении перед эксплуатацией необходимо провести ежедневное техническое обслуживание. Ежедневная проверка предназначена для возможного обнаружения неисправности или неполадки в агрегатах, узлах и механизмах. После проведения технического осмотра, при отсутствии неисправностей возможна эксплуатация платформы.

Управление платформой осуществляется дистанционно с помощью пульта управления. На платформе может быть дополнительно установлена камера, транслирующая обзорность дороги на экран монитора компьютера оператора, с установленным программным обеспечением после соединения по беспроводной сети с камерой.

Пульт управления сопряжен с устройством приемником, установленным на платформе специального назначения. Сигнал передается также по беспроводной сети и затем от приемника направляется в бортовой компьютер. Включение пульта управление осуществляется нажатием соответствующей кнопки питания на пульте.

Запуск.

Для того чтобы платформа начала движение перед этим необходимо подать электрическое напряжение с аккумуляторных батарей на бортовой компьютер, который с помощью блоков управления осуществляет контроль

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

над электродвигателем, тормозной системой и рулевым управлением. Подача напряжения в систему платформы осуществляется за счет переключения тумблера, установленного на бортовом компьютере.

Движение.

Движение платформы осуществляется за счет вращения электродвигателя, который через редуктор передает крутящий момент на колесный диск. Для осуществления движения необходимо подать электрическое напряжение на электродвигатель. Для подачи электрического напряжения на электродвигатель необходимо перевести соответствующий джостик разгона и торможения на пульте управления вперед. От интенсивности нажатия зависит подаваемое электричество и соответственно частота оборотов электродвигателя, что напрямую влияет на разгон и скорость платформы.

Торможение.

Тормозная система платформы специального назначения нормально-закрытого типа и имеет электромагнитный привод, т.е. при прекращении подачи электричества на электромагнит, он воздействует на тормозной цилиндр и сжимает колодки, тем самым производится блокировка колес и как следствие торможение платформы. Такая система выбрана для того, чтобы в случае обрыва провода или в случаях разряда аккумуляторной батареи, или при сбоях в электрической схеме, подача электричества на электромагнит прекращается, и колеса блокируются, платформа останавливается. Также при остановке, при прекращении подачи электричества на электродвигатель колеса также блокируются и выполняют роль стояночного тормоза. При подаче напряжения на электродвигатель для движения, бортовой компьютер одновременно с этим подает напряжение и на электромагнит тормозного механизма, тем самым колодки размыкаются и колесный диск может свободно вращаться. Для торможения необходимо перевести соответствующий джостик

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

разгона и торможения на пульте управления вниз. Интенсивность нажатия соответствует перемещению и силе сжатия колодок на тормозном диске.

Рулевое управление.

Поворот платформы осуществляется за счет поворота передних управляемых колес в нужном направлении. Колеса поворачиваются, как и в обычном автомобиле, но имеют электрический привод. При необходимости повернуть налево или направо оператор переводит джостик поворота пульта управления в соответствующую повороту сторону. Интенсивность нажатия на джостик поворота напрямую влияет на угол поворота управляемых колес.

В случае аварийной ситуации.

В экстренных ситуациях, когда необходимо остановить платформу или прекратить подачу электричества во всей системе, на пульте управления имеется аварийная кнопка.

Автономный режим.

Для автономного режима проводятся все те же подготовительные процедуры, проводится ежедневное техническое обслуживание. Затем оператор с помощью специального программного обеспечения подключается к бортовому компьютеру, заносит предварительный маршрут движения и оптимальную скорость движения. Далее платформа сама начинает движение с помощью системы автоматизации и с помощью датчиков парктроник избегает столкновения с препятствиями, и может корректировать маршрут, с помощью системы управления, тормозной системы, чтобы добраться до конечной точки. При достаточной видимости оператора, он и сам может подкорректировать маршрут платформы, с помощью джостика поворота на пульте управления. В аварийном случае оператор может дистанционно прервать данную операцию нажатием соответствующей кнопки на пульте и затем кнопкой вызова вернуть платформу в исходную точку.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5.2 Общие требования к эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом

При соблюдении всех правил технической эксплуатации, срок службы мотор-колес довольно большой. При работе не требуется постоянное наблюдение за работой агрегата, достаточно вовремя проводить техническое обслуживание и регулярный осмотр, на предмет обнаружения неисправностей [54].

Гарантированный срок службы механизма определяется его ресурсом, который зависит от конструкции, материала изготовления и степени загрузки. Для мотор-редукторов, применяемых в машиностроении ресурс равен 15000 — 20000 часам наработки. Но такой срок работы возможен только при точном выполнении правил технической эксплуатации. Если их не придерживаться, то даже такой точный и отлаженный механизм, как мотор-редуктор может выйти из строя по следующим причинам:

При длительной работе с нагрузкой превышающую допустимую, указанную в технических условиях, может произойти перегрев электродвигателя. Причиной дефекта является разрыв обмоток одной фазы, или замыкание проводов обмотки.

К техническому состоянию основных узлов, агрегатов, механизмов предъявляют следующие требования:

В случае отсутствия или недостаточного количества смазки в корпусе редуктора возможен выход из строя подшипникового узла, при этом возникает характерный звук в виде стука.

В случае если ступица колеса и ось электродвигателя несоосны, то при работе наблюдается сильная вибрация. В результате это может привести к разрушению подшипникового узла.

Зубчатые колеса, расположенные на ведущем и ведомом валах, должны иметь сколов, забоин и трещин. На поверхностях, взаимодействующих с

манжетами, не допускаются задиры и вмятины. Шлицы не должны иметь вмятин и забоин, затрудняющих сборку. В противном случае требуется замена вала. Пятно контакта между зубчатых шестерен должно распространяться по всей поверхности зубьев и не иметь износа.

На манжетном уплотнении не допускается выдавливание смазки. Все крепежные винты должны быть затянуты.

Перед внешним осмотром редуктора, необходимо очистить корпус с помощью щетки или скребка. Затем продуть все отверстия и полости сжатым воздухом. Кронштейны крепления тормозного механизма и подвески не должны иметь трещин и усталостного износа. На корпусе редуктора не должно быть сколов, трещин, а на поверхностях установки подшипников – повреждений или износа.

Необходимо убедиться, чтобы на всех поверхностях разъема не было раковин или повреждений. Перед сборкой, все соприкасающиеся поверхности нужно покрыть тонким слоем герметика [55].

Подшипники качения не должны иметь осевого или радиального люфта. Тела качения и сепаратор должны быть без видимых повреждений. В противном случае необходима замена подшипника.

Техническому состоянию механизмов торможения следует уделять усиленное внимание и перед каждой эксплуатацией проводить их внешний осмотр и немедленно устранять все обнаруженные неисправности.

Исправность подвески платформы определяется при внешнем осмотре деталей рычагов, пружин, дисков, колес и шин. Недопустимы погнутости и трещины в рычагах или других деталях независимой подвески, повреждения и ослабления крепления пружин и других деталей [56].

Колесные диски должны быть надежно закреплены с помощью винтов к ступицам. Не допускаются трещины, вмятины и разработанные отверстия для крепления. Подшипники ступицы не должны превышать допустимый радиальный и осевой люфт.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Электрооборудование автомобиля должно обеспечивать бесперебойную работу электродвигателя, тормозной системы. Все провода системы электропитания должны иметь не поврежденную изоляцию. Аккумуляторные батареи должны быть герметичны и надежно закреплены по днищу платформы [57].

Основным условием длительной безотказной работы мотор-колеса является своевременное выполнение всех требований технического обслуживания механизма. Такие действия сохранят длительное время в исправности данный механизм.

5.3 Технико-экономическое обоснование мотор-колеса

Технико-экономическое обоснование при выборе данного типа привода проводится методом относительной технико-экономической оценки, экспериментальным путем. Такой метод позволяет уже на ранних стадиях исследования и разработок не только давать оценку тем или иным техническим решениям, но и выбирать лучшее, как в техническом, так и в экономическом аспектах[58].

При ограниченной информации о различных типах приводов, возможных для применения, на ранних стадиях разработки, применение методов определения экономической эффективности и технического уровня является сложной задачей. Здесь будет полезен относительно простой метод укрупненной оценки для оценки вариантов приводов на стадии технического задания. При оценке эффективности в техническом и экономическом плане, выбираем наиболее существенные анализирующие показатели привода подъема на стадии их производства и эксплуатации, на ранних стадиях разработки [59].

Выбор технических и экономических показателей обусловлен такими факторами, как назначение, область применения, условия эксплуатации, технология изготовления, затраты на изготовление, себестоимость.

Таким образом, выбираем следующие показатели:

- габаритные размеры,
- характеристики массы,
- себестоимость,
- эксплуатационные характеристики,
- ремонтпригодность.

5.4 Комплексный метод оценки (технический уровень продукции)

Расчет показателя ТУП (технический уровень продукции) при этом методе состоит из нескольких действий (шагов), выполняемых в такой последовательности:

- выбор базы для сравнения,
- выбор номенклатуры (перечня) показателей качества продукции (ПКП), определяющих комплексный показатель ТУП,
- определение абсолютных значений ПКП для оцениваемого и базового образцов продукции,
- определение параметров весомости (значимости) отдельных ПКП,
- количественная оценка комплексного показателя ТУП [39].

Исходя из определения ТУП по ГОСТ 15467-79, его можно определить по формуле:

$$П_K = \sum_{i=1}^n a_i Q_i, \quad (5.1)$$

где $Q_i = P_{iП} / P_{ia}$, если увеличение $P_{iП}$ повышает ТУП,

$Q_i = P_{ia} / P_{iП}$, если увеличение $P_{iП}$ приводит к снижению ТУП,

где $P_{iП}$ и P_{ia} – численные значения (параметры) качественных характеристик аналогов и проектируемого мотор-колеса.

Как наиболее простой и доступный метод можно использовать экспертную оценку параметров (коэффициентов) весомости показателя качества продукции.

Для этого подбираем трех экспертов ($j = 1, m$). На основе знаний, интуиции, опыта каждый j -й эксперт дает оценку по каждому i -му показателю качества продукции ($i = 1, n$) в баллах в диапазоне от 1 до 10.

Тогда коэффициент весомости i -го показателя качества продукции у j -го эксперта составит:

$$a_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij}, \quad (5.2)$$

где m - число экспертов.

$$a_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sum_{i=1}^n K_{ij}}, \quad (5.3)$$

где K_{ij} - оценка данного эксперта,

n - число технических характеристик.

$$a_{11} = \frac{8}{\sum_{i=1}^6 K_{i1}} = \frac{8}{44} = 0,18,$$

Рассчитав все значения a_{ij} , найдем коэффициент весомости по формуле 5.2:

$$a_1 = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 a_{1j} = \frac{1}{3} \cdot 0,58 = 0,19$$

Для остальных коэффициентов весомости расчетные значения представлены в таблице 5.1.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

Таблица 5.1 – расчетные значения экспертов.

Показатели качества (технические характеристики)	Эксперт 1		Эксперт 2		Эксперт 3		a_i
	K_{i1}	a_{i1}	K_{i2}	a_{i2}	K_{i3}	a_{i3}	
Масса мотор колеса	8	0,18	8	0,19	10	0,21	0,19
Грузоподъемность	9	0,20	6	0,14	8	0,17	0,17
Периодичность ремонт	4	0,09	7	0,17	7	0,15	0,14
Максимальная скорость	7	0,16	9	0,21	8	0,17	0,18
Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^6$	9	0,20	5	0,12	6	0,13	0,15
Мощность привода	7	0,16	7	0,17	8	0,17	0,17

Зная показатели средней количественной оценки характеристик аналоговых мотор-колес и зная характеристики проектируемого мотор-колеса, а также рассчитав коэффициент весомости из таблицы 5.1 найдем остальные значения и занесем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Показатели качества оцениваемой продукции

№	Показатели качества (технические характеристики)	Един. измер.	Количественная оценка показателя		Q_i	a_i	$a_i \cdot Q_i$
			P_{iA}	P_{iB}			
1	Масса мотор колеса	кг	10	8,5	1,25	0,19	0,236
2	Грузоподъёмность	кг	100	75	1,33	0,17	0,255
3	Максимальная скорость	Км/ч	15	35	2,33	0,14	0,226

Продолжение таблицы 5.2

№	Показатели качества (технические характеристики)	Един. измер.	Количественная оценка показателя		Q_i	a_i	$a_i \cdot Q_i$
			P_{iA}	$P_{iП}$			
4	Периодичность ремонтов	мес	5	6	1,2	0,18	0,216
5	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^6$	ч ⁻¹	0,13	0,12	1,08	0,15	0,162
6	Мощность привода	кВт	4	2,9	1,38	0,17	0,235
7	КПД общий		0,95	0,98			
9	Диаметр колеса	м	0,700	0,600			
Итого							1,33

5.5 Расчет себестоимости калькулированием

Используя расчетно-аналитический метод калькулирования, проведем расчет технологической себестоимости разрабатываемого мотор-колеса. Сущность метода сводится к тому, что прямые затраты на единицу продукции определяются путем нормативного расчета, а косвенные – пропорционально принятому признаку [60].

По существующей классификации затрат используются следующие статьи калькуляции:

5.5.1 Материалы

В статье «материалы» – затраты на материалы определяются на основании норм расхода каждого вида материалов и договорных цен с учетом транспортно-заготовочных расходов [62]:

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

$$S_M = G_i C_i \cdot 1,06, \quad (5.4)$$

где G_i – норма расхода i -го материала для производства продукции;

C_i – оптовая цена единицы веса i – го материала;

1,06 – коэффициент транспортно-заготовительных расходов.

Для корпуса редуктора затраты на 1 единицу продукции составят:

$$S_M = 1,5 \cdot 100 \cdot 1,06 = 159 \text{ руб.}$$

Для остальных деталей результаты расчетов сведем в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Затраты на каждый вид изготавливаемой продукции

Наименование материала	Норма расхода G , кг	Оптовая цена за кг продукции C , (руб/кг)	Стоимость материалов S_M , руб
Корпус редуктора, материал СЧ20	1,5	100	159
Зубчатые колеса редуктора, материал Сталь 40Х	1,16	52,58	64,65
Манжета, материал полиуретан	0,5	700	371
Ступица, материал Сталь 45	0,8	73,69	62,49
Покрышки, материал литая резина	1,8	100	190,8
Колесный диск, материал алюминиевый сплав Д16Т	3,2	250	848
Итого общая сумма			1695,94

5.5.2 Возвратные отходы

Возвратные отходы определяются по формуле [62]:

$$S_o = H_i C_i \cdot 0,2, \quad (5.5)$$

где H_i – норма отходов i – го материала;

C_i – оптовая цена отходов i – го материала.

0,2 – коэффициент веса отходов.

Тогда для одного корпуса редуктора возвратные отходы составят:

$$S_o = 1,5 \cdot 10 \cdot 0,2 = 3 \text{руб.}$$

Для остальных деталей результаты расчетов сведем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Возвратные отходы по каждому виду изготавливаемой продукции

Наименование материала	Норма отходов H , кг	Оптовая цена за кг отходов C , (руб/кг)	Возвратные отходы S_o , руб.
Зубчатые колеса редуктора, материал Сталь 40Х	1,16	10	2,32
Ступица, материал Сталь 45	0,8	10	1,6
Итого общая сумма			3,92

5.5.3 Основная заработная плата производственных рабочих

В статью включается основная заработная плата за работу, напрямую связанную с изготовлением продукции, которая может быть определена прямым путем:

$$З_0 = З_Т + З_П, \quad (5.6)$$

где $З_Т$ – зарплата по тарифу, руб;

$З_П$ – доплаты по сдельно-премиальным системам (50% от зарплаты по тарифу)

где t_i – трудоемкость по i -му виду работ, час;

T_i – тарифная ставка, соответствующая i -му виду работ.

Сделаем расчет заработной платы по каждому виду работ и занесем полученные значения в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Заработная плата по тарифу

Операции	Трудоемкость операции, час	Часовая тарифная ставка, руб	Заработная плата по тарифу $З_Т$, руб
Подготовка деталей	2	218,75	437,5
Сборка	2	218,75	437,5
Контроль сборки	0,75	187,5	140,625
Контроль качества	3	250	750
Зарплата по тарифу			1765,63

С учетом доплат по прогрессивно-премиальной системе (50%):

$$З_0 = 1765,63 \cdot 1,5 = 2648,4 \text{ руб.}$$

5.5.4 Дополнительная заработная плата

Эта статья включает в себя выплаты, предусмотренные законодательством о труде за неотработанное время (оплата отпусков, льготных часов подростков и т.д.). Принимаем дополнительную заработная плату 10% от основной, получаем:

$$З_Д = З_Т \cdot 0,1, \quad (5.7)$$

$$З_{\text{д}} = 1765,63 \cdot 0,1 = 176,6 \text{ руб.}$$

5.5.5 Отчисления на социальные нужды

Отчисления устанавливаются в размере 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы. Составляющие отчислений на социальные нужды:

Пенсионный фонд 22%;

Социальное страхование 2,9%;

Медицинское страхование 5,1%;

Затраты по этой статье:

$$З_{\text{отч}} = 0,3 \cdot (З_{\text{о}} + З_{\text{д}}), \quad (5.8)$$

$$З_{\text{отч}} = 0,3 \cdot (2648,4 + 176,6) = 847,5 \text{ руб.}$$

5.5.6 Расходы на освоение и подготовку производства

Расходы определяются по отраслевым нормативам, установленным в процентах от тарифной заработной платы для различных типов производства. Для крупносерийного производства принимаем 10%. Тогда затраты по этой статье:

$$З_{\text{п.пр.}} = З_{\text{т}} \cdot 0,1, \quad (5.9)$$

$$З_{\text{п.пр.}} = 1765,63 \cdot 0,1 = 176,6 \text{ руб.}$$

5.5.7 Возмещение износа инструментов и приспособлений

К этим расходам относятся:

- 1) погашение стоимости специальных инструментов и приспособлений, а также расходы на ремонт и содержание в исправном состоянии;

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

2) специальные расходы (на изготовление и приобретение нестандартного оборудования, на содержание конструкторского бюро и т.д.).

Эти расходы могут быть найдены на основе нормативных отраслевых коэффициентов. Для крупносерийного производства данный коэффициент равен 10% от тарифной заработной платы:

$$З_{\text{ИЗН.}} = З_{\text{Т}} \cdot 0,1, \quad (5.10)$$

$$З_{\text{ИЗН.}} = 1765,63 \cdot 0,1 = 176,6 \text{ руб.}$$

5.5.8 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

В этой статье учитываются затраты на содержание, амортизацию и текущий ремонт оборудования [62].

Эти расходы рассчитываются в процентах от тарифной заработной платы производственных рабочих и составляют 40-50%, принимаем 50%, тогда:

$$З_{\text{СОДЕРЖ}} = З_{\text{Т}} \cdot 0,5, \quad (5.11)$$

$$З_{\text{СОДЕРЖ}} = 1765,63 \cdot 0,5 = 882,8 \text{ руб.}$$

5.5.9 Общепроизводственные расходы

В эту статью включаются затраты на обслуживание цехов и управление ими (зарплата управления, амортизация, затраты на охрану труда и другие расходы).

Эти расходы распределяются по видам продукции пропорционально тарифной заработной плате. Принимаем 100%, тогда затраты по данной статье составляют:

$$З_{\text{ОБЩЕПР}} = З_{\text{Т}}, \quad (5.12)$$

$$З_{\text{ОБЩЕПР}} = 1765,63 \text{ руб.}$$

5.5.10 Общехозяйственные расходы

В этой статье содержатся затраты, связанные с управлением предприятием и организацией производства.

К ним относятся расходы:

- 1) административно-управленческие;
- 2) общехозяйственные;
- 3) сборы и прочие обязательные расходы и отчисления.

Эти расходы, как и общепроизводственные распределяются по видам продукции пропорционально тарифной заработной плате. Принимаем 60%, тогда получим:

$$З_{\text{ОБЩЕХОЗ}} = З_{\text{Т}} \cdot 0,6, \quad (5.12)$$

$$З_{\text{ОБЩЕХОЗ}} = 1765,63 \cdot 0,6 = 1059,4 \text{ руб.}$$

5.5.11 Прочие производственные расходы

Эти расходы учитывают:

- 1) отчисления на научно-исследовательские и опытные работы;
- 2) затраты на гарантийное обслуживание и ремонт изделий;
- 3) расходы на стандартизацию;
- 4) отчисления на техническую пропаганду.

Прочие производственные расходы распределяются пропорционально производственной себестоимости или основной заработной плате. Принимаем 15% от тарифной заработной платы, тогда затраты по данной статье:

$$З_{\text{ПРОЧ}} = З_{\text{Т}} \cdot 0,15, \quad (5.13)$$

$$З_{\text{ПРОЧ}} = 1765,63 \cdot 0,15 = 264,8 \text{ руб.}$$

5.5.12 Суммарная себестоимость изделия

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		103

Сведем все полученные значения в таблицу 5.6.

Таблица 5.6 – Общие затраты на изготовление единицы продукции

Статья калькуляции	Денежные средства, руб
Материалы	1695,94
Возвратные отходы	3,92
Основная заработная плата рабочих	2648,4
Дополнительная заработная плата	176,6
Отчисления на социальные нужды	847,5
Расходы на освоение и подготовку производства	176,6
Износ инструментов и приспособлений	176,6
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	882,8
Общепроизводственные расходы	1765,63
Общехозяйственные расходы	1059,4
Прочие производственные расходы	264,8
Производственные затраты на единицу изделия производства С1	9698,19

Помимо проектируемых изделий, есть детали и узлы покупного варианта, к ним относятся электродвигатель, тормозной механизм, подшипники, упорные кольца, крепежные детали, смазка редуктора и др.

По приблизительной оценке, данные затраты С2 составят около 40000 руб. Тогда себестоимость одного мотор-колеса составит:

$$C=C1+C2, \quad (5.14)$$

$$C=9698,19+40000=49698,19 \text{ руб.}$$

5.6 Прогнозирование цены проектируемого изделия

В основе прогноза нижнего предела цены $C_{\min}$ лежит прогнозирование себестоимости нового изделия. Цена определяется как сумма себестоимости C и минимально необходимой прибыли Π [63].

$$C_{\min} = C + \Pi_{\min}, \quad (5.15)$$

Минимально необходимая прибыль диктуется средним уровнем рентабельности продукции (P). Примем ее равной 20% от себестоимости, тогда:

$$C_{\min} = C \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right), \quad (5.16)$$

$$C_{\min} = 49698,19 \cdot 1,2 = 59637,83$$

Определяем верхний предел цены $C_{\max}$ по формуле:

$$C_{\max} = 0,9 \cdot C_a (1 + 0,7(\Pi_k - 1)), \quad (5.17)$$

где C_a – цена аналога. В соответствии со средней рыночной стоимостью мотор-колес принимаем $C_a = 60000$ руб.

$\Pi_k = 1,33$ – показатель качества технического уровня проектируемого мотор-колеса (смотри таблицу 5.2)

0,9 – коэффициент, учитывающий моральное старение.

$$C_{\max} = 0,9 \cdot 60000(1 + 0,7(1,33 - 1)) = 66474 \text{ руб.}$$

Располагая ценой аналога с помощью показателя качества Π_k проектируемого изделия нашли верхний и нижний пределы ожидаемой цены $C_{\min} = 59637,83$ руб и $C_{\max} = 66474$ руб. $C_{\max} > C_{\min}$ это означает, что проектируемое изделие будет выгодно изготовителю и потребителю.

Выводы

В данном разделе описан полный список мероприятий по эксплуатации платформы специального назначения с мотор-колесом. Разработаны общие требования к эксплуатации платформы специального назначения. С помощью комплексного метода оценки был рассчитан показатель качества технического

уровня проектируемого изделия. Рассчитаны основные и дополнительные затраты на производство и с помощью прогнозирования цены проектируемого мотор-колеса было выявлено, что данное мотор-колесо будет пользоваться спросом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе расчета дипломного проекта были проработаны следующие вопросы:

Во время проведения патентного поиска были выявлены прогрессивные технические решения. Было установлено, что разрабатываемое мотор-колесо обладает патентной чистотой в России и США. Можно подать заявку на изобретение.

В конструкторском разделе был проведен расчет планетарного редуктора. Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния корпуса редуктора.

В технологическом разделе был проведен анализ технологичности оригинальной детали, а затем был разработан технологический процесс изготовления оригинальной детали Ступица.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» были рассмотрены опасные факторы, влияющие на человека и окружающую среду, меры пожарной безопасности при изготовлении редуктора, а также методы безопасной эксплуатации мотор-колеса.

В инструкции по эксплуатации подробно расписаны порядок работы мотор-колеса. Был применен комплексный метод оценки, найден показатель качества, выполнен расчет себестоимости калькулированием, а также прогнозирование цены проектируемого мотор-колеса.

Цель работы достигнута, поставленные задачи выполнены.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артёмов, И.И. Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы. Курсовое и дипломное проектирование: методика и общие требования/ Артёмов, И.И. Балакшин А.Б. – Пенза; ПГУ, 2004. – 180 с.
2. Иванов, В.В., Иларионов, В.А., Морин М.М., Мастиков, В.А. Основы теории автомобиля и трактора. Учеб. пособие для механич. специальностей вузов. М., «Высш.школа», 1970. 224 с.
3. Мельник, С.В. Механические конструкции колёсных и гусеничных машин/ С.В. Мельник, В.П. Расщупкин – М.: Машиностроение, 1962. – 342с.
4. Иванов, В.В., Иларионов, В.А., Морин М.М., Мастиков, В.А. Основы теории автомобиля и трактора. Учеб. пособие для механич. специальностей вузов. М., «Высш.школа», 1970. 224 с.
5. Белка в колесе: Мотор-колесо: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/9009-belka-v-kolese-motor-koleso/#part0>. (дата обращения: 06.12.2019).
6. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб.пособие для техн. спец. вузов. – 7-е изд., испр. / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – М.: Высш. шк., 2001. – 447 с.
7. Карунин, А.Л. Конструкция автомобиля. Шасси. / Под общ. ред. А.Л. Карунина – М.; МАМИ, 2000. – 528с.
8. Вахламов В.К. Автомобили. Теория и конструкция автомобиля и двигателя. Учебник для студ учреждений среднего проф образования. Вахламов В.К. Шатров М.Г., Юрчевский А.А. Под редЮрчевского А.А. М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 816с.
9. Полунгян, А.А. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2т Т.1. Учеб для вузов/ Б.А.Афанасьев, Б.Н.Белоусов, Л.Ф.Жеглов и др.: Под общ. ред. А.А.Полунгяна.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 1999.- 488 с.

10. [Электронный ресурс]: <https://www1.fips.ru/>.
11. [Электронный ресурс]: <https://www.uspto.gov/patent>.
12. [Электронный ресурс]: <http://patents.su/>.
13. Анохина М.В. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта «Привод к стенду с использованием планетарного редуктора» / М.В. Анохина, С.В. Никитин. – М.: МАДИ, 2017. – 60 с.
14. Вахламов В.К. Автомобили. Теория и конструкция автомобиля и двигателя. Учебник для студ учреждений среднего проф образования. Вахламов В.К. Шатров М.Г., Юрчевский А.А. Под ред. Юрчевского А.А. М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 816с.
15. Полунгян, А.А. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2т Т.1. Учеб для вузов/ Б.А.Афанасьев, Б.Н.Белоусов, Л.Ф.Жеглов и др.: Под общ. ред. А.А.Полунгяна.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 1999.- 488 с.
16. В. И. Анурьев Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т3/Под ред. И. Н. Жестковой. — М.: Машиностроение, 2001.- 864 с.
17. Балдин, В.А. Детали машин и основы конструирования. Передачи: учебное пособие для вузов / В.А. Балдин, В.В. Галевко. – М.: ИКЦ, 2006.
18. Малиновский, А.Н. Методические указания к расчетам и анализу современных редукторов по куру «Детали машин» / А.Н. Малиновский. – М.: МАДИ, 1981.
19. Иванов, М.Н. Детали машин: учебник для вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М.: Высшая школа, 2013.
20. [Электронный ресурс]: https://studwood.ru/1448512/tovarovedenie/vybor_smazki
21. [Электронный ресурс]: <https://eam.su/5-2-plastichnye-smazochnye-materialy-xarakteristiki.html>
22. Анохина М.В. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта «Привод ленточного конвейера» / М.В. Анохина, Т.Н. Зюзина, С.В. Никитин, О.Е. Шапырина. – М., МАДИ, 2013.

23. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб.пособие для техн. спец. вузов. – 7-е изд., испр. / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – М.: Высш. шк., 2001. – 447 с.

24. [Электронный ресурс]: <https://vsmservis.com/marki-poliuretana-i-ih-harakteristiki/>

25. Карунин, А.Л. Конструкция автомобиля. Шасси. / Под общ. ред. А.Л. Карунина – М.; МАМИ, 2000. – 528с.

26. [Электронный ресурс]: https://ruchservomotor.com/html/syn_rotaryRM_24_ru.htm.

27. Пантелеев, В.Ф. Конструирование деталей и узлов технологических и транспортных машин: Учебное пособие для вузов / В.Ф. Пантелеев, С.А. Кулишенко, В.В. Сенькин, П.А. Соколов, Е.А. Чуфистов – Пенза; 2003. – 196 с.

28. Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: Учеб. Пособие для втузов/Под ред. К.В.Фролова. - 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Высш. шк., 1998. - 335 с.

29. Синтез эвольвентного зубчатого зацепления. Методические указания к курсовому проектированию для студентов-заочников механических специальностей. Лоцманенко В.В., ДВГТУ, Владивосток, 1991. - 27 с.

30. Планетарные передачи: справочник / под ред. В.Н. Кудрявцева и Ю.Н. Кудряшева. – Л.: Машиностроение, 1977. – 536 с.

31. Жильников Е.П. Алгоритмизированный расчёт планетарных передач: метод. указания / Е.П. Жильников, А.М. Циприн, А.Н. Тихонов. – Куйбышев: Куйбыш. авиац. ин-т, 1985. – 20 с.

32. Основы расчёта и конструирования деталей и механизмов летательных аппаратов: учеб. пособие / Н.А. Алексеева, А.А. БончОсмоловский, В.В. Волгин [и др.]; под общ. ред. В.Н. Кестельмана, Г.И. Рощина. – М.: Машиностроение, 1989. – 456 с.

33. Курсовое проектирование деталей машин: учеб. пособие / В.Н. Кудрявцев, Ю.А. Державец, И.И. Арефьев [и др.]; под общ. ред. В.Н. Кудрявцева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 400 с.

34. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учебное пособие для машиностроит. спец. вузов]. 4-е изд. перераб. и доп. / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – М.; Высш. шк., 1983. – 256 с.

35. Худобин Л.В. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. Пособие для машиностроит. Спец. Вузов. – М.: Машиностроение, 1989

36. Жуков Э.Л. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 2. Производство деталей машин: Учеб. Пособ. Для вузов. – М.: Высш. шк. 2003. – 295 с

37. Скворцов В.Ф. Основы размерного анализа технологических процессов изготовления деталей. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ 2009 - 91с. ISBN 5-98298-450-7.

38. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 665 с

39. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

40. Зуев, А.А. Технология машиностроения / А.А. Зуев. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во "Лань", 2003. – 496 с.

41. Никифоров, А.Д. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов химических производств / А.Д. Никифоров, В.А. Беленький, Ю.В. Поплавский. – М. : Машиностроение, 1979. – 278 с.

42. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб.пособие для техн. спец. вузов. – 7-е изд., испр. / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – М.: Высш. шк., 2001. – 447 с.

43. Карунин, А.Л. Конструкция автомобиля. Шасси. /Под общ.ред. А.Л. Карунина – М.; МАМИ, 2000. – 528с.

44. Мельник, С.В. Механические конструкции колёсных и гусеничных машин/ С.В. Мельник, В.П. Расщупкин – М.: Машиностроение, 1962. – 342с.

45. Андриенко Л.А. Детали машин: учебник / Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 520 с.

46. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для машиностроит. и мех. спец. вузов / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

47. Ан드로sov А.А. Расчет и проектирование деталей машин: учеб. пособ. / А.А. Ан드로sov. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 286 с.

48. Крайнев А.Ф. Детали машин: словарь – справочник / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.

49. ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения»53. Коробко, В.И. Охрана труда: учебное пособие / В. И. Коробко. - М. : Юнити-Дана, 2012. - 239 с.

50. Мухаметзянов, И.Ш. Организация рабочего места с персональным компьютером / И. Ш. Мухаметзянов. - М. , 2010. - 35 с.

51. Охрана труда в машиностроении. Учебник для машиностроительных ВУЗов./ Под ред. Фельдштейна Е.Э. – Минск: Дизайн ПРО, 1997 – 384с

52. Охрана труда на АТП (справочник), М.: Транспорт, 2013, с.134-142.

53. Правила техники безопасности для предприятий автомобильного транспорта, М. :Транспорт, 2010, 70 с.

54. Иванов, В.В., Иларионов, В.А., Морин М.М., Мاستиков, В.А. Основы теории автомобиля и трактора. Учеб. пособие для механич. специальностей вузов. М., «Высш.школа», 1970. 224 с.

55. Техника безопасности и противопожарная техника в машиностроении. Духанин Ю.А., Акулин Д.Ф. – Ленинград: Машиностроение, 1973 – 304 с.

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						112
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

56. Охрана окружающей среды. Учебное пособие для студентов ВУЗов./
Под ред. Белова С.В. – М.: Высшая школа, 1983 – 264с

57. Справочник по технике безопасности. Долин П.А. – М.: Энергоиздат, 1984 – 256с.

58. Вертакова, Ю.В. Экономика и орг. производства: Учебное пособие / Ю.В. Вертакова, Ю.И. Трещевский, Г.Н. Франовская. - М.: Инфра-М, 2009. - 320 с.

59. Баскакова, О.В. Экономика предприятия (организации): учебник для студентов бакалавриата / О. В. Баскакова, Л. Ф. Сейко. - Москва : Дашков и К, 2018. - 369 с.

60. Экономика организации (предприятия): учебник и практикум для прикладного бакалавриата / И. В. Сергеев, И. И. Веретенникова. – Москва: Юрайт, 2015. – 510 с.

61. Еленева, Ю.А. Экономика машиностроительного производства / Ю.А. Еленева. - М.: Academia, 2016. - 297 с.

62. Герасина, О.Н. Экономика машиностроительного производства / О.Н. Герасина. - М.: МГИУ, 2007. - 128 с.

63. Юзов, О.В. Экономика производства: Методические указания к выполнению домашнего задания / О.В. Юзов, Т.М. Петракова. - М.: МИСиС, 2011. - 38 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						114
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						115
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ В

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.001 ПЗ	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Структура дипломного проекта

Эскизный проект платформы специального назначения с разработкой мотор-колеса

Введение

Основная часть

Заключение

Основные сведения

Конструкторский раздел

Технологический раздел

Безопасность жизнедеятельности

Инструкция по эксплуатации

Патентный поиск

Описание разработанной конструкции

Описание и назначение детали

Требования безопасности

Управление платформой

Метод мозгового штурма

Расчет планетарного редуктора

Анализ технологичности детали

Мероприятия по безопасной эксплуатации

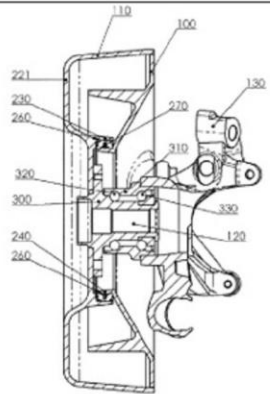
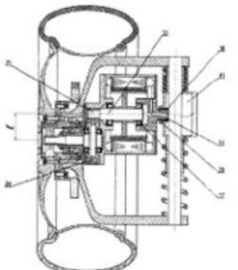
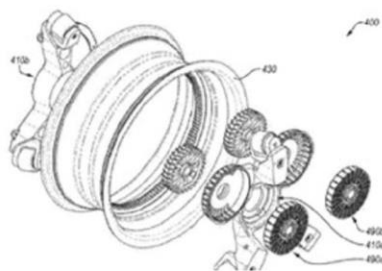
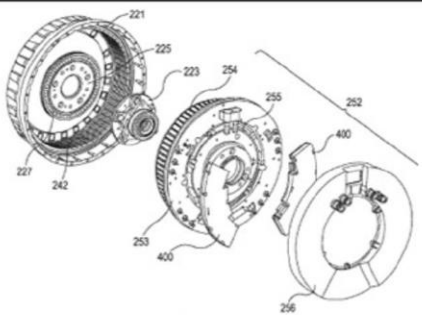
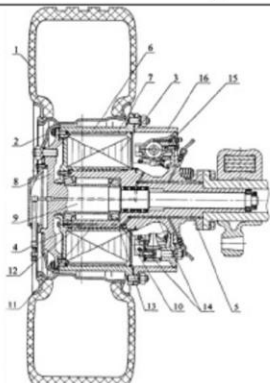
Общие требования к эксплуатации

Анализ НДС корпуса редуктора

Проектирование технологического процесса

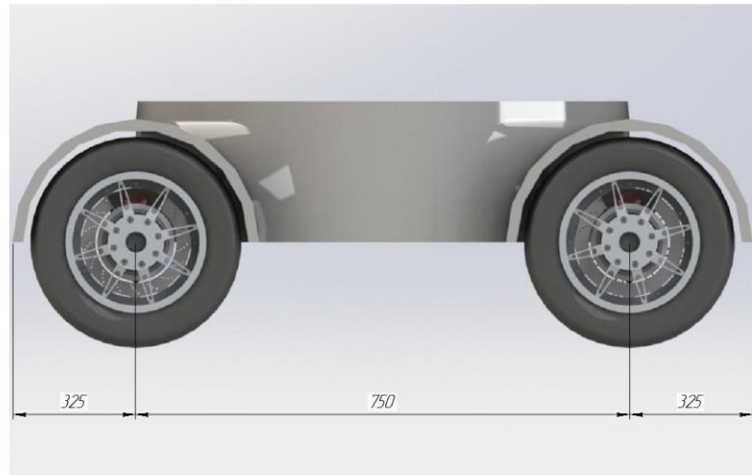
Пожарная безопасность

Патентно-информационное исследование

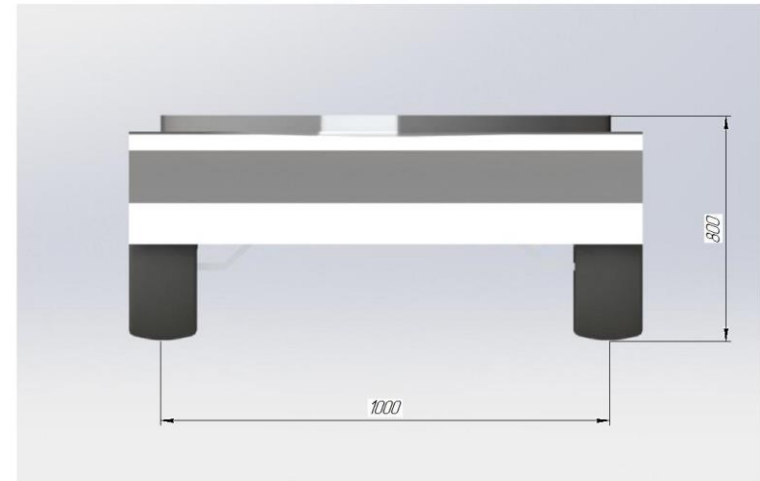
Номер и название охранного документа	Преимущества	Недостатки	Рисунок
US20150144410 <i>ELECTRIC MOTOR OR GENERATOR SYSTEM</i>	1. Небольшой вес 2. Компактный электродвигатель	1. Небольшой крутящий момент 2. Отсутствует редуктор	
2633129 МОТОР-КОЛЕСО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО С ТАКИМ МОТОР-КОЛЕСОМ	1. Наличие поддрессоренной массы 2. Имеется редуктор	1. Громоздкая конструкция 2. Большая масса мотор-колеса	
US20190308447 <i>CENTERLESS WHEEL ASSEMBLIES FOR VEHICLES</i>	1. Небольшая масса	1. Отсутствует защиты механизмов от внешних воздействий 2. Громоздкая конструкция	
US20190229596 <i>METHOD AND ARRANGEMENT FOR ASSEMBLING AN ELECTRIC MOTOR OR GENERATOR</i>	1. Компактная конструкция	1. Небольшой развиваемый момент 2. Отсутствие редуктора	
0109052 МОТОР-КОЛЕСО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	1. Наличие редуктора	1. Редуктор выходит за границу обода колеса; 2. Большая масса	

Общий вид

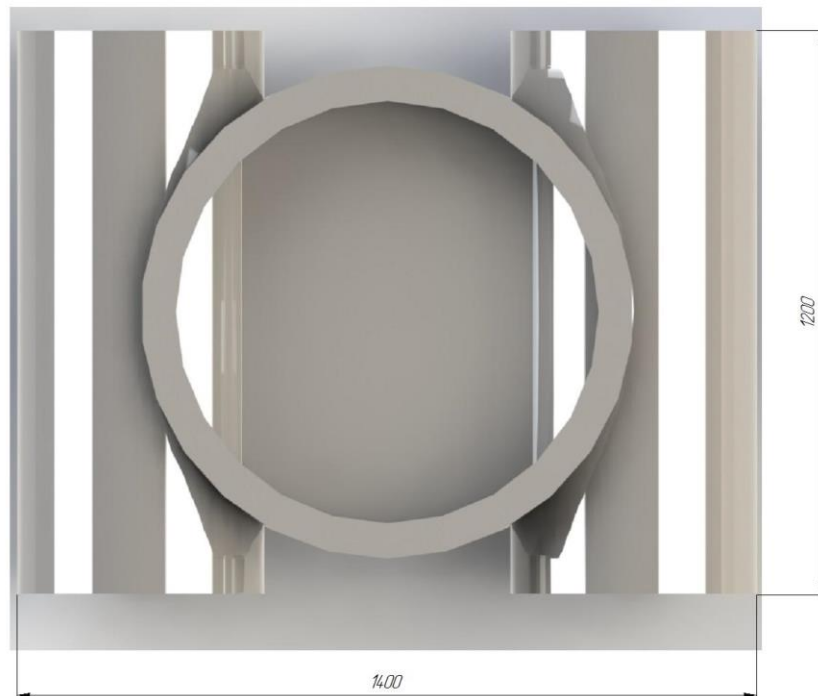
Вид спереди



Вид сбоку



Вид сверху



Изометрия



Технические характеристики:

Полная масса платформы	250 кг
Тип привода	электрический
Максимальная скорость	35 км/ч
Макс. мощность на колесе	2,9 кВт
Макс. крутящий момент на колесе	40 Нм
Колесная формула	4x2; 4x4
Длина	1400 мм
Ширина	1200 мм
Высота	800 мм
Колесная база	750 мм
Колея	600 мм

Выполнил	Сорокин П.С.	Код: "ТМ"
Руководитель	Генералова А.А.	гр. 15МН1

3D модель разрабатываемого мотор-колеса



Вид мотор-колеса спереди



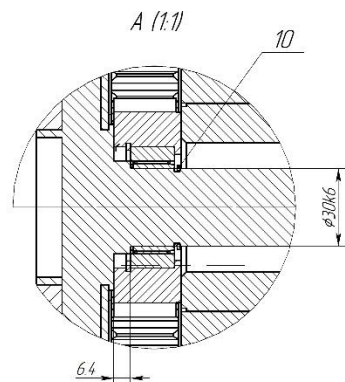
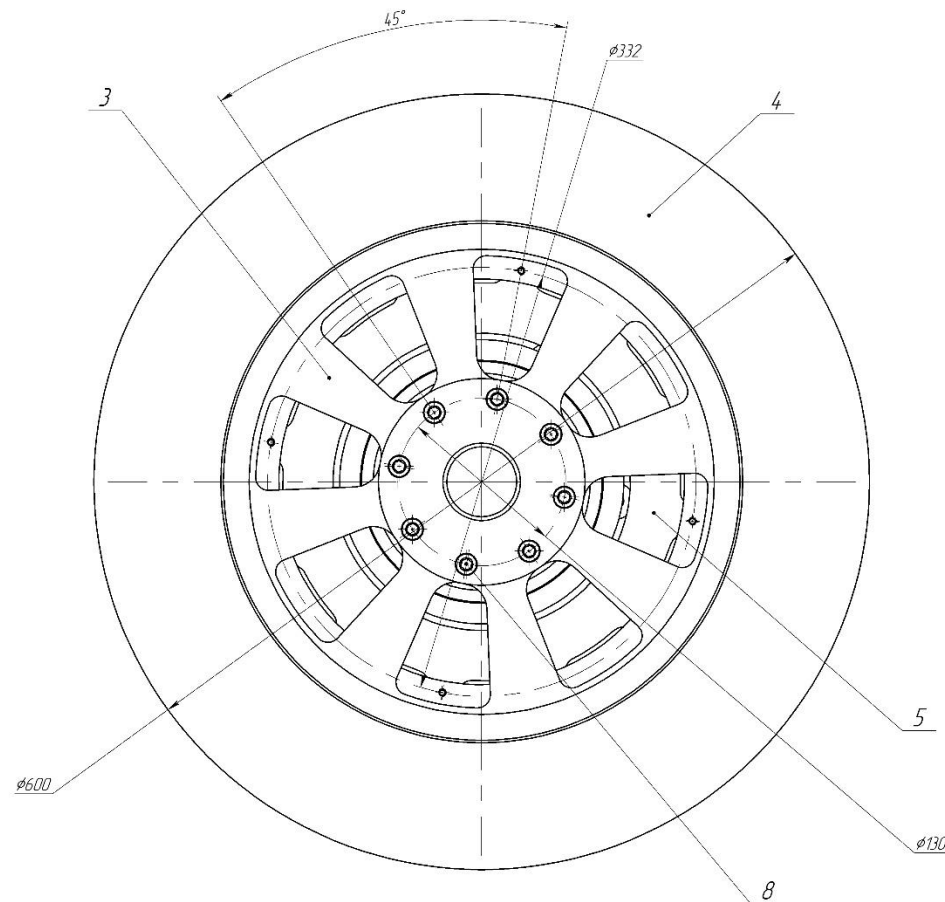
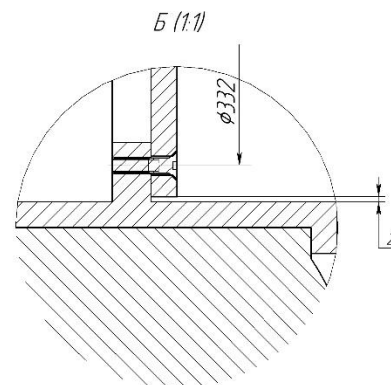
Вид мотор-колеса сзади



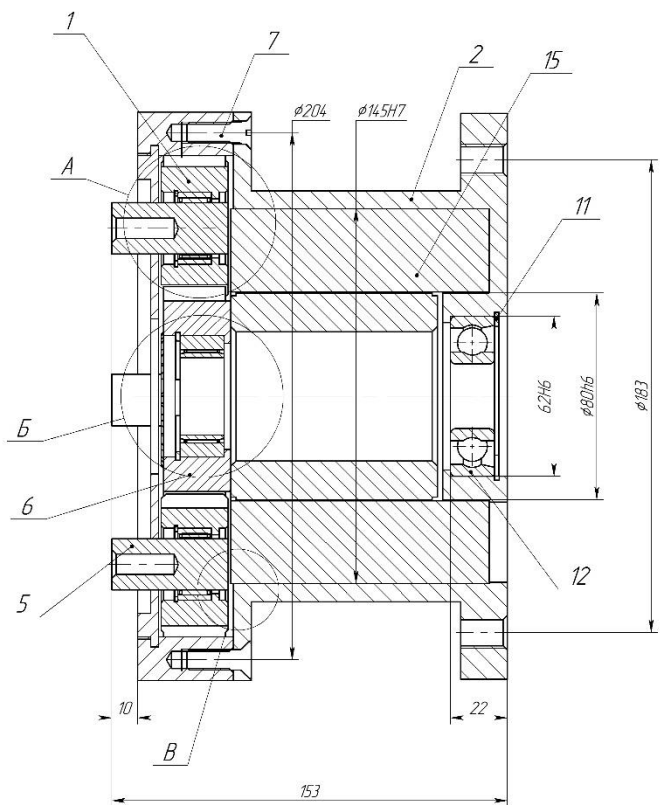
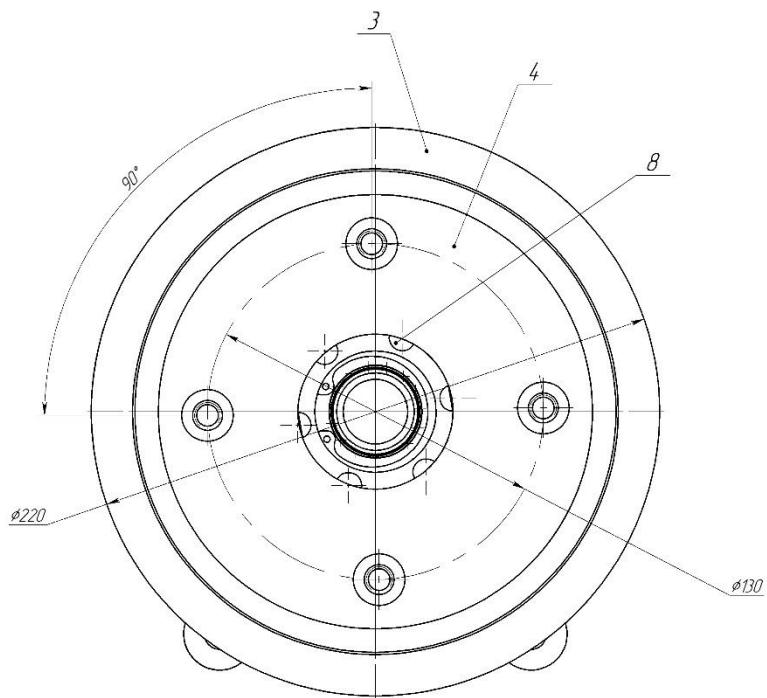
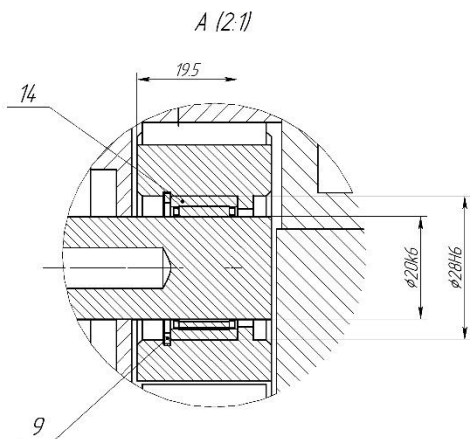
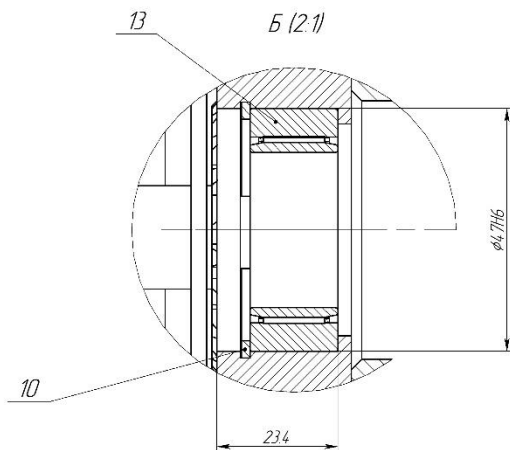
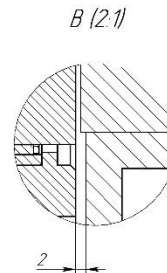
Вид мотор-колеса сбоку



Вид мотор-колеса (изометрия)



- | | | | | | | | | |
|-----------|---------------|-----|---------|-----------------------------|--|-----------|----------|------------------|
| | | | | ПГУ 11-10.203.051013.009 СБ | | | | |
| Имя | Адрес | Пол | Возраст | Мотор-колесо | | Вит | Мощн | Минишосс |
| Иванов | Ласкерица 111 | Муж | 33/35 | | | 0 | 8 | 85 |
| Ласкерица | Адрес | | | Сторонний человек | | Вит | Вит/шосс | Т |
| И. Иванов | Жук А.П. | | | | | | | конт ТМ, оп КСМН |
| Сид | Сидман В.В | | | Копирован | | Формат АТ | | |



- 1 Неуказанные предельные отклонения размеров Н14; h14; ±IT14/2
2 Пласкость разъема корпуса поз. 2 с каранным колесом поз. 3
покрыть тонким слоем герметика УТ-34 ГОСТ 24285-90 при
окончательной сборке
3 Момент затяжки винтов поз. 7 составляет 75 Нм
4 Момент затяжки винтов поз. 8 составляет 60 Нм
5 При сборке в редуктор добавить пластическую смазку Литол-24
ТУ21150-75

ПЧ 11-10.23.05.01.013.002 СБ									
Изм./Лист		№ докум.		Лист		Лист		Вет	Масса
Разработ		Специалист		Лист		Лист		В	К
Проект		Специалист		Лист		Лист		Р	Р
Исполнитель		Специалист		Лист		Лист		35	11
И. кинемат.		Жиз. Л.П.		Лист		Лист		конт. ТМ, пр. ТМ/11	
Эксп.		Специалист		Лист		Лист		Формат А1	

Перв. примен.

Сораб. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

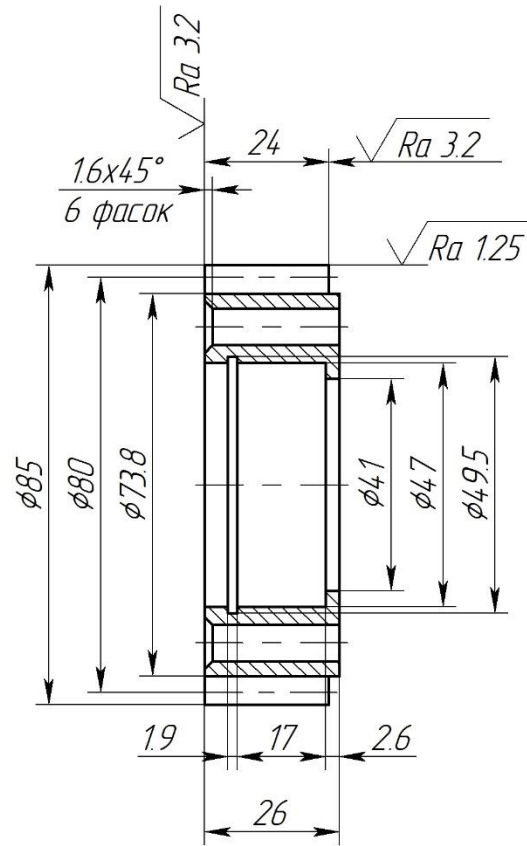
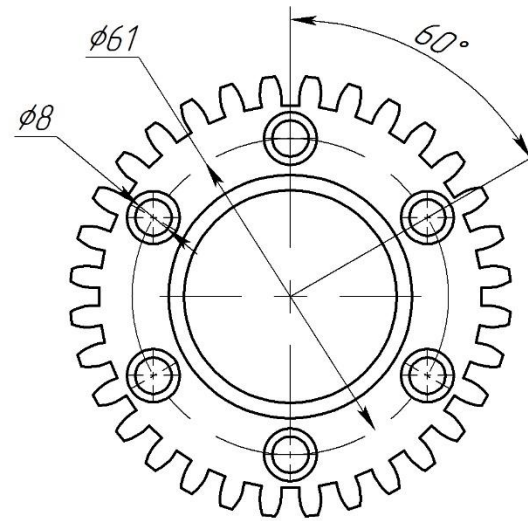
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

ПГУ 11-10.23.05.01.013.008

$\sqrt{Ra\ 6.3\ (\checkmark)}$



Модуль	<i>m</i>	2,5
Число зубьев	<i>z</i>	32
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13255-81
Степень точности	-	8-В
Делительный диаметр	<i>d</i>	80
Обозначение чертежа	-	ПГУ 11-10.23.05.01.013.008

1. НВ 260...280

2. Неуказанные предельные отклонения размеров Н14; h14; ±IT14/2

3. Покрытие: Хим. Окс. прм.

					ПГУ 11-10.23.05.01.013.008						
					Солнечная шестерня	Лит.			Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		В	К	Р	0,3	1:1	
Разраб.	Сорокин П.С.			30.04.20							
Пров.	Генералова А.А.										
Т.контр.											
Н. контр.	Жук А.П.				Лист	Листов				1	
Утв.	Салмин В.В.				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	каф. ТМ, гр. 15МН1					

Копировал

Формат А3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

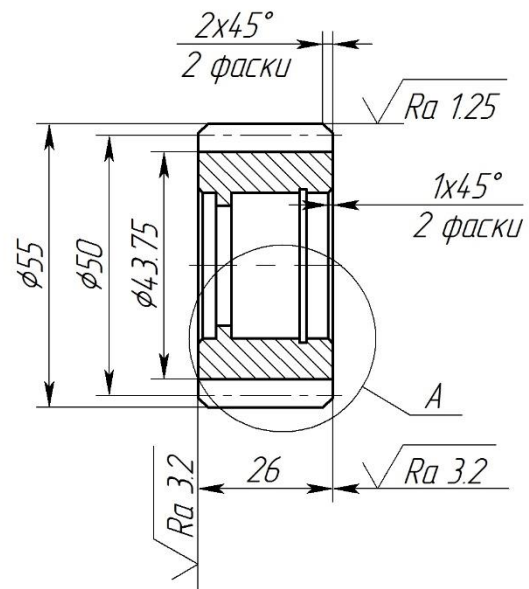
Инв.№ дудл

Взаминв.№

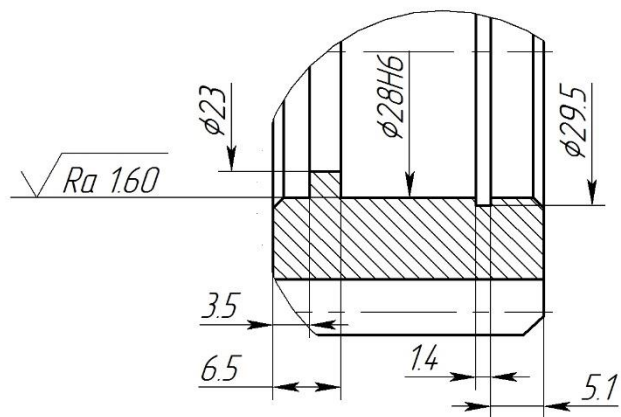
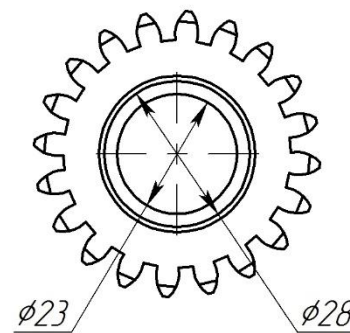
Подп. и дата

Инв.№ подл

ЭО00Э101050Э2701-11 КЛУ

 $\sqrt{Ra\ 6.3\ (\checkmark)}$ 

A (2:1)



1. HB 280...300

2. Неуказанные предельные отклонения размеров H14; h14; ±IT14/2

3. Покрытие: Хим. Окс. прм.

Модуль	m	2,5
Число зубьев	z	20
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13255-81
Степень точности	-	8-B
Делительный диаметр	d	50
Обозначение чертежа	-	ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.003

					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.003								
					Сателлит				Лит.		Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					В	К	Р	0.26	1:1
Разраб.	Сорокин П.С.		30.04.20										
Пров.	Генералова А.А.												
Т.контр.					Лист			Листов		1			
Н. контр.	Жук А.П.				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71				каф. ТМ; гр. 15МН1				
Утв.	Салмин В.В.												

Копировал

Формат А3

Инв.№ подл		Подп. и дата		Взам.инв.№		Инв.№ дудл		Подп. и дата		Справ. №		Перв. примен.															

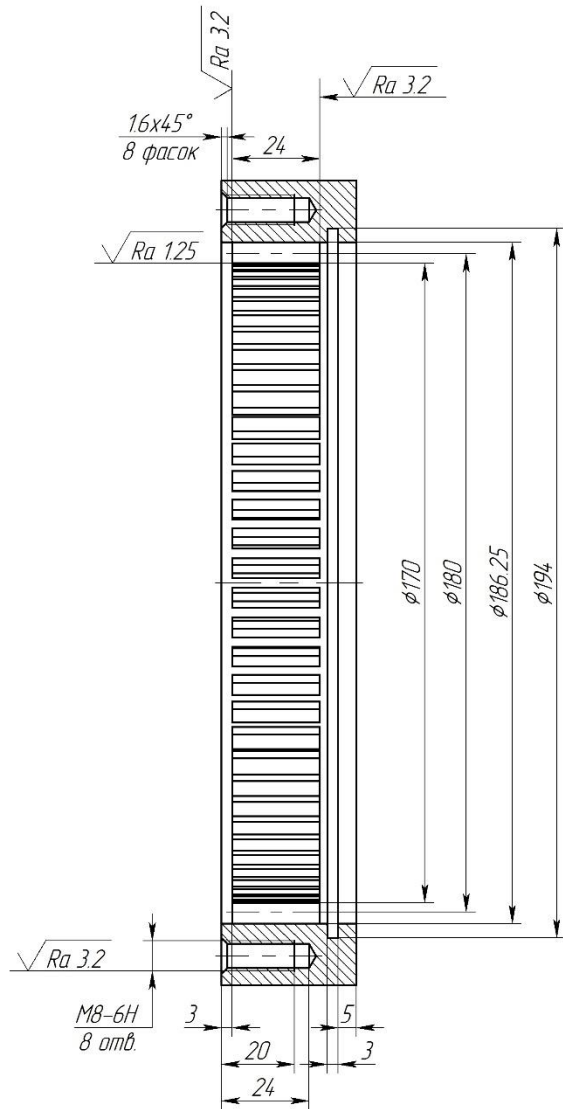
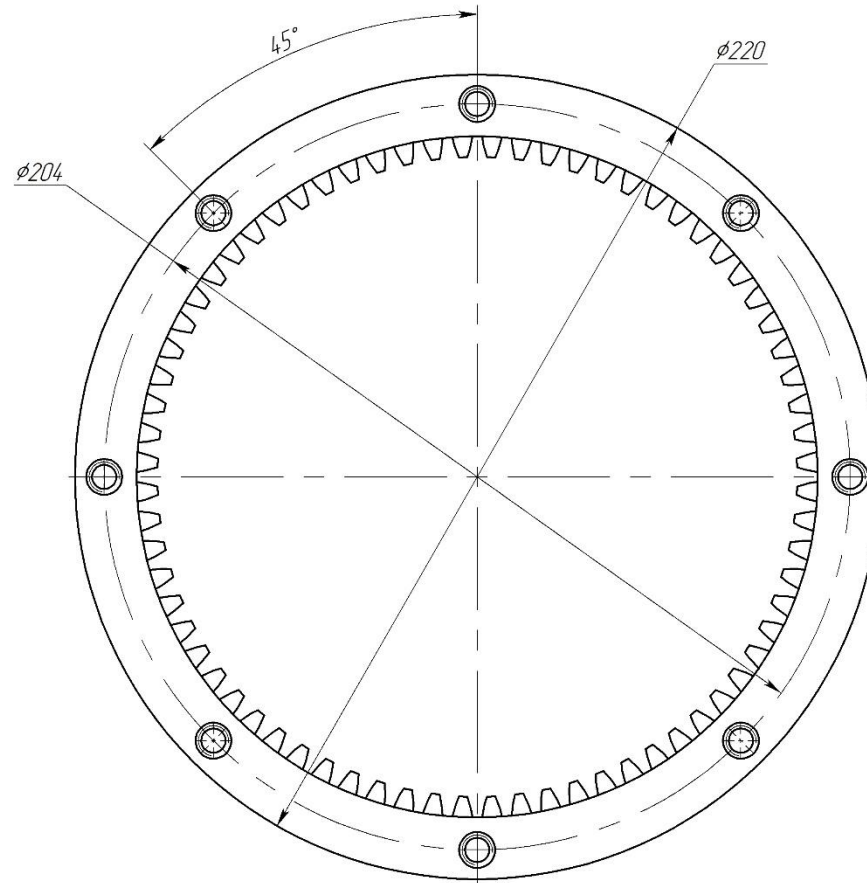
М10

√ Ra 3.2

ЛР 11-10.23.05.01.013.007

500E1010505201-11 P.JU

√ Ra 6.3 (√)



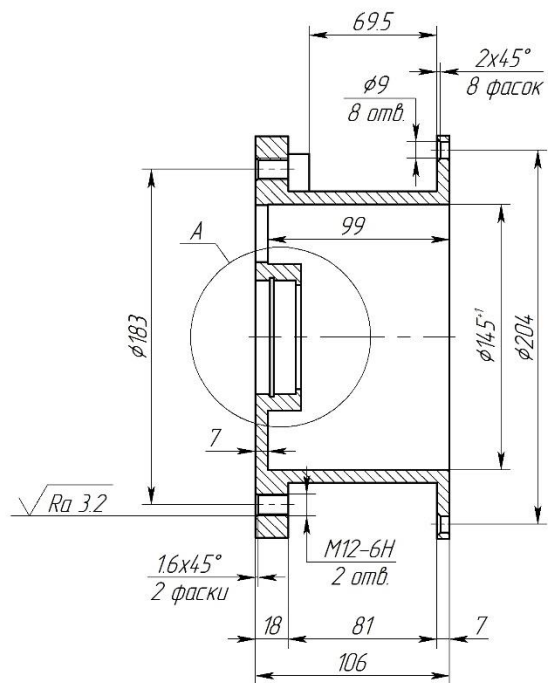
Модуль	m	2,5
Число зубьев	z	72
Нормальный исходный контур	-	ГОСТ 13255-81
Степень точности	-	8-B
Делительный диаметр	d	180
Обозначение чертежа	-	ПГУ 11-10.23.05.01.013.005

1. НВ 260...280
2. Неуказанные предельные отклонения размеров Н14; н14; ±IT14/2
3. Покрытие: Хим. Окс. прм.

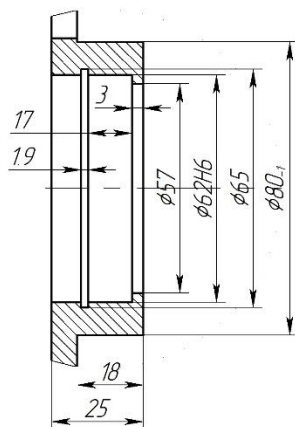
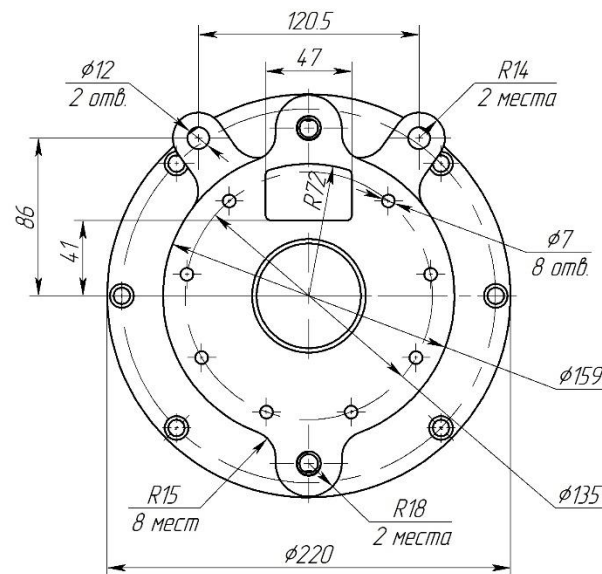
ПГУ 11-10.23.05.01.013.005				Лит				Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	В	К	Р	05	11
Разраб.	Сорокин П.С.	30/04/20			Лист				Листов 1
Проб.	Генералов А.А.				Лист				Листов 1
Т. контр.					Лист				Листов 1
Н. контр.	Жук А.П.				Лист				Листов 1
Утв.	Салин В.В.				Лист				Листов 1

Копировал

Формат А2



A (1:1)



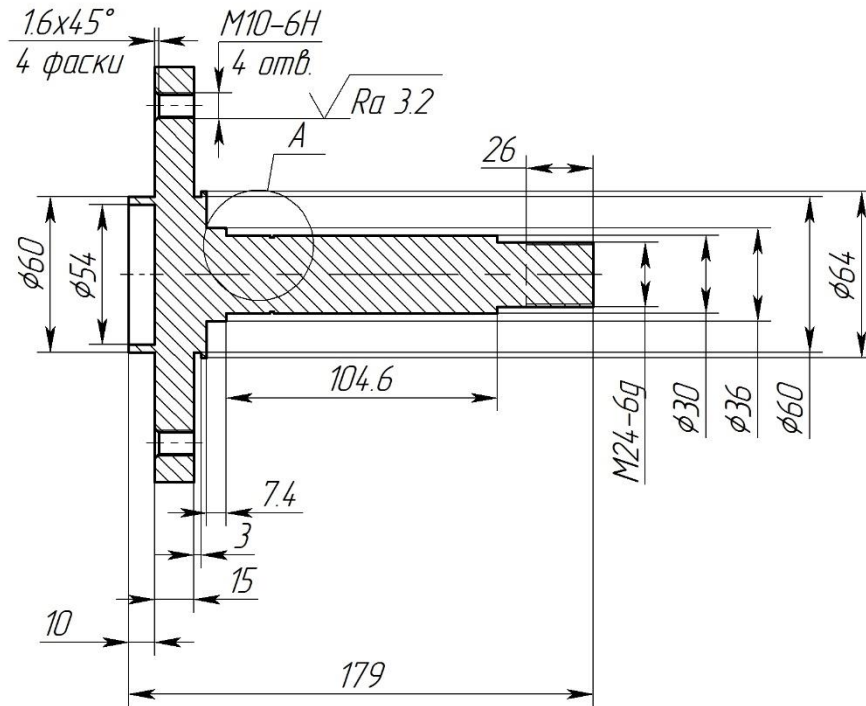
1. Неуказанные предельные отклонения размеров: H14; h14; ±IT14/2.
2. Внутренние поверхности красить маслястойкой синей эмалью (площадь покрытия 8 дм²).
3. Внутренние поверхности красить антигравийной серой эмалью (площадь покрытия 11 дм²).

ПГУ 11-10.23.05.01013.004				Корпус			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Сорокин П.С.		30.04.20	В	К	Р
Проб.		Генералова А.А.			18	12	
Т. контр.					Лист	Листов	1
Н. контр.		Жук А.П.			Чугун СЧ20 ГОСТ 1412-85		
Утв.		Салмин В.В.			каф. ТМ, гр. 15МН1		

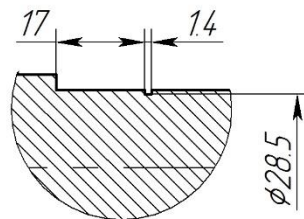
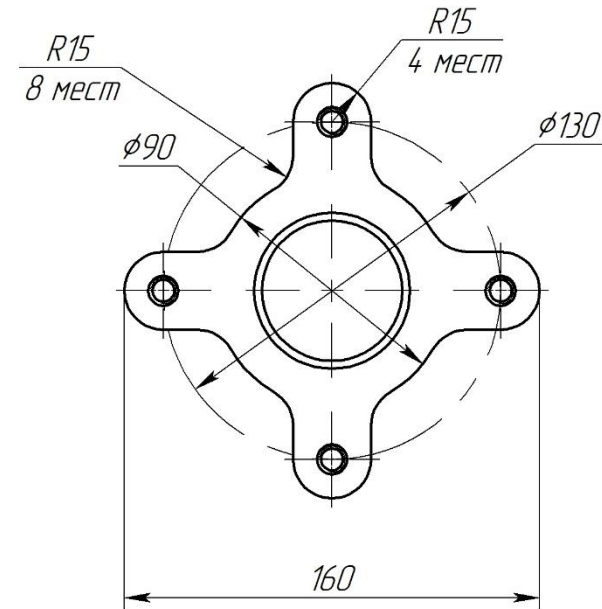
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

ПГУ 11-10.23.05.01.013.014

✓ Ra 6.3 (✓)



A (1:1)



1. Неуказанные предельные отклонения размеров Н14; н14; ±IT14/2
2. Покрытие: Хим. Окс. прм.

					ПГУ 11-10.23.05.01.013.014							
					Ступица			Лит.	Масса	Масштаб		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				В	К	Р	0.8	1:2
Разраб.	Сорокин П.С.		30.04.20									
Пров.	Генералова А.А.											
Т.контр.												
Н. контр.	Жук А.П.				Лит			Листов 1				
Утв.	Салмин В.В.				Сталь 45 ГОСТ 1050-2013			каф. ТМ, гр. 15МН1				

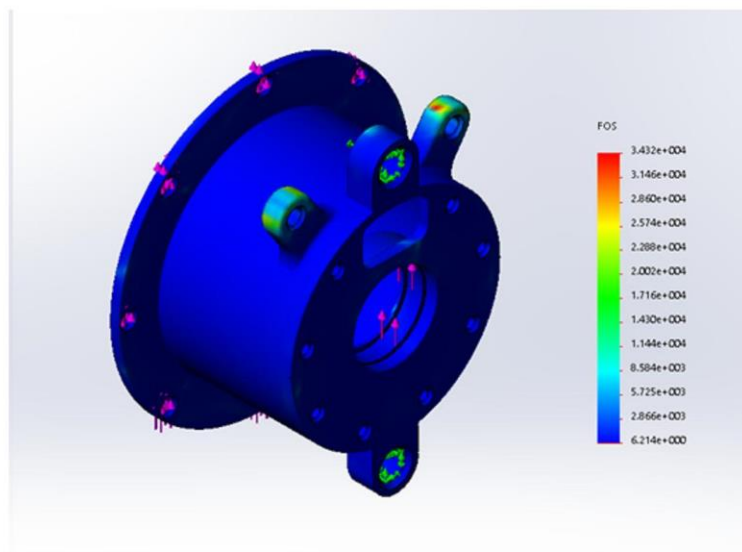
Копировал

Формат А3

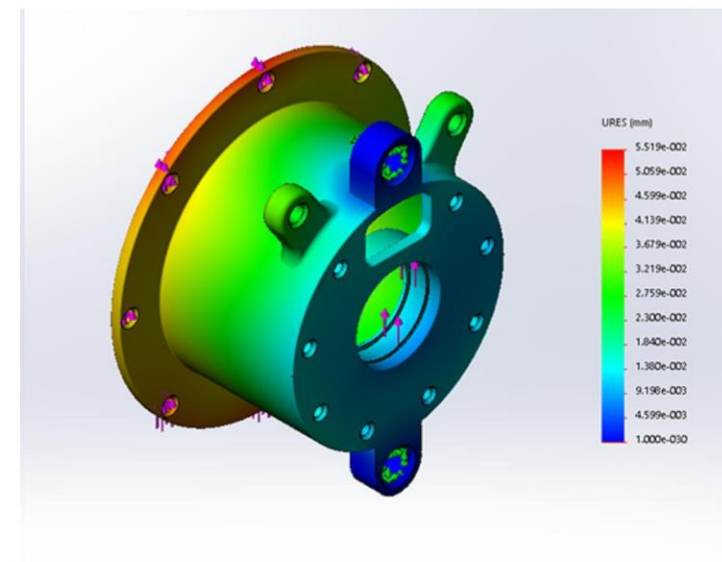
Технологический процесс на изготовление ступицы (маршрут)

Номер операции	Метод обработки	Тип и модель станка	Режущий Инструмент
005	Заготовительная (штамповка)	Штамповочная машина	
010	Термическая (отпуск)	Печь электрическая	
015	Центра-фрезерная	Фрезерный центробальный станок 2Г942	Фреза торцевая $\phi 200$; сверло центовое $\phi 4$
020	Токарная черновая	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный
025	Токарная чистовая	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный; резец резьбовой
030	Токарная	Станок токарный 16K20Ф3	Резец подрезной; резец проходной, упорный; резец расточной
035	Фрезерная	Станок фрезерный ФС50МФ3	Фреза пальцевая $\phi 15$
040	Агрегатная	Станок агрегатный	Сверло $\phi 8,5$; зенковка; метчик М10
045	Термическая закалка	Печь электрическая	
050	Шлифовальная	Станок кругло-шлифовальный 3М151	Круг шлифовальный
055	Контрольная		

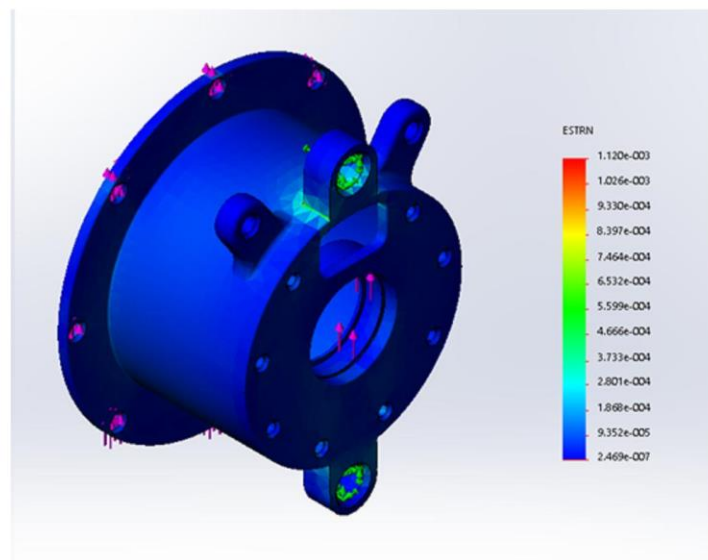
Напряженно-деформированное состояние корпуса редуктора



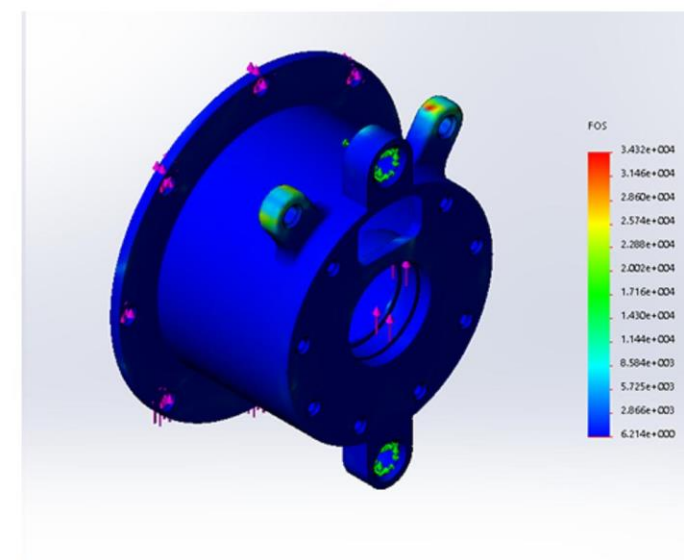
Эпюра напряжений



Эпюра перемещений



Эпюра деформация



Эпюра коэффициента запаса прочности

		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.						<u>Документация</u>		
		A1			ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.009 СБ	Сборочный чертеж		
Справ. №						<u>Сборочные единицы</u>		
		A4	1		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.002	Редуктор	1	
			2		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.010	Тормозной механизм	1	
						<u>Детали</u>		
			3		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.011	Колесный диск	1	
			4		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.012	Покрышка	1	
			5		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.013	Тормозной диск	1	
		A3	6		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.014	Ступица	1	
						<u>Стандартные изделия</u>		
			7			Винт В.М8-6dх 25.58.016		
			8			ГОСТ 17475-80 Винт В.М10-6dх 30.68.016	12	
			9			ГОСТ 11738-72 Гайка М24- 6Н.88.35Х.016	8	
Инв.№ подл.	Подп. и дата					ГОСТ 15526-70	1	
Инв.№ инв.№	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.009 СП				
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
				Разраб.	Сорокин П.С.			30.04.20
				Пров.	Генералова А.А.			
				Н.контр.	Жук А.П.			
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Мотор-колесо			Лит.
								Лист
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Мотор-колесо			Листов
								В К Р
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Мотор-колесо			1
								2
Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	Мотор-колесо			каф. ТМ; гр. 15МН1

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A1			ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.002 СБ	Сборочный чертеж		
					Детали		
	A3	1		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.003	Сателлит	4	
	A2	2		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.004	Корпус	1	
	A2	3		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.005	Коронное колесо	1	
		4		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.006	Манжета	1	
	A3	5		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.007	Ось сателлита	4	
	A3	6		ПГУ 1.1-10.23.05.01.119.008	Солнечная шестерня	1	
					Стандартные изделия		
Подп. и дата		7			Винт В.М8-6гх 25.58.016		
					ГОСТ 17475-80	8	
		8			Винт В.М8-6гх 50.58.016		
					ГОСТ 17475-80	6	
		9			Кольцо В28.Ц15.хр		
					ГОСТ 13943-86	4	
		10			Кольцо В47.Ц15.хр		
					ГОСТ 13943-86	1	
		11			Кольцо В62.Ц15.хр		
					ГОСТ 13943-86	1	
Инв.№ подл.					ПГУ 1.1-10.23.05.01.013.002 СП		
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Сорокин П.С.			30.04.20		
	Пров.	Генералова А.А.					
	Н.контр.	Жук А.П.					
Инв.№ подл.	Утв.	Салмин В.В.					
						<div>Лит. Лист Листов</div> <div>В К Р 1 2</div> <div>каф. ТМ; гр. 15МН1</div>	

Редуктор

Копировал

Формат А4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Луст
2