

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка энергоэффективного электропривода для маломощных автономных транспортных средств»

Студент

В.И. Платов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.Н. Кузнецов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы к.т.н. А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Тольятти 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Состояние проблемы маломощного электротранспорта и обоснование путей ее решения.....	6
1.1 Общие сведения о маломощных электрифицированных транспортных средствах.....	6
1.1.1 Инвалидные коляски – основной объект исследований.....	6
1.1.2 Электроскутеры.....	8
1.1.3 Электроквадроциклы	9
1.1.4 Электровелосипеды	10
1.1.5 Нетрадиционный электротранспорт	11
1.2 Анализ эксплуатационных и технических характеристик маломощных электрифицированных транспортных средств.....	12
1.2.1 Характеристики инвалидных колясок и скутеров.....	12
1.2.2 Важная специфическая черта электротранспорта	16
1.3 Обоснование выбора электродвигателя	18
1.4 Анализ собственного опыта разработки транспортных средств с электроприводом.....	24
2 Разработка транспортного электропривода инвалидной коляски	30
2.1 Энергетическая оценка реализуемости проекта	30
2.2 Разработка концепции инвалидной коляски	31
2.3 Обоснование массогабаритных показателей и других конструктивных параметров	33
2.4 Анализ вариантов конструкции транспортной базы с задним и передним приводом.....	36
2.5 Выбор трансмиссии	40
2.6 Расчет параметров кинематической схемы электропривода.....	41
2.7 Расчет сцепления ремня	45
2.8 Расчет блока управления электродвигателем	47
3 Разработка вспомогательных электроприводов	53
3.1 Разработка электропривода санитарно-гигиенического устройства.....	53
3.1.1 Концепция санитарно-гигиенического устройства инвалидной коляски	53
3.1.2. Расчет электропривода санитарно-гигиенического устройства ..	56

3.2 Разработка встроенного массажного устройства	62
3.2.1 Разработка компрессионного массажного устройства	62
3.2.2 Разработка вибрационного массажного устройства	68
4. Перспективы применения разработанного электропривода	71
4.1. Экономический анализ проекта	71
4.2 Безопасность использования электрифицированной инвалидной коляски	72
4.3 Перспективы применения разработанных электроприводов	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	76

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы создания энергоэффективного электропривода для маломощных электрифицированных транспортных средств обусловлена тремя основными группами объективных факторов.

Во-первых, такой электропривод в настоящее время крайне востребован. Основным его применением могут стать инвалидные коляски, которые в нашей стране представлены, преимущественно, морально устаревшими образцами отечественного производства с ручным приводом. Известно немало электрифицированных колясок западного производства, однако они слишком дороги. Появляются на рынке и их более дешевые российские и китайские аналоги, но они недостаточно надежны.

Во-вторых, такой электропривод может найти применение в других, порой весьма неожиданных, областях. Среди множества образцов «народного творчества» автору более всего понравилась электрифицированная тачка, позволяющая легко перемещать по строительной площадке кирпичи и другие материалы общей массой около 100 кг. Это, на наш взгляд, удачное заполнение коммерческой ниши между классической ручной тачкой и погрузчиком. Такой подход еще может быть полезен при разработке техники пожаротушения в труднодоступных местах, различного оборудования для военных.

В-третьих, электрифицированные скутеры, велосипеды и прочие легкие транспортные средства имеют далеко не идеальные электроприводы, которые могут быть заменены на более эффективные.

Целью диссертационного исследования являлось повышение качества жизни инвалидов и облегчение ручного труда некоторых категорий рабочих, в частности, строителей [7].

В соответствии с указанной целью были поставлены две основных задачи – разработка универсального электропривода для различных маломощных транспортных средств и разработка вспомогательных электроприводов конкретно для инвалидной коляски.

Теоретической и методологической основой диссертационного исследования послужили фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых, нормативные документы, материалы научно-практических конференций, периодических изданий.

Новизна работы заключается в следующем:

1. Электропитание коллекторного двигателя повышенным напряжением с интеллектуальной системой стабилизации тока обеспечивает высокий крутящий момент на любых оборотах.
2. Санитарно-гигиеническое устройство инвалидной коляски и два вида массажера являются принципиально новыми техническими решениями.

Практическая значимость полученных научных результатов состоит в том, что разработанными предложениями уже заинтересовались 2 предприятия.

1 Состояние проблемы маломощного электротранспорта и обоснование путей ее решения

1.1 Общие сведения о маломощных электрифицированных транспортных средствах

1.1.1 Инвалидные коляски – основной объект исследований

Всем известная конструкция инвалидной коляски с ручным приводом представлена на рисунке 1. Она появилась примерно полвека назад и давно морально устарела [33].



Рисунок 1 – Инвалидная коляска с ручным приводом

Более современные коляски имеют электропривод и другие современные элементы, однако стоят недешево [31]. На рисунке 2 изображена далеко не самая дорогая коляска немецкого производства за 317000 рублей.



Рисунок 2 – Инвалидная коляска с электроприводом «VermeirenForest».

Указанная цена не под силу большинству инвалидов. Поиск коляски эконом-класса показал, что такие существуют, однако принимать их всерьез, к сожалению, невозможно [10,15]. Так, самый дешевый образец со скидкой стоит 49000 рублей, но он сделан из металлических труб и пластика типа АБС. Подобная конструкция даже только с механической точки зрения надежной и долговечной быть не может.

Анализ материалов форумов в Интернете показал, что инвалиды предпочитают такого рода устройствам более надежные, хотя и более дорогие. Наибольшей популярностью пользуется модель МТ-72 по цене 227100 рублей, представляющая собой доработанный скутер. Иными словами, инвалиды вместо необходимых им инвалидных колясок вынуждены покупать модифицированные обычные транспортные средства. Одно из них показано на рисунке 3 [29]. Такой вариант имеет очевидный недостаток – в малогабаритной квартире типа «хрущевки» его применение сомнительно. Кроме того, в случае отказа привода инвалид не сможет добраться до дома без посторонней помощи [35,36].



Рисунок 3 – Инвалидная коляска на основе скутера.

Тем не менее, необходимо заметить, что электрифицированные скутеры, квадроциклы и прочие подобные виды транспорта тоже могут рассматриваться как потенциальные потребители разрабатываемого электропривода.

Подводя итог приведенным выше рассуждениям, можно сделать вывод, что разрабатываемый электропривод может найти применение в любых электрифицированных транспортных средствах малой мощности. К ним, кроме инвалидных колясок, можно отнести велосипеды, скутеры, сигвеи и т.п. Идея с электрифицированной тачкой тоже представляется небесполезной.

Таким образом, для конкретизации предметной области магистерской диссертации на первом этапе необходимо проанализировать технические характеристики существующих электрифицированных транспортных средств интересующего нас класса. Далее, на основе такого анализа, можно будет определить цель, частные задачи и направления поиска конструкторских решений. После этого станет возможным выбор электродвигателя, разработка механической части электропривода и соответствующего блока управления.

1.1.2 Электроскутеры

Электрический скутер, который также называют мотороллером, отличается от мотоцикла только характеристиками и, как правило, более низкой ценой. По своим техническим возможностям скутер близок к мопеду, но не имеет педалей. Однако, несмотря на свою простоту и сравнительно низкую цену, он стал привычным транспортом как в европейских странах, так и в Азии, особенно в Китае. Цена скутеров в России начинается от 60 тысяч рублей.

Бюджетные модели скутеров для взрослых оборудуются коллекторными электродвигателями мощностью 250 - 350 Вт, литий-ионной батареей, обеспечивающей пробег около 30 км. В комплект входит зарядное устройство, позволяющее полностью зарядить батарею от бытовой сети за несколько часов. Такой скутер может быть использован для поездок на работу или для туризма.

Более дорогие модели имеют двигатели мощностью от 0,5 до 5 кВт. Самый мощный скутер развивает скорость до 100 км/ч, имеет запас хода около 100 км и мало чем отличается от мотоцикла. Внешний вид скутера показан на рисунке 4.



Рисунок 4 - Электроскутер

Кроме технических характеристик, электроскутеры существенно отличаются особенностями исполнения. Выпускаются варианты трехколесные, для инвалидов, для детей, для перевозки грузов и другие.

1.1.3 Электроквадроциклы

Электроквадроциклы пользуются спросом у туристов, охотников, рыбаков и других любителей активного отдыха. Самые дешевые из них стоят от 80 тысяч рублей и вполне подходят для поездок на дачу или на рыбалку. Такие квадроциклы оснащены однокиловаттным двигателем, который обеспечивает грузоподъемность 120 кг, максимальную скорость 30 -40 км/ч и запас хода до 40 км, который может быть увеличен за счет дополнительной батареи. Модели «Дачник», «Спринтер», «Мини» и другие выпускаются в России. Основным производителем является Китай. Внешний вид квадроцикла показан на рисунке 5.



Рисунок 5 - Квадроцикл

Более мощные квадроциклы с двигателями от 3 до 5 кВт стоят от 300 тысяч до полумиллиона рублей, поэтому пока они в нашей стране встречаются редко. Среди них есть варианты с кабиной, трициклы и другие.

С точки зрения удобства эксплуатации, электрические квадроциклы превосходят свои бензиновые аналоги. В них нет коробки передач, крутящий момент стабилен на любых оборотах, что обеспечивает высокую проходимость. Простота устройства и эксплуатации способствует повышению надежности. Что касается ограниченного пробега, то в хороших моделях он около 100 км, а этого многим достаточно.

1.1.4 Электровелосипеды

Электровелосипед, изображенный на рисунке 6, сочетает возможность движения с помощью электродвигателя с традиционной ездой при помощи педалей.



Рисунок 6 - Электровелосипед

Этот вид транспорта особенно популярен в Китае, его количество в Европе также быстро растет, наша страна только начинает его осваивать.

Существует два подхода к изготовлению электровелосипеда. Наиболее простой и распространенный – применение мотор-колес. Смысл этих конструктивных элементов понятен из названия. Выпускаются передние и задние мотор-колеса. В комплекте с ними обычно поставляется ручка газа, контроллер и некоторое другое оборудование. Стоят такие комплекты сравнительно немного – от 20 тысяч рублей. Их главный недостаток – низкая надежность и отсутствие специализированных мастерских по ремонту такой техники. Самостоятельно починить мотор-колесо довольно сложно из-за множества специфических компонентов.

Второй подход предполагает установку на раму обычного велосипеда навесного моторного блока. Это выглядит примерно так, как было на старых мопедах с бензиновыми двигателями. На заднее колесо устанавливается дополнительная звездочка, которая цепной передачей связывается с ведущей звездочкой моторного блока. В России такие блоки выпускает тольяттинская фирма «Фарадей». Разработчики принципиально использовали только легкодоступные комплектующие изделия, поэтому такой моторный блок можно починить даже самостоятельно.

1.1.5 Нетрадиционный электротранспорт

Вместе с понятными электрическими аналогами автомобилей, мотоциклов и велосипедов появилось много довольно странных транспортных средств, приобрести которые захотят лишь любители необычного. Наиболее известные из них изображены на рисунке 7.

Слева показан сигвэй – двухколесная электрифицированная тележка с рулем. Управление осуществляется перемещением центра тяжести. При внешней простоте сигвей является высокотехнологичным устройством со сложной системой балансировки. Выпускаются исигвеи без руля, которые

также называют гироскутерами. В них повороты выполняются при помощи ног.



Рисунок 7 - Нетрадиционные транспортные средства

Сигвеи и гироскутеры развивают небольшую скорость – до 10 -15 км/ч, запас хода тоже невелик, цена умеренная. Их применяют в крупных торговых центрах и на полях для гольфа.

Еще более экзотичным выглядит моноколесо. Для управления им требуется хорошая координация и тренировка. По скорости, пробегу и другим характеристикам оно соответствует сигвеям.

Электросамокаты, показанные на правом рисунке, обладают малыми размерами и массой, в сложенном состоянии их удобно хранить дома. Вместе с тем, на таком самокате можно ездить по городу. Это доступное транспортное средство для подрастающего поколения.

1.2 Анализ эксплуатационных и технических характеристик маломощных электрифицированных транспортных средств

1.2.1 Характеристики инвалидных колясок и скутеров

Для дальнейшего анализа потребуются более подробные сведения о транспортных средствах данного класса, которые позволят определить требования к комплектующим изделиям электропривода, прежде всего, электродвигателю и аккумуляторной батарее. Ниже в таблицах 1 и 2 приводятся сводные данные для инвалидных колясок и скутеров.

Таблица 1 - Характеристики инвалидных колясок

№ п/п	Название	Размеры, см Д х Ш х В	Скорость, км/ч	Запас хода, км	Нагрузка, кг	Двигатель, В/ Вт	Батарея, В/ А ч	Цена, руб.
1	Armed FS101A	113 х 65 х 94	6	15 - 20	110	12/250	12/20	53 900
2	Armed FS123-43	104X64X94	6	15 - 20	110	12/250	12/28	81900
3	OrtonicaPulse		5	35	150	24/350	24/20	135 000
4	OttoBock B400		6 / 7,2 / 10	35	140	24/350	24/63	205 000
5	OttoBock A200		6	15	110	12/350	12/28	213000
6	Armed ФС111А	111X66X92.5	6	15	100	12/250	12/28	55000
7	Titan LY-EB 103-119		7,5	20	120	2x150 Вт	12/28	65500
8	OrtonicaPulse 120		7	25 - 30	125	12/350	12/28	87000
9	KY122L		6	24	120	12/350	12/28	91000
10	OrtonicaPulse 170		7	25- 30	125	12/350	12/28	98000

Примечание: данных о габаритных размерах у некоторых производителей нет, однако они мало отличаются от размеров других колясок.

Таблица 2 - Характеристики скутеров

п/п	Название	Размеры, мм Д х Ш х В	Скорость, км/ч	Запас хода, км	Нагрузка, кг	Двигатель, В/ Вт	Батарея, В/ А ч	Цена, руб.
1	Yanger YR1200-2	1880 х 660 х 1150	50	110	75	72/ 1200	72/ 20	59000
2	Yanger YR1200-1	1860 х 660 х 1110	50	110	75	72/ 1200	72/ 20	74100
3	Yanger YR450-1	1800 х 640 х 1050	50	70	75	48/ 600	48/ 20	45000
4	Yanger YR450-2	1800 х 640 х 1050	40	60	55	48/ 600	48/ 20	57000
5	Yanger YR600-1	1700 х 450 х 1050	50	60	75	48/ 600	48/ 20	45000
6	Yanger YR600-2	1700 х 650 х 1090	50	60	75	48/ 600	48/ 20	48100

Продолжение таблицы 2

7	Yanger YR800-1	1880 x 660 x 1150	50	60	75	60/ 800	60/ 20	53800
8	Yanger YRT-02	1700 x 650 x 1090	20	50	75	48/ 350	48/ 20	38600
7	Yanger YRT-03	1700 x 650 x 1090	30	50	55	60/ 350	64/ 14	43000
7	Yanger YRT-04	1700 x 650 x 1090	15	50	55	48/ 350	48/ 14	35000
7	Yanger YR800-1	1880 x 660 x 1150	50	60	75	60/ 800	60/ 20	53800

1.2.2 Важная специфическая черта электротранспорта

Прежде, чем формулировать направления дальнейших исследований, необходимо отметить одну специфическую черту электротранспорта, которую необходимо иметь в виду при поиске конкретных технических решений. Она состоит в следующем [28].

За исключением самых дорогих моделей, электрифицированные транспортные средства имеют сравнительно маломощные двигатели и не содержат коробку передач. Так, например, квадроциклы, успешно преодолевающие разбитые грунтовые дороги, оснащены двигателями мощностью не более 5 кВт. Электровелосипеды с 200-ваттными двигателями вполне уверенно трогаются с места и развивают скорость до 30 км/ч. Логично предположить, что и инвалидная коляска должна обладать аналогичными преимуществами, но это необходимо аргументировать.

Самым распространенным типом двигателя для маломощного электропривода является коллекторный электродвигатель с постоянными магнитами, хотя могут применяться и другие конструкции – их мы тоже рассмотрим.

Для коллекторных двигателей постоянного тока справедливо выражение [11]

$$U = E + I_{я} \cdot R_{я} \quad (1)$$

где U – напряжение на якоре, которое в идеале должно быть равным напряжению аккумуляторной батареи,

E – противо-ЭДС, обусловленная работой электродвигателя в генераторном режиме,

$I_{я}$ – ток в обмотке якоря,

$R_{я}$ – сопротивление якорной цепи.

Противо-ЭДС определяется выражением

$$E = C_e \cdot \Phi \cdot n \quad (2)$$

где C_e – конструктивная константа,

Φ – магнитный поток,

n – число оборотов.

Выражение (1) можно записать в виде

$$U - E = I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} \quad (3)$$

В левой части вместо напряжения аккумуляторной батареи стоит разность его и противоЭДС. Очевидно, что при высоких оборотах на якорь будет подаваться лишь часть напряжения батареи, что повлечет за собой падение мощности. Чтобы этого не произошло, напряжение батареи должно быть взято с запасом, а защита от перегрузки по току при этом может быть выполнена с помощью стабилизатора тока на основе широтно-импульсной модуляции. Его конструкция будет подробно разработана далее.

Для данного типа двигателя крутящий момент M выражается известной формулой [11]

$$M = C_{\text{м}} \cdot I_{\text{я}} \cdot \Phi, \quad (4)$$

где $C_{\text{м}}$ – конструктивная константа,

$I_{\text{я}}$ – ток якоря,

Φ – магнитный поток.

Единственной переменной в данной формуле является ток якоря. Если его стабилизировать с целью недопущения перегрузки по току, то крутящий момент тоже стабилизируется [17,18]. В результате на малых оборотах можно получить такой же крутящий момент, как и на больших. Этот важный вывод позволяет исключить из конструкции коробку передач или вариатор.

В перспективе разрабатываемый привод может использовать двигатели с параллельным и последовательным возбуждением. При параллельном стабилизации подлежит не только ток якоря, но и ток возбуждения. Остальные процессы аналогичны вышерассмотренным.

При последовательном возбуждении крутящий момент пропорционален квадрату тока

$$M = k \cdot I_{\text{я}}^2 \quad (5)$$

где k – конструктивная константа.

Следовательно, стабилизация тока и в этом случае обеспечит стабилизацию крутящего момента.

Описанное свойство коллекторных электродвигателей дает им ряд преимуществ перед бензиновым. Если у бензинового двигателя измерить зависимость крутящего момента от скорости вращения вала, то она будет иметь выраженный максимум на номинальных оборотах, а в остальной области эффективность будет низкой. Поэтому бензиновому транспорту требуется коробка передач и высокая мощность.

Изложенные выше рассуждения позволяют сделать вывод: электропривод должен состоять из электродвигателя (на первом этапе исследований коллекторного), аккумуляторной батареи, рабочее напряжение которой больше рабочего напряжения двигателя в 1,5...2 раза и контроллера, который будет стабилизировать ток на любых оборотах и выполнять другие необходимые функции управления транспортным средством [5,6]. Разумеется, должны быть решены механические задачи, главной из которых является разработка редуктора, обеспечивающего необходимые характеристики движения.

На первом этапе исследований необходимо решить наиболее принципиальные задачи, прежде всего, выбор электродвигателя, аккумуляторной батареи и редуктора.

1.3 Обоснование выбора электродвигателя

Практически все существующие аналоги разрабатываемого электропривода оснащаются коллекторными электродвигателями, которые просты, доступны и недороги. Их главный недостаток – низкая надежность вследствие износа щеток и обгорания коллектора. Однако эта проблема легко решается своевременным регламентно-техническим обслуживанием. На первом этапе будем рассматривать такой вариант как основной.

В дальнейшем представляется целесообразным исследовать возможность применения вентильных двигателей, поскольку их главный

недостаток – сложность электронной схемы имеет устойчивую тенденцию к снижению из-за бурного развития электроники в последние десятилетия.

Подобные рассуждения применимы и к возможности использования частотно-регулируемого привода. На наш взгляд, заслуживает внимания исследование возможности использования асинхронных двигателей авиационного стандарта – 400 Гц. При малых габаритах они развивают достаточно высокую мощность, а схема управления при частоте 400 Гц упростится и удешевится за счет уменьшения номиналов используемых реактивностей.

Электродвигатель для транспортного средства интересующего нас класса может быть классическим электродвигателем с редуктором или без него и мотор-колесом. Рассмотрим их по порядку [26,27].

Внешний вид таких электродвигателей с редуктором примерно одинаков. Он приведен на рисунке 8.

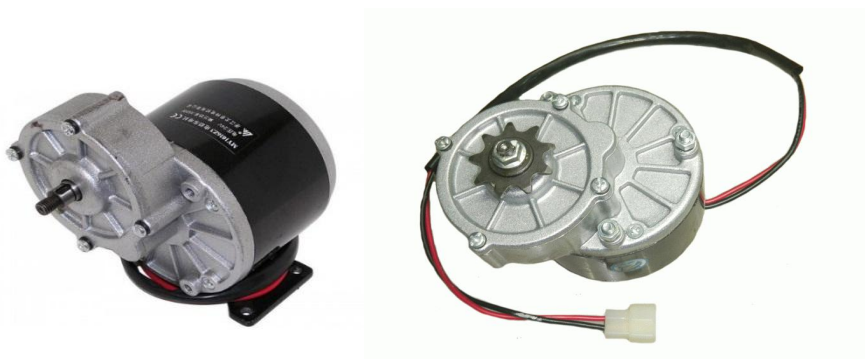


Рисунок 8 - Внешний вид электродвигателя с редуктором.

В мотор-колесе объединены в единый агрегат низкооборотный электродвигатель и колесо. В некоторых моделях используются обычные (высокооборотные) двигатели с редуктором. Это удобно для изготовления транспортных средств, но проблематично с точки зрения надежности и ремонтпригодности. На рисунке 9 показано мотор-колесо в разрезе [18].



Рисунок 9 - Мотор-колесо в разрезе

Ниже в таблице 3 приведены характеристики коллекторных электродвигателей мощностью от 150 до 600 Вт, а также бесколлекторного двигателя мощностью от 2,4 до 4,8 кВт. В таблице 4 приведены характеристики мотор-колес.

Таблица 3 – Характеристики электродвигателей.

№ п/п	Название	Мощность	Скорость, Об/мин	Крутящий момент	Напр. питания, В	Макс. ток, А	Тип редуктора	Прим.
1	PTC7152	150	15-800	4,9...265кгс*см	12	12,5	планетарный	
2	SF7152	150	15,0...910	8,8...100,0кгс*см	24	6,3	цилиндрический	
3	SF8156	250	10,0...610	14,9...300,0кгс*см	24	10,4	цилиндрический	
4	PT1188	600	220	273кгс*см	24	25	планетарный	
5	WG1188	600	34...202	182,7...730,8кгс*см	24	25	червячный	
6	ДП350-24	350	3500	6,00 кг*см	24		нет	
7	BrushlessEtek 36V	2400 3600 4800	1680 2520 3360				нет	Бесколлек- торный

Таблица 4 – Характеристики мотор-колес

Характеристики	Модель мотор-колеса						
	902*	ProKit 901			MagicPie		
	250Вт	500Вт	750Вт	1000Вт	300Вт	600Вт	800Вт
Частота вращения максимальная (об/мин)	228	343		470	178	270	358
Частота вращения номинальная (об/мин)	204	298		418	159	243	324
Максимальная мощность, Вт	362,5	508,1		1226,89	308,88	600,89	808,16
Номинальная мощность, Вт	170,4	319,8		544,40	148,78	256,26	379
Максимальный момент, Нм	20,03	18,24	27,3	37,42	22,63	29,73	27,66
Номинальный момент, Нм	7,95	10,24		12,45	8,94	10,07	11,17
Максимальный ток, А	13,53	18,43		37,46	19,8	24,72	23,45
Номинальный ток, А	5,79	10,92		13,42	8,14	8,94	9,99
Напряжение, В	24-36	36	36	48	24	36	48

Продолжение таблицы 4

Характеристики	Модель мотор-колеса						
	902*	ProKit 901			MagicPie		
	250Вт	500Вт	750Вт	1000Вт	300Вт	600Вт	800Вт
КПД, %	81,7	81,4	84,3	84	76,1	79,2	79
Масса, кг	2,6 (3,0)	5	5	6	6,2	6,2	6,2
Скорость транспортного средства, км/ч **	22	33	45	45	25	33	45

Примечания: * В мотор-колесе из комплекта 902 используется редуктор.

** Скорость велосипеда с 26" колесами.

На первый взгляд, применение мотор-колес представляется наиболее простым и удобным решением. Они выпускаются для различных транспортных средств от велосипеда до мотоцикла и могут быть подобраны для решаемой нами задачи. Выпускаются варианты для заднего и переднего колеса, обычно с блоком управления и ручкой газа. Аккумуляторная батарея и обод, как правило, в комплект не входят. Однако все не так просто. Известные образцы приемлемого ценового диапазона изготавливаются в Китае и часто ломаются. При этом невозможно найти необходимые комплектующие или сервисную мастерскую. Есть у мотор-колес и другие недостатки.

Для инвалидных колясок по размерам подходят мотор-колеса для электровелосипеда. Анализ их схем показал, что максимальный крутящий момент даже у мотор-колес большой мощности, не очень велик (среднее значение $12...25 \text{ Н}\cdot\text{м}$) [5]. С другой стороны, высокая мощность электропривода вызывает необходимость использования аккумуляторных батарей большой емкости (и, соответственно, массы).

Увеличивая мощность электропривода, производители стремятся увеличить крутящий момент. При этом возникает неприятный эффект – более мощный двигатель вызывает более заметное торможение колеса при движении с использованием мускульной силы рук или ног. Этот эффект вызван притяжением магнитов ротора к полюсам статора. А если электропривод оснащен планетарным редуктором (используется в некоторых моделях для увеличения крутящего момента), то тормозящий эффект усиливается. Еще одним недостатком является увеличение массы колеса и, как следствие, увеличение момента его инерции.

1.4 Анализ собственного опыта разработки транспортных средств с электроприводом

В 2013 году автором совместно с директором ПКФ «Фарадей» Гончаровым А.В. был разработан, изготовлен и успешно испытан

электровелосипед с навесным моторным блоком [5,6]. Данный опыт будет полезен и для создания нашего многофункционального электропривода. В частности, было экспериментально подтверждена эффективность способа применения маломощных двигателей со стабилизацией тока во всем диапазоне скоростей. В названном изделии был применен электродвигатель мощностью 180 Вт, который обеспечивал приемлемые эксплуатационные характеристики электровелосипеда. Внешний вид данного транспортного средства и его моторного блока представлен на рисунке 10.

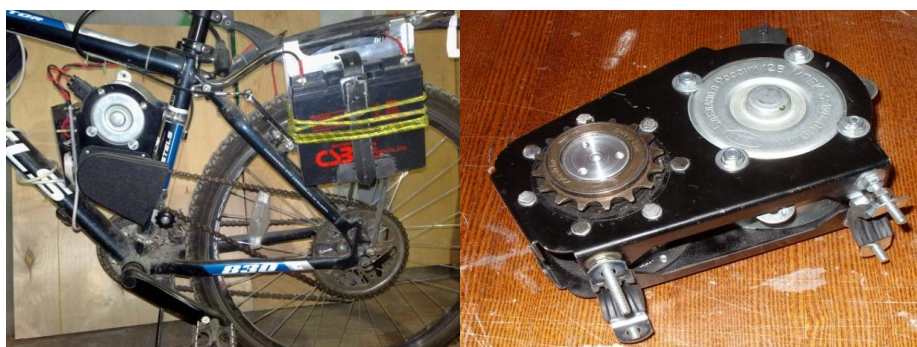


Рисунок 10 – Внешний вид электровелосипеда и моторного блока.

На основе анализа имеющихся конструкций, их преимуществ и недостатков нами были разработаны основные требования к электроприводу велосипеда:

- максимальная скорость 25...35 км/ч;
- запас хода 25...40 км;
- отсутствие дополнительной нагрузки при движении только при помощи педалей;
- доступность основных деталей.

Работу мы начали с поиска подходящего электродвигателя. Вначале определились с мощностью, рассуждая следующим образом. Мощность велосипедиста не нормирована, но она, по крайней мере, в несколько раз меньше лошадиной силы, то есть не превышает 150 ...200 Вт. В результате для электропривода был выбран коллекторный электродвигатель со следующими характеристиками [27]:

- Номинальная мощность $180Вт$
- Номинальное напряжение $12В$
- Номинальный крутящий момент $0,6Н \cdot м$
- Максимальный крутящий момент $1Н \cdot м$
- Частота вращения (максимальная) $3200 об / мин$
- Частота вращения (номинальная) $2800 об / мин$

Предполагалось, что электропривод будет использоваться преимущественно в равнинной местности, т.е. с уклонами не более 5...10%. Отсюда можно вычислить необходимый крутящий момент на колесе. Для уклона в 7% (примерно 4 градуса) при массе велосипеда с велосипедистом 100кг получим требуемую силу тяги:

$$F_T = \sin(\alpha) \cdot m \cdot g = \sin(4) \cdot 100кг \cdot 9,81 \frac{М}{с^2} = 68,43Н .$$

Крутящий момент на колесе:

$$M_{кр} = F_T \cdot R_k = 68,43 \cdot 0,33м = 22,6Н \cdot м ,$$

где R_k - радиус колеса (использовался велосипед с колесами 26")

Соответственно, для обеспечения расчетной силы тяги коэффициент передачи трансмиссии от электродвигателя к колесу должен составлять 20...25.

Было решено, что электропривод будет выполнен в виде навесного блока, закрепляемого на раме велосипеда. Передача мощности на заднее колесо будет выполняться цепной передачей. Для этого на заднем колесе была установлена дополнительная звездочка с числом зубьев 38. Для понижения частоты вращения электродвигателя и повышения крутящего момента до требуемой величины в корпусе навесного блока был собран двухступенчатый редуктор с коэффициентом понижения около 10.

Суммарный коэффициент передачи от двигателя к колесу составил 24. Таким образом максимальный крутящий момент на колесе составил $24 Н \cdot м$, а максимальная частота вращения колеса составила 133 об/мин при

напряжении питания 12В. Это соответствует скорости 16 км/ч, что значительно ниже требуемого значения. Для увеличения частоты вращения двигателя было решено использовать повышенное напряжение питания – 24В. Такое решение позволяет поднять частоту вращения и, соответственно, скорость электровелосипеда до 32 км/ч, но при этом пусковой и рабочий ток может превышать предельно допустимое значение для данного двигателя.

Для управления двигателем был разработан контроллер, который обеспечивает стабилизацию тока двигателя на допустимом уровне. Также контроллер обеспечивает дополнительные функции – регулировку скорости пользователем, отслеживание текущего напряжения аккумулятора и его защиту от критического разряда, индикацию текущих режимов работы и другие.

Управление двигателем основано на широтно-импульсном методе регулирования [8,9]. Частота ШИМ, в данном случае, составляет 16 кГц, что, во-первых, обеспечивает режим непрерывных токов двигателя, во-вторых, снижение шума электропривода за счет ухода частоты коммутации за пределы слышимого диапазона. Сигнал ШИМ, формируемый микроконтроллером, поступает на вход драйвера силового ключа, который, в свою очередь, управляет затвором силового полевого транзистора. Длительность импульса ШИМ зависит от положения регулятора газа (задается пользователем) и от текущего значения тока, протекающего через двигатель. Режим стабилизации тока двигателя основан на отслеживании текущего значения тока, протекающего через двигатель и открытый силовой транзистор (транзистор открывается периодически с частотой ШИМ). При достижении током максимального заданного значения силовой транзистор закрывается до следующего импульса ШИМ. Максимальное значение тока двигателя задается программно и может быть изменено в зависимости от типа применяемого двигателя или других факторов. Метод стабилизации тока двигателя позволяет заметно снизить расход энергии, а также

предотвратить перегрев двигателя. Т.е. данный метод способствует увеличению запаса хода при неизменной емкости аккумуляторов.

В процессе проектирования мы рассматривали возможность и необходимость рекуперации энергии при спуске с горок или при торможении [18]. Многие производители электроприводов для велосипедов рекламируют в своих системах наличие такого режима. В нашей конструкции системы рекуперации не предусмотрена. Основная причина этому – расчет максимальной энергии, которую можно получить при рекуперативном торможении.

Предположим, что для движения по прямой со скоростью 20 км/ч электропривод потребляет 4 А при напряжении питания 36В (данные мотор-колеса). В этом режиме велосипед проедет 1 км за 3 минуты, т.е. за 180 секунд. При этом энергии электроприводом будет израсходовано $4A \cdot 36B \cdot 180c = 25920 \text{ Дж}$. Теперь рассчитаем минимальную высоту горки, спустившись с которой, будет получена эта энергия. Допустим, вес велосипеда с велосипедистом равен 120 кг. Тогда потенциальная энергия, которую планируется преобразовать в электрическую и сохранить в аккумуляторе, определяется известной формулой

$$A = m \cdot g \cdot h, \quad (6)$$

Тогда искомая высота горки составит:

$$h = \frac{A}{m \cdot g} = \frac{25920 \text{ Дж}}{120 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}} = 22 \text{ м}$$

В расчетах для упрощения принято значение КПД =100%. В действительности его значение не превышает 50%, что связано с механическими потерями генератора и потерями при заряде аккумулятора. Таким образом, требуемая горка «вырастает» до 40...50 м. И это только для того, чтобы проехать 1 км по прямой. Попытки зарядить аккумулятор с помощью педалей при езде по ровной дороге превратятся в упорную

тренировку, что не всем понравится. Наконец, значительные перепады высот характерны для горной местности, где использование маломощных электроприводов весьма проблематично.

При использовании рекуперативного торможения ситуация с зарядом принципиально не меняется. Для ранее принятого значения массы велосипеда и велосипедиста 120 кг примем начальную скорость, при которой началось торможение, равной 10 м/с. Тогда кинетическая энергия, определяемая выражением

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (7)$$

составит 6 кДж, чего не хватит даже на 1 км пробега.

Поэтому мы отказались от рекуперации энергии в пользу более легкого движения только при помощи педалей, когда аккумулятор уже разряжен. Для этого в системе предусмотрена обгонная муфта, которая позволяет передавать крутящий момент только от редуктора к колесу.

На испытаниях электровелосипед развил скорость до 33 км/ч, при весе испытателей с велосипедом от 100 до 140 кг. При испытаниях использовались свинцовые гелевые аккумуляторы суммарным напряжением 24В и емкостью 17 Ач. Пробег на полностью заряженных аккумуляторах составил 30 км.

Для увеличения пробега и снижения массы всей системы в дальнейшем свинцовые аккумуляторы были заменены на один 24-вольтовый литиевый емкостью 20 Ач. В результате пробег увеличился до 35 км.

Выводы по 1 разделу:

1. Основная область применения разрабатываемого электропривода – инвалидные коляски. Также он может найти применение на других маломощных транспортных средствах – скутерах, квадроциклах и т.п.
2. Существующие образцы инвалидных колясок не соответствуют требованиям российского потребителя.

2 Разработка транспортного электропривода инвалидной коляски

2.1 Энергетическая оценка реализуемости проекта

В качестве основного объекта предполагаемого применения электропривода примем инвалидную коляску, как наиболее востребованное и сложное устройство. Другие варианты применения, предположительно, будут отличаться коэффициентом передачи редуктора и некоторыми непринципиальными конструктивными особенностями.

К основным эксплуатационным требованиям следует, на наш взгляд, отнести скорость, запас хода и максимальный угол подъема. Запас хода зависит от выбора аккумуляторной батареи может варьироваться в широких пределах, в зависимости от финансовых возможностей

Поскольку имеется испытанный автором прототип – электровелосипед, сначала рассмотрим возможности его электропривода, адаптированного к инвалидной коляске.

Скорость 30 км/ч превышает принятую для большинства колясок – 6 км/ч в 5 раз. При использовании соответствующего редуктора во столько же раз возрастет и крутящий момент. Так как колеса велосипеда 22 дюйма практически не отличаются по размеру от колес коляски (540 мм для российских моделей), сила движения вперед также возрастет. В экспериментах с велосипедом удалось достичь силы движения не менее 50 Н. С учетом увеличения крутящего момента для коляски эта сила составит, как минимум, 250 Н или 25 кгс.

Далее решим элементарную геометрическую задачу – вычислим угол подъема, который сможет преодолеть коляска с пассажиром. Примем их совместную массу равной 150 кг. Тогда максимальный угол подъема составит примерно 10 градусов.

Согласно СНиП 35-01-2001, для пандусов максимальный угол подъема не должен превышать 8 градусов. Для пандусов с перепадом до 0,2 м разрешен угол подъема 10 градусов. Таким образом, маломощный двигатель

от электровелосипеда способен на пределе возможностей обеспечить работу инвалидной коляски.

Для улучшения эксплуатационных характеристик выберем электродвигатель с редуктором мощностью 250 Вт и напряжением питания 24 В, который успешно применяется в современных транспортных средствах.

Применявшиеся на первом этапе в составе электровелосипеда 2 12-вольтовых гелевых свинцовых аккумулятора емкостью по 17 Ач и общей массой 11 кг вполне могут быть приняты в качестве исходного варианта, если их дополнить еще одной батареей, чтобы суммарное напряжение составило 36 В. В принципе, коляска, в отличие от электровелосипеда, не слишком требовательна к эксплуатационным характеристикам аккумулятора и возможных вариантов здесь может быть множество. Вполне приемлемым может считаться вариант с двумя и более батареями – для дома и для улицы.

Подводя итог вышеизложенным рассуждениям, можно утверждать, что задача разработки многофункционального электропривода для инвалидных колясок и других маломощных транспортных средств является решаемой и пути такого решения понятны и доступны.

2.2 Разработка концепции инвалидной коляски

Для полноценных дальнейших исследований необходимо принять ряд конструктивных решений и определить необходимые допущения и ограничения [3, 13].

Прежде всего, нужно уточнить функции разрабатываемого транспортного средства, так как за последние десятилетия технические возможности в области механики, электротехники и, особенно, электроники существенно возросли.

Далее, исходя из требуемых функций, можно выбрать общую конструктивную схему – тип рамы, особенности сиденья и спинки, размер и расположение колес, тип привода (передний или задний). Кроме того,

необходимо определить возможности движения вперед и назад при ручном и моторном приводе. Этот этап позволит выбрать оптимальную систему управления.

Очевидно, что основная функция инвалидной коляски – транспортная. Однако, из бесед с пользователями таких транспортных средств и с персоналом медицинских учреждений, обслуживающих маломобильных больных, стало ясно, что этого мало. Существует, по крайней мере, две проблемы, решение которых существенно облегчит жизнь инвалидов [22,23].

Первая проблема относится к «деликатным». Взрослый человек, находящийся в здравом рассудке, крайне болезненно переживает отсутствие физической возможности нормально посещать туалет. Вместе с тем, техническая реализация данной функции для специальных вариантов исполнения инвалидной коляски не является чрезмерно сложной или дорогостоящей. Стоит отметить, что эта проблема успешно решена даже для условий невесомости на орбитальной станции «Мир».

Вторая проблема, вытекающая из частичной неподвижности пользователя, заключается в недостаточности кровообращения, особенно в области ног и таза. В результате этого возникают застойные явления, часто сопровождаемые болезненными ощущениями. Причина этого кроется в особенности устройства системы венозного кровообращения, предполагающей систематическую работу мышц для облегчения возврата крови к сердцу. Больным периодически приходится делать массаж. Следовательно, вторая дополнительная функция инвалидной коляски – массаж неподвижных частей тела больного.

Из вышеизложенного следует, что разрабатываемая инвалидная коляска должна быть не только средством передвижения, но и обладать дополнительными функциями, облегчающими жизнь ее пользователя.

2.3 Обоснование массогабаритных показателей и других конструктивных параметров

Немеханизированные кресла коляски в нашей стране изготавливаются согласно ГОСТ Р 50602-93 [19]. Существуют соответствующие стандарты и в других странах. Однако, учитывая, что вес, возраст инвалидов и другие показатели меняются в широких пределах, допускаются отклонения от регламента. Так, например, ширина коляски обычно не превышает 70 см, чтобы проезжать через стандартные межкомнатные двери, однако для полных людей она может быть увеличена. При этом изменяется и ширина сиденья, потому что узкое сиденье будет стеснять движения. Кроме того, необходимо учитывать наличие зимней одежды. С другой стороны, чрезмерно широкое сиденье является неудобным, вызывает искривление позвоночника. Следовательно, ширина, как и другие габариты, должны быть регулируемыми. Это можно реализовать, если использовать рамную конструкцию с навесными элементами.

Масса базового варианта инвалидной коляски обычно равна 19 кг. Для спортсменов выпускаются облегченные варианты, а для тяжелых пользователей – усиленные. Так как в коляске будет использован электропривод, масса ее неизбежно возрастет, особенно из-за аккумуляторной батареи. Тем не менее, необходимо стремиться к ее минимизации за счет использования современных материалов, например, карбона.

Учитывая тот факт, что существующие немеханизированные коляски достаточно долго прорабатывались и приспособлялись к практическому использованию инвалидами, возьмем их колесную базу и размеры кресла за основу.

Для расчетов будем исходить из общей массы коляски и пассажира равной 150 кг, ширины 0,7 м и длины 1,1 м. В дальнейшем, после оценки возможностей транспортного привода, эти параметры могут быть уточнены. Принятый стандарт основных (задних) колес 540 мм представляется

удобным и практичным. Передние колеса целесообразно увеличить с целью улучшения проходимости на улице, однако они должны быть меньше задних, чтобы не увеличивать длину коляски и не ограничивать доступ инвалида к окружающим предметам.

С точки зрения сохранения привычной конструкции, задние колеса предлагается оставить без изменений, то есть диаметром 540 мм с ободом для ручного управления. Особенности их использования в разрабатываемой версии будут проанализированы ниже. В качестве передних можно использовать готовые колеса для скутеров и грузовых тележек диаметром 200 – 300мм. Сразу же следует отвергнуть версию с одним передним колесом, распространенную в Интернете, но не популярную у пользователей. Такая конструкция менее устойчива и в условиях улицы, где имеются неровности, может легко произойти опрокидывание, а встать самостоятельно инвалид не сможет. Вместе с тем, расстояние между передними колесами целесообразно взять меньше, чем между задними, это облегчит управление на поворотах. Вариант такой коляски схематично показан на рисунке 11.

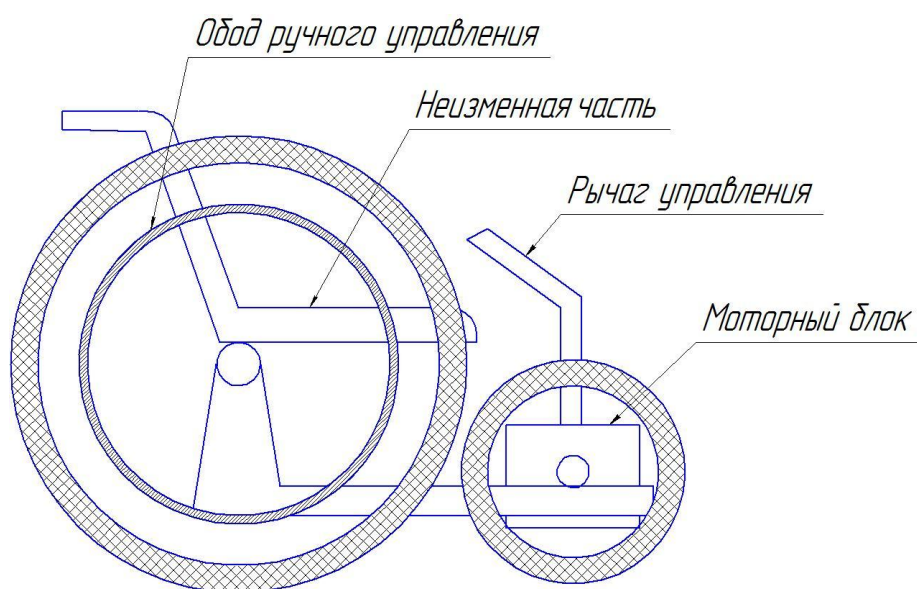


Рисунок 11 – Вариант инвалидной коляски.

Наилучшими эксплуатационными качествами обладают пневматические колеса, хотя возможно и применение современных сплошных колес из полиамида и полиуретана [15]. Принципиальной разницы

с точки зрения конструирования транспортного средства нет, поэтому для определенности выберем пневматические. Их внешний вид представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 - Пневматические колеса

Основные характеристики пневматических колес приведены в таблице 5

Таблица 5 - Характеристики пневматических колес

Название	Нагрузка, кг	Диаметр, мм	Цена, USD (без НДС)
Колесо пневматическое резиновое P 200 / 20-60R, контурный рисунок	75	200	51,00
Резиновый обод P 200 / 20-60R-SG, рисунок паза, серый	75	200	64,00
Колесо из пневматической резины P 220 / 20-75R, контурный рисунок	100	220	50,50
Воздушно-выхлопное колесо P 262 / 20-50K, шаблон кнопки	150	260	53,50
Колесо из пневматической резины P 261 / 20-75R, контурный рисунок	150	260	50,50
Воздушно-выхлопное колесо P 302 / 20-75K, шаблон кнопки	180	300	57,50
Колесо пневматическое резиновое P 401 / 25-90K, контурный рисунок	250	400	72,00

Рассмотрим возможность использования передних колес диаметром 300 мм, так как меньшие могут застревать в неровностях дороги, а большие увеличат длину колесной базы коляски. При этом минимальная длина коляски, определяемая диаметрами колес, составит 840 мм, что значительно меньше предусмотренной ГОСТом – 110 мм.

2.4 Анализ вариантов конструкции транспортной базы с задним и передним приводом

Сначала рассмотрим вариант с ведущими задними колесами. Существующие варианты такого типа не предусматривают ручного привода. Их колеса – задние и передние, как правило, идентичны. Однако, на наш взгляд, электрифицированная коляска должна в эксплуатации минимально отличаться от прототипа. Что касается большинства существующих электрифицированных колясок, то они, по сути, являются микроавтомобилями с электроприводом, а не инвалидными колясками.

В разрабатываемом варианте ведущие задние колеса должны предусматривать работу в следующих режимах:

1. Движение вперед и назад только с помощью рук (режим традиционной коляски).
2. Движение вперед и назад только с помощью электродвигателя.
3. Движение вперед комбинированное, например, при преодолении подъема.
4. Повороты при движении вперед и назад при движении с помощью рук и с электроприводом.

При использовании заднего привода ряд конструктивных сложностей связан с обеспечением вращения задних колес с разной скоростью при поворотах. Возможны следующие варианты решения данной проблемы:

1. Использование специальных мотор-колес.
2. Использование отдельных мотор-редукторов для каждого заднего колеса.

3. Применение дифференциала.

Движение вперед с помощью рук, как в классической версии, должно учитывать возможное влияние электропривода. Использование двух мотор-колес, во-первых, дорого, а во-вторых, проблематично при движении как вперед, так и назад. Для движения вперед в каждом колесе должна быть муфта свободного хода. Известные конструкции – роликовая и храповая не позволяют вращаться в противоположную сторону, то есть исключают задний ход. Можно при ручном управлении отключить сцепление, однако, это предполагает наличие такого агрегата. Информации о приемлемых мотор-колесах для описанного варианта применения найти не удалось. Можно использовать мотор-колеса для велосипеда, но скорость 30-50 км/ч для инвалидной коляски неприемлема. Их муфта свободного хода также не позволяет реализовывать задний ход. Кроме того, колеса для велосипеда не имеют ободов для ручного управления. По описанным причинам использование двух мотор-колес в качестве задних колес инвалидной коляски следует признать нецелесообразным.

Вариант использования отдельных двигателей с редукторами для каждого колеса возможен, хотя и экономически достаточно сомнителен. Технические трудности связаны с передачей крутящего момента к колесам. Применение цепной или другой жесткой передачи, как и в вышеописанном случае с мотор-колесами, также не позволит двигаться задним ходом. Известны варианты применения различных муфт, отключающих сцепление, но это неизбежно повышает сложность конструкции и ее цену. Более дешевым и простым является управление сцеплением изменением натяжения ремней. Это, в принципе, возможно, но не может считаться оптимальным.

Применение одного двигателя совместно с дифференциалом также предполагает отключение электропривода, что тоже достаточно сложно и затратно.

Рассмотрим вариант с передним приводом. Задние колеса при этом остаются такими же, как в обычной коляске. Для обеспечения управляемости

передние должны быть смещены назад относительно вертикальной оси поворота, как это показано на рисунке 13 применительно к традиционной коляске.



Рисунок 13 - Устройство передних колес традиционной коляски

Для реализации данного принципа в разрабатываемой коляске предлагается втулку поворотного рычага и сам рычаг разместить в центре моторного блока, а ось с жестко закрепленными на ней колесами сместить, как это показано на рисунке 14.

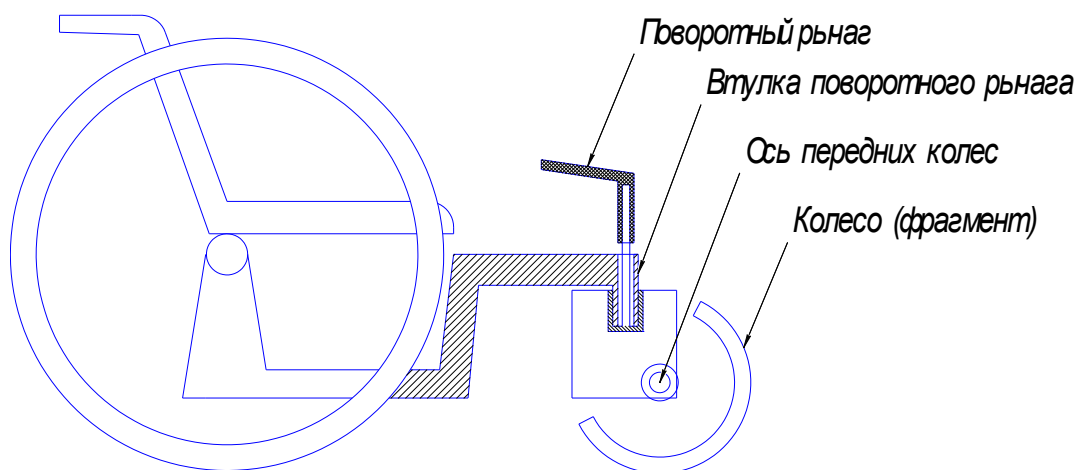


Рисунок 14 – Конструкция блока передних колес

Колеса, расположенные на сравнительно малом расстоянии – порядка 350 мм, обеспечат достаточную устойчивость и позволят поворачивать модуль с помощью рычага ручного управления.

Управление с помощью рулевого рычага, оборудованного ручкой газа, предполагают, что модуль передних колес тянет коляску вперед. При этом

ось передних колес должна быть смещена уже не назад, а вперед для удобства управления. Для перехода в режим обычной коляски, управляемой руками посредством задних колес, достаточно повернуть весь моторный блок на пол оборота и выключить сцепление. Реализация данной процедуры зависит от конструкции трансмиссии, которая будет определена далее.

Управление сцеплением со стороны пользователя можно осуществлять разными способами, из которых наиболее интересными представляются два. В начале предполагалось, что рулевой рычаг соединяется с моторным модулем шарнирно. Его перемещение из одного крайнего положения в другое будет выполнять дополнительную функцию – в положении для движения с помощью электропривода этот рычаг обеспечит включение сцепления мотора с колесами, а в противоположном положении – отключит его. Фиксация рычага в указанных положениях обеспечивается пружиной. Однако этот способ лучше отложить на этап окончательной доработки с участием пользователей, а пока целесообразно ограничиться отдельным рычагом сцепления, фиксируемым в положении, обеспечивающем натяжение ремня. Вариант управления сцеплением с помощью отдельного рычага с фиксатором иллюстрируется рисунком 15

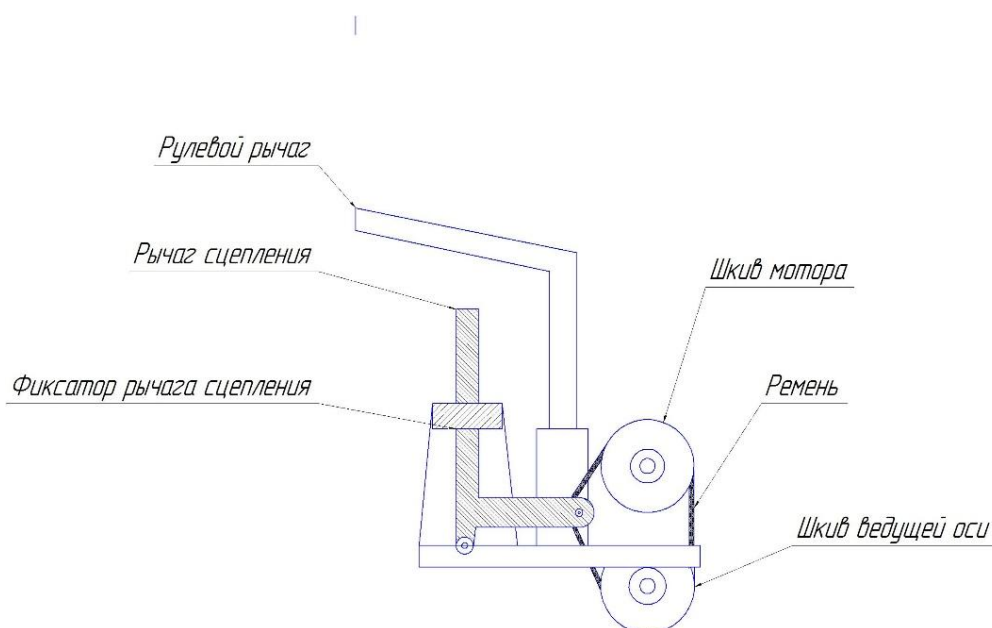


Рисунок 15 - Управление сцеплением с помощью рычага

2.5 Выбор трансмиссии

Для передачи крутящего момента от двигателя к колесной оси применение цепной, карданной и зубчатой передач в нашей конструкции неприемлемы, так как не обеспечивают оперативного включения и выключения сцепления. Практическое применение могут найти фрикционная и ременная передачи [10].



Рисунок 16 - Фрикционная передача

Фрикционная передача (от английского слова friction – трение) обеспечивает передачу крутящего момента между парой цилиндров, дисков или конусов за счет трения. Всем известны автомобильные муфты сцепления, работающие по данному принципу. Как видно из рисунка, такая передача может изменять скорость вращения в сторону повышения или понижения.

При всех положительных качествах подобное решение имеет и недостатки. Прежде всего, кроме муфт сцепления транспортных средств, фрикционные передачи мало распространены и найти подходящую для нашей конструкции не удалось, а изготавливать ее «с нуля» нежелательно.

Ременная передача обладает всеми достоинствами фрикционной, но при этом распространена значительно шире и подбор необходимых комплектующих для ее реализации не составит труда. С точки зрения управления сцеплением наиболее удобной представляется передача с ремнем клиновидного сечения, показанная на рисунке 17 [16,20].

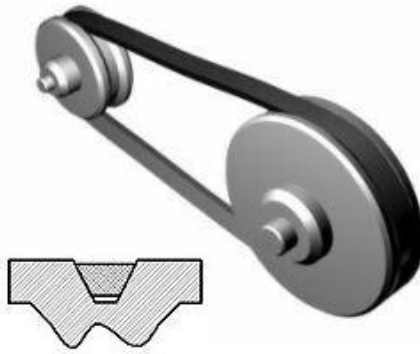


Рисунок 17- Клиноременная передача.

Очевидно, что сцепление ремня с большим шкивом выше, чем с меньшим из-за разности площадей соприкасающихся поверхностей. Поэтому желательно использовать, по возможности, шкивы одинакового диаметра, а необходимое передаточное соотношение обеспечивать с помощью редуктора.

2.6 Расчет параметров кинематической схемы электропривода

Как было показано ранее, коллекторный двигатель мощностью 180 Вт, использованный при изготовлении электровелосипеда, позволяет реализовать необходимые тяговые характеристики инвалидной коляски на пределе своих возможностей. Из представленных в таблице 3 электродвигателей выберем 250-ваттный вариант SF8156, как один из наиболее доступных и дешевых. Важным его преимуществом является широкий модельный ряд, различающийся, в частности, коэффициентом передачи редуктора. Производитель выпускает версию данного двигателя со шкивом для ременной передачи, изображенную на рисунке 18.



Рисунок 18 – Мотор-редуктор транспортного привода

Несмотря на очевидные удобства применения этого готового технического решения, отсутствие данных о размерах шкива и требованиях к ремню вынуждает искать проверенные варианты, то есть использовать свой шкив.

Скоростные характеристики вышеуказанного мотор-редуктора с разными передаточными отношениями приведены в таблице 6 [14].

Таблица 6 - Характеристики редукторов

Передат. отношение	1\3	1\5	1/10	1/12,5	1/15	1/18	1/20	1/30
Скорость, об\мин	610	366	183	146	122	102	92	61

После уточнения требований к редуктору он может быть выбран таким, чтобы не требовалось дополнительного снижения скорости за счет ременной передачи.

Требуемая скорость вращения колес $n_{\text{кол}}$ диаметром 300 мм определяется выражением [11]

$$n_{\text{кол}} = \frac{V}{l_{\text{кол}}} = \frac{V}{\pi D} \quad (8)$$

где V – требуемая максимальная скорость движения коляски, D – диаметр колеса, $l_{\text{кол}}$ - длина окружности колеса.

Для стандартной скорости 6 км/ч при диаметре колес 300 мм необходимая скорость вращения составит

$$n_{\text{кол}} = \frac{1,67\text{м/с}}{\pi D} = 1,75 \text{ об/мин.}$$

Размеры моторного блока должны обеспечивать возможность маневрирования и не создавать помех задним колесам. Здесь возможны варианты, поэтому выберем один из них произвольно, исходя из габаритов предполагаемых комплектующих изделий и, при необходимости, внесем коррективы позже.

Итак, за основу несущей конструкции моторного блока возьмем платформу в форме квадрата со стороной 300 мм. Прежде, чем определять место колесной и поворотной осей, оценим размеры клиноременного привода.

Промышленность выпускает шкивы для клиноременных передач самых разных диаметров. При выборе диаметра будем исходить из следующих соображений. С точки зрения эффективности работы, то есть отсутствия проскальзывания, шкивы должны быть большими, но слишком большие шкивы могут служить препятствием при преодолении бордюров и других неровностей. Для дальнейших расчетов примем диаметр шкива равным 125 мм. Позже его фрикционные характеристики будут рассчитаны.

Для оценки минимальной длины ремня воспользуемся приближенным методом, поскольку будет внесена поправка в сторону ее увеличения для управления сцеплением. Предположим, что шкивы соприкасаются на уровне рабочей ширины ремня. Тогда длина ремня будет складываться из длин двух полуокружностей и удвоенного расстояния между центрами шкивов

$$l_{\text{рем}} = \pi D_{\text{шк}} + 2l, \quad (9)$$

где $D_{\text{шк}} = 125$ мм - диаметр шкива, l - расстояние между осями шкивов – в рассматриваемом предельном случае $l = D = 125$ мм. Таким образом минимальная длина ремня составит 643 мм.

Из предлагаемых промышленностью стандартных длин ремня подходит 670 мм, однако для регулировки натяжения необходим некоторый запас. Поэтому выберем длину ремня 710 мм.

Из выражения (9) получим формулу для определения межосевого расстояния клиноременного привода

$$l = \frac{l_{\text{рем}} - \pi D_{\text{шк}}}{2} \quad (10)$$

В рассматриваемом случае получим $l = 159$ мм. При этом на операции с изменением натяжения ремня остается 34 мм. Полный размер клиновидного привода будет больше указанного значения на размер диаметра и составит 284 мм, то есть вполне размещается на площадке размером 300x300 мм.

Присоединительные размеры мотор-редуктора приведены на рисунке 19.

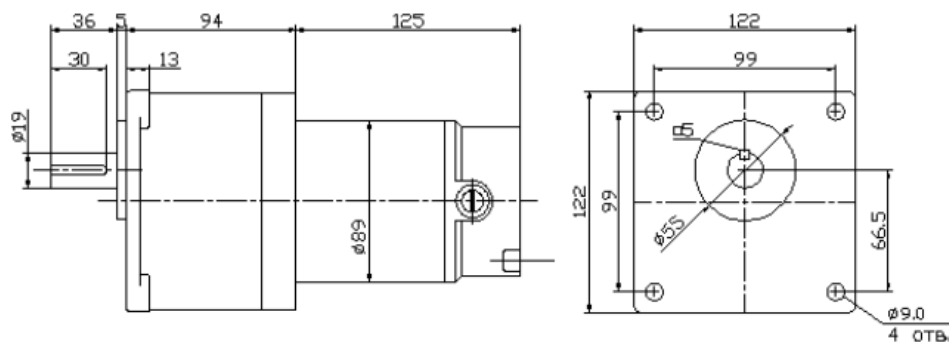


Рисунок 19 - Присоединительные размеры мотор-редуктора

С учетом размеров несущей платформы моторного блока и выбранного диаметра колес можно определить размещение мотор-редуктора, клиноременной передачи, колес и поворотного рычага. Вариант их компоновки представлен на рисунке 20.

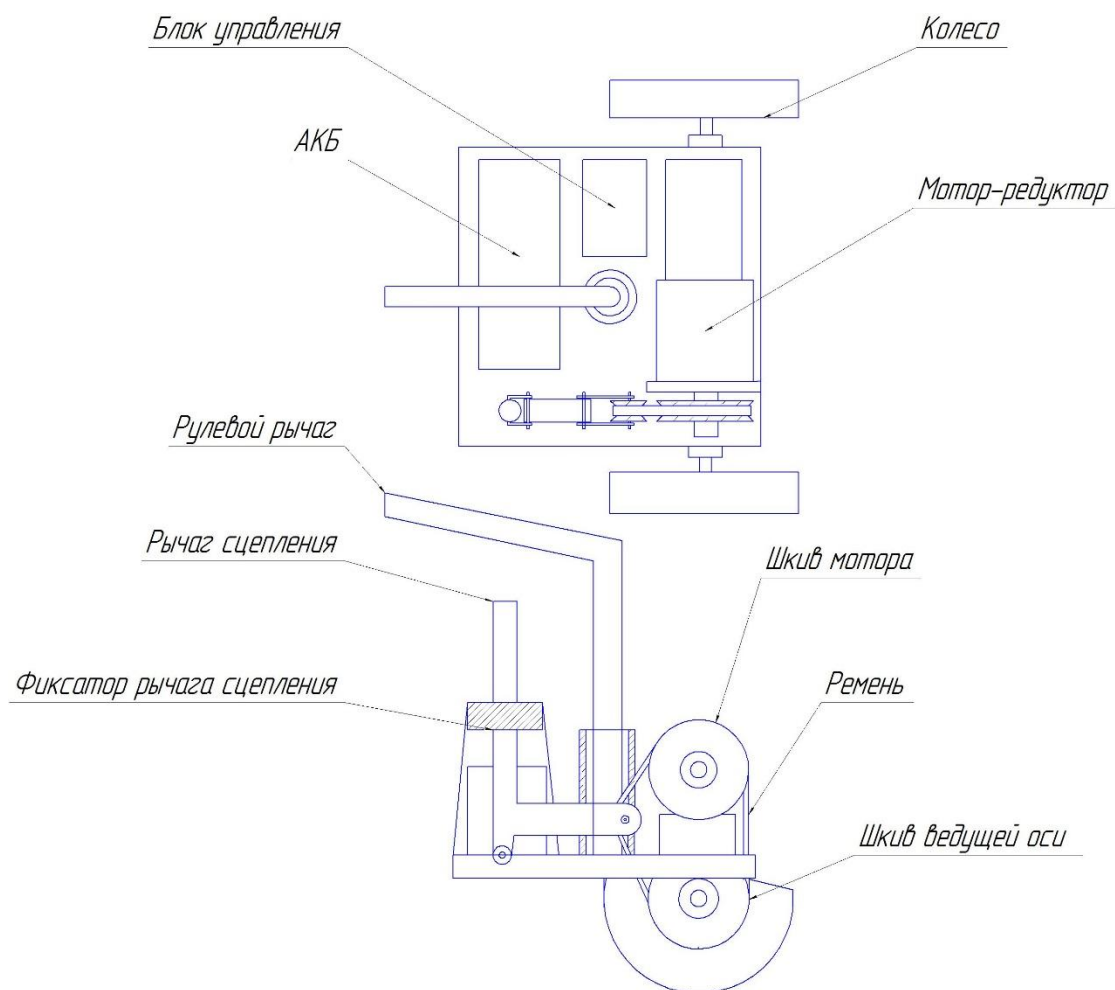


Рисунок 20 - Вариант компоновки элементов моторного блока

2.7 Расчет сцепления ремня

Расчет клиноременных передач сводится к обоснованию выбора ремня и оценке его способности передавать требуемую мощность.

Согласно [11] окружная сила, передаваемая ремнем, определяется крутящим моментом M (Н/м) и диаметром шкива D (мм)

$$F = 2M \cdot 10^3 / D \quad (11)$$

С учетом выбранного типа двигателя с коэффициентом передачи редуктора равным 18, момент составит 89,4 кгс/см = 0, окружная сила при этом будет равна

$$F = 2 \cdot 8,94 \cdot 10^3 / 125 = 143 \text{ Н} \approx 14,6 \text{ кгс.}$$

Это означает, что на ремень в продольном направлении воздействует сила 14,6 кг, что в десятки раз меньше, чем предельно допустимая сила

растяжения любого ремня. Поправки на центробежную силу и другие подобные факторы имеют место при скорости ремня более 5 м/с, а в данном случае она меньше. Таким образом, ремень может быть любым из выпускаемых промышленностью.

Основных характеристик ремня три – ширина, толщина и длина [20]. Они схематично изображены на рисунке 21. Необходимо отметить, что длина, а в некоторых источниках и ширина, указываются относительно некоторой расчетной линии.

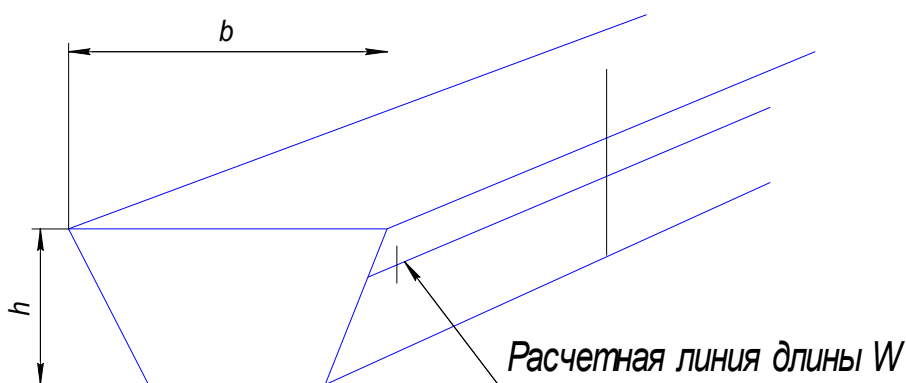


Рисунок 21 – Основные характеристики клиновидного ремня

По сочетанию ширины и толщины ремня устанавливается буквенное обозначение. Фрагмент соответствующей справочной информации для выбора ремня без учета длины приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики клиновидных ремней

Обозначение типа ремня	Ширина b , мм	Толщина h , мм
Классические ремни		
Z	10	6
A	13	8
B	17	11
C	22	14
D	32	19
E	38	23

Продолжение таблицы 7

Узкопрофильные ремни		
SPZ	9,7	8
SPA	12,7	10
SPB	16,3	13
SPC	22	18

Анализ областей применения клиновидных ремней вышеуказанных типов показывает, что все они используются в технике с большими механическими нагрузками и, следовательно, можно использовать любой. Для определенности выберем ремень типа «А» максимальной шириной 13 мм, толщиной 8 мм. Меньший размер «Z» тоже подходит по прочностным характеристикам, но он имеет меньший срок службы.

Для нормальной работы ремень должен иметь правильное натяжение, которое согласно [11], определяется выражением

$$F_0 = A \cdot \sigma_0, \quad (12)$$

где A – сечение ремня (мм^2), σ_0 – максимальное напряжение в ведущей ветви ремня. Для выбранного типа ремня получим

$$F_0 = 81 \cdot 2 = 162 \text{ Н.}$$

Такое натяжение может быть реализовано несколькими способами. Наиболее простой из них – смещение специального натяжного ролика с помощью рычага сцепления, как это схематично показано на рисунке 20.

2.8 Расчет блока управления электродвигателем

Задачи управления электроприводом инвалидной коляски достаточно просты – с помощью ручки газа должно осуществляться переключение с переднего хода на задний и широтно-импульсное регулирование тока [2,3]. Кроме того, реверс предполагается использовать в качестве основного способа торможения (резервное может осуществляться руками через обода ручного привода).

Для решения данных задач может быть применено два подхода [4]. Первый – использование микропроцессора с соответствующим программным обеспечением [5,6]. Именно так устроен блок управления электровелосипеда, описанного выше. Особых трудностей данный подход не вызывает, более того, он позволяет реализовать ряд дополнительных функций и тем повысить товарную привлекательность разрабатываемого изделия. Второй подход – использование компараторов и логических микросхем [24]. Он прост и, что особенно важно на данном этапе, нагляден. Поскольку настоящая работа имеет квалификационный характер, для обсуждения в ходе защиты такой подход предпочтительнее. Таким образом, используем второй подход, а применение микропроцессора отложим на этап изготовления коммерческих образцов.

Исходные данные для расчета:

Напряжение аккумуляторной батареи $U_{\text{бат}} = 36 \text{ В}$;

Номинальное напряжение электродвигателя $U_{\text{дв}} = 24 \text{ В}$;

Номинальный рабочий ток $I_{\text{ном}} = 10,4 \text{ А}$;

Скорость вращения вала двигателя с редуктором 0 -102 об/мин;

Реверс – есть.

Орган управления – ручка «газа» - двунаправленная – для управления передним и задним ходом.

Разрабатываемый блок управления располагается между 36-вольтовой аккумуляторной батареей [1] и 24-вольтовым двигателем, как это условно показано на рисунке 20.

Этот блок, в соответствии с положением ручки «газа», изменяет в широких пределах напряжение аккумуляторной батареи и осуществляет реверс двигателя, изменяя с помощью реле полярность питания электродвигателя. Ручка «газа» является единственным внешним органом управления. Тахометр в данном случае, то есть при скорости до 6 км/ч, не нужен. Более того, при малых скоростях вращения измерения с помощью

любых типов датчиков являются неточными. Более точные методы существуют, но они существенно усложняют схему.

Ручка газа по своей сути является переменным резистором, сопротивление которого в среднем положении распознается как команда на отсутствие движения. Отклонения от среднего положения, соответственно, формируют, при необходимости, команду на включение реле заднего хода и задают параметры широтно-импульсной модуляции.

Принцип распознавания сигналов ручки «газа» иллюстрируется рисунком 22, а схема, реализующая на основе ее сигналов управление направлением движения, представлена на рисунке 23.

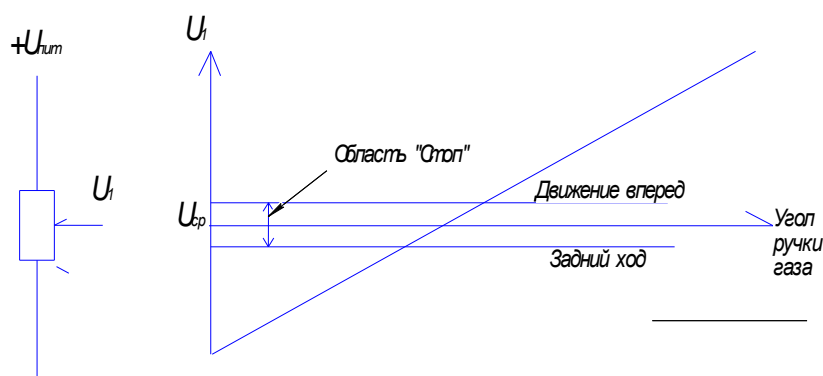


Рисунок 22 - Схема распознавания сигналов ручки газа.

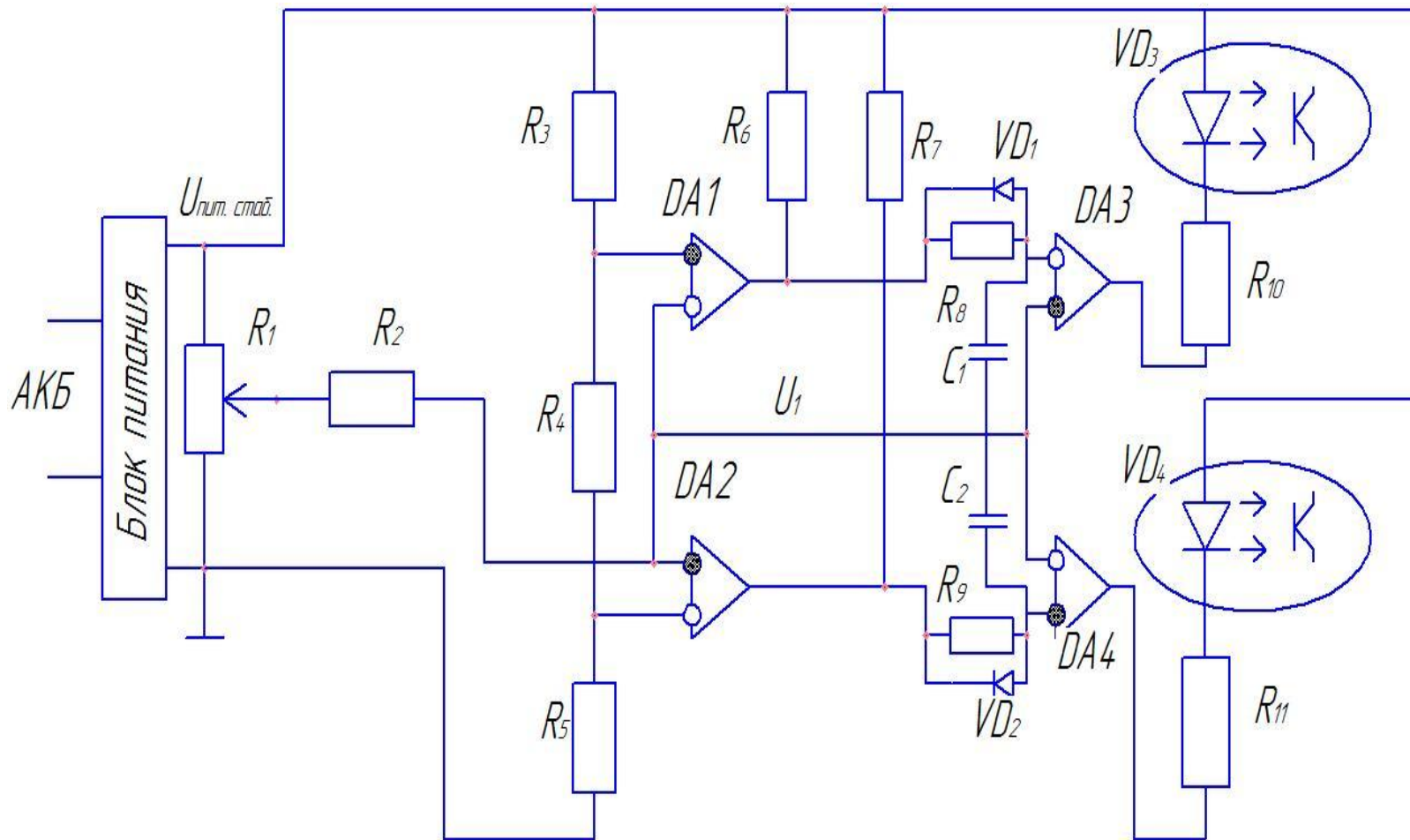


Рисунок 23 - Схема управления направлением движения

В схеме управления движением формируется отдельное стабилизированное напряжение $U_{\text{пит}}$. Его величина может быть разной, но, учитывая перспективу использования процессора, примем его равным 5В. Это напряжение подается на ручку газа, подвижный контакт которой формирует управляющее напряжение U_1 .

В схеме имеется две пары компараторов. В каждой из них инвертирующий вход одного компаратора соединен с неинвертирующим входом другого. Сюда подается управляющее напряжение U_1 от ручки газа. На другие входы DA1 и DA2 подаются напряжения с делителя опорного напряжения на резисторах $R_3 - R_5$. Резистор R_4 имеет значительно меньшее сопротивление, чем R_3 и R_5 . Он обеспечивает существование области «стоп» между положениями ручки газа «вперед» и «назад». В этой области на выходах компараторов низкий уровень. За пределами области «стоп» на выходах одного из компараторов будет высокий уровень.

Компараторы DA3 и DA4 обеспечивают инверсию сигналов первой пары компараторов, что необходимо для управления светодиодами транзисторных оптопар. Также они обеспечивают задержку выполнения команд управления на 0,5...1 с с целью исключения «электронного дребезга». Задержка обеспечивается конденсаторами C_1 и C_2 , которые медленно заряжаются через резисторы R_8 и R_9 , но быстро разряжаются через диоды VD_1 и VD_2 .

Таким образом, при среднем положении ручки газа на светодиоды оптопар управляющее напряжение не подается, а при ее повороте в ту или иную сторону включается один из них. В результате открывается транзистор управления движением вперед или назад. Непосредственная коммутация двигателя в соответствии с направлением движения осуществляется с помощью реле, а выходное напряжение управляется широтно-импульсным модулятором.

Схема управления непосредственно тяговым электродвигателем представлена на рисунке 24.

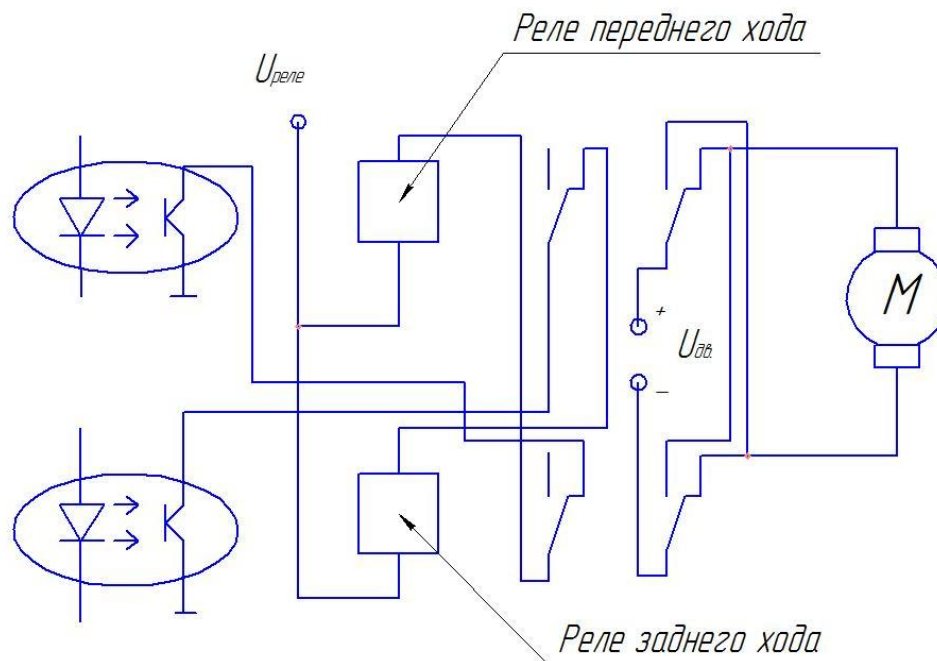


Рисунок 24 – Схема управления полярностью питания тягового электродвигателя.

Управляющее напряжение для ШИМ регулятора в рассмотренных схемах изменяется в пределах 2,5 В. При необходимости оно может быть изменено путем изменения опорного напряжения.

Для реализации ШИМ регулятора, управляемого таким напряжением, существует много известных схем, в том числе, предназначенных именно для управления коллекторным электродвигателем. Наиболее распространены конструкции на базе специализированной микросхемы TL494 [2]. В принципе, можно приобрести готовый ШИМ-контроллер. По этой причине схемотехнику устройств данного класса подробно рассматривать не будем.

Выводы по 2 разделу:

1. Инвалидная коляска должна совмещать традиционный ручной привод с электрическим.
2. Электропривод целесообразно строить на основе мотор-редуктора со стабилизатором тока при повышенном напряжении питания.

3 Разработка вспомогательных электроприводов

Предположительно, в составе инвалидной коляски должно быть, кроме транспортного, еще два электропривода – санитарно-гигиенический и массажный [21,30]. Санитарно-гигиенический должен позволять одиноким инвалидам без посторонней помощи посещать туалет. Массажный электропривод предназначен для устранения застойных явлений в неподвижных частях тела механическим воздействием, аналогичным воздействию рук массажиста.

3.1 Разработка электропривода санитарно-гигиенического устройства

3.1.1 Концепция санитарно-гигиенического устройства инвалидной коляски

Рассмотрим существующие санитарно-технические приспособления для инвалидов. Простейший вариант, который автору довелось наблюдать в доме престарелых, показан на рисунке 25 [23].



Рисунок 25 - Санитарно-гигиеническое приспособление для инвалидов

Недостаток такой конструкции очевиден – без посторонней помощи воспользоваться этим устройством невозможно. Также немаловажно то, что манипуляции с емкостью по ее опорожнению и мытью не слишком приятны для обслуживающего персонала.

Менее проблематична для окружающих конструкция в виде насадки на унитаз, изображенная на рисунке 26



Рисунок 26 - Насадка на унитаз для инвалидов

В данном варианте нет проблемы с обслуживанием санитарной емкости, но для людей с полностью утраченной подвижностью ног его использование также проблематично. Этот вариант больше подходит для пожилых людей с ограниченной подвижностью нижних конечностей.

Инвалидная коляска с санитарной емкостью представлена на рисунке 27.



Рисунок 27 - Инвалидная коляска с санитарно-гигиеническим приспособлением

Если инвалид одинок, то содержимое емкости будет находиться при нем длительное время. Вариант «все свое вожу с собой» в данном контексте

представляется негуманным. Приглашать гостей такому пользователю едва ли захочется.

Выходом из положения может быть дополнение инвалидной коляски санитарно-гигиенической функцией. С этой целью достаточно оборудовать сиденье специальным люком и обеспечить возможность позиционирования коляски в туалете. В большинстве случаев располагаться в туалете удобнее на ручном приводе. При этом мотор-редуктор электропривода может быть использован для управления люком. Однако, в общем случае, у инвалида могут быть проблемы как с руками, так и с ногами, поэтому исключать применение электропривода для таких целей нельзя.

Для принятия оптимального положения в туалете целесообразно оборудовать пол направляющими швеллерами. Они должны иметь некоторый наклон назад и упор для фиксации заданного положения. Пользователь сможет после открытия люка задним ходом въехать в туалет до упора, полноценно воспользоваться им, выехать и закрыть люк. Описанная конструкция поясняется рисунком 28.

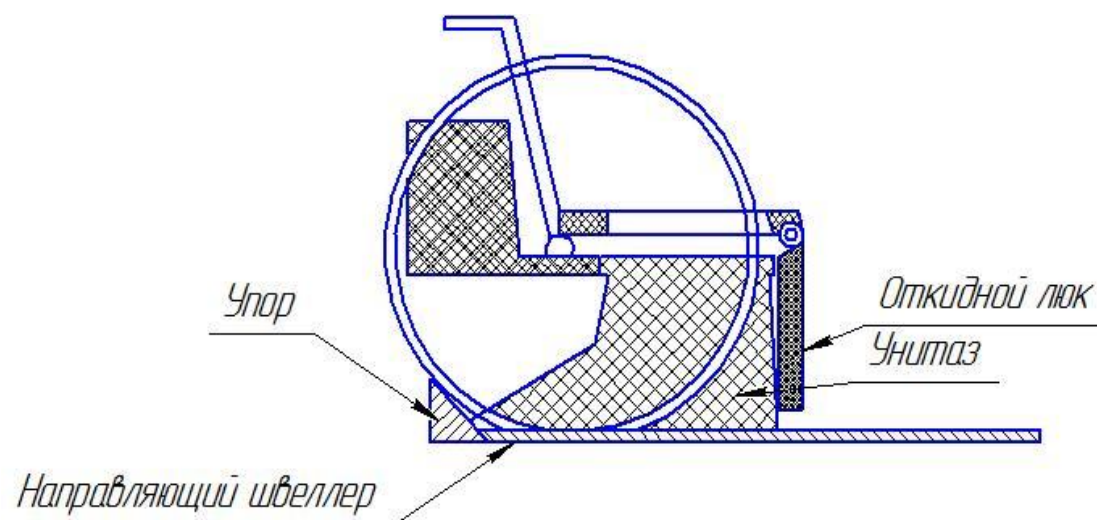


Рисунок 28 – Предлагаемая конструкция инвалидной коляски

3.1.2. Расчет электропривода санитарно-гигиенического устройства

Прежде всего, необходимо обосновать необходимость использования электропривода для управления санитарным люком. Большинство инвалидов-колясочников компенсируют отсутствие подвижности ног значительным развитием силы рук. Для них проще, удобнее и дешевле будет использовать механический привод. Однако, есть еще и меньшинство, которому силы рук хватает только для нажатия кнопок, как например, известному физику Стивену Хоккингу. Поэтому электропривод для управления санитарным люком необходим.

Возможны разные варианты устройства санитарного люка, отличающиеся количеством створок, направлением их открывания и т.д. Наиболее простой представляется конструкция с одной створкой, открывающейся вперед, показанная в разрезе на рисунке 28.

Форма и размер люка должны быть близки к форме и размеру сиденья унитаза. Однако, необходимо отметить, что овальная форма унитаза связана с его использованием стоя, что в данном случае неактуально. Действительно, ночные горшки имеют исключительно круглую форму. Таким образом, на основании изучения различных сидений, примем версию люка – круг диаметром 300 мм, откидывающийся вперед.

Для последующих энергетических расчетов требуется оценить усилие, с которым люк закрывается. На конечном участке траектории на него воздействует существенная часть массы инвалида. Будем исходить из худшего варианта – когда инвалид не может помогать руками.

Так как на люк воздействует масса сидячего человека, у которого ноги находятся на отдельном упоре, нужно определить, насколько это уменьшает силу, действующую на люк. С целью выяснения этого был проведен эксперимент: с помощью напольных весов сравнивался вес стоящего и сидящего человека. Разница оказалась всего 15 %. Учитывая, что

бездействующие ноги вносят еще меньшую долю в общий вес, будем исходить из воздействующей на люк массы 100 кг.

Конечный участок траектории люка при его закрывании - не более 50 мм. Именно здесь будет максимальная нагрузка на электропривод. Выполним предварительную оценку необходимой мощности, исходя из допущения, что люк закрывается наматыванием троса на вал.

В соответствии с рисунком 28, рычаг образует сам люк диаметром 300 мм и поправка на толщину сиденья – еще 50 мм, то есть всего 350 мм. Полагая угол открывания люка равным 90° , найдем изменение длины троса $l_{тр}$. Тогда, согласно теореме Пифагора, длина гипотенузы составит

$$l_{тр} = \sqrt{350^2 + 350^2} \approx 500 \text{ мм}$$

Если задать время закрывания люка равным 10 с, то скорость наматывания троса составит 50 мм/с. При этом диаметр вала D_v , вращающегося со скоростью 1 об/с, составит

$$D_v = \frac{l_{тр}}{\pi} \approx 20 \text{ мм.} \quad (13)$$

Для подъема 100 кг на 50 мм потребуется энергия, определяемая известной формулой

$$A = mgh,$$

где m - масса в кг, g – гравитационная постоянная, h – высота подъема груза.

При вышеуказанных исходных данных получим

$$A \approx 100 \cdot 10 \cdot 0.05 = 50 \text{ Дж.}$$

Так как эта энергия расходуется за 1 секунду, мощность привода составит 50 Вт. Учитывая приближенность данной оценки и отсутствие поправок на потери, это значение будем считать нижним пределом мощности мотор-редуктора, скорость вращения вала которого равна 1 об/с или 60 об/мин. Этим требованиям удовлетворяет МРП-90 [14]. Его внешний вид и присоединительные размеры представлены на рисунках 29 и 30, а основные характеристики – в таблице 8.



Рисунок 29 - Внешний вид мотор-редуктора МРП-90

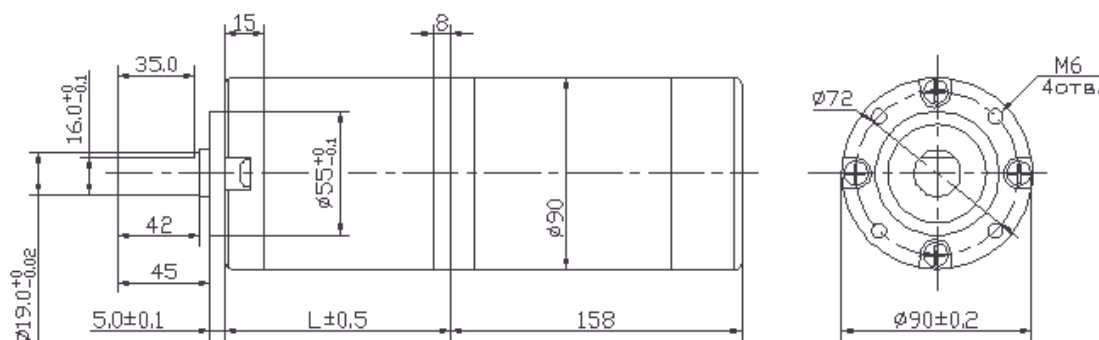


Рисунок 30 - Присоединительные размеры МРП-90

Таблица 8 - Характеристики мотор-редуктора МРП-90

Параметр	Значение
Мощность	100 Вт
Скорость	3,6 – 510 об/мин
Крутящий момент	10 – 180 кгс/см
Напряжение питания	12/24 В
Максимальный ток	7/4,2 А

Для принятого в данной работе напряжения 24 В зависимость крутящего момента от скорости мотор-редуктора приведена в таблице 9

Таблица 9 - Зависимость крутящего момента МРП-90 от скорости

Момент, кгс/см	12	42	55	130	150
Скорость, об/мин	510	127	99	35	31

Выберем вариант со скоростью 35 об/мин и моментом 130 кгс/см. Для принятого ранее диаметра вала 20 мм скорость наматывания троса снизится пропорционально снижению скорости и составит около 14 с, что вполне приемлемо с эксплуатационной точки зрения.

Как видно из рисунков 29 и 30, мотор-редуктор по форме представляет собой цилиндр диаметром 90 мм и фланцевым креплением четырьмя винтами М6. Он легко может разместиться как под сиденьем, в его задней части, так и на самом люке. Второй вариант более предпочтителен, так как массивный люк будет обеспечивать натяжение тросов и препятствовать их запутыванию. Размещение элементов кинематической схемы показано на рисунке 31.

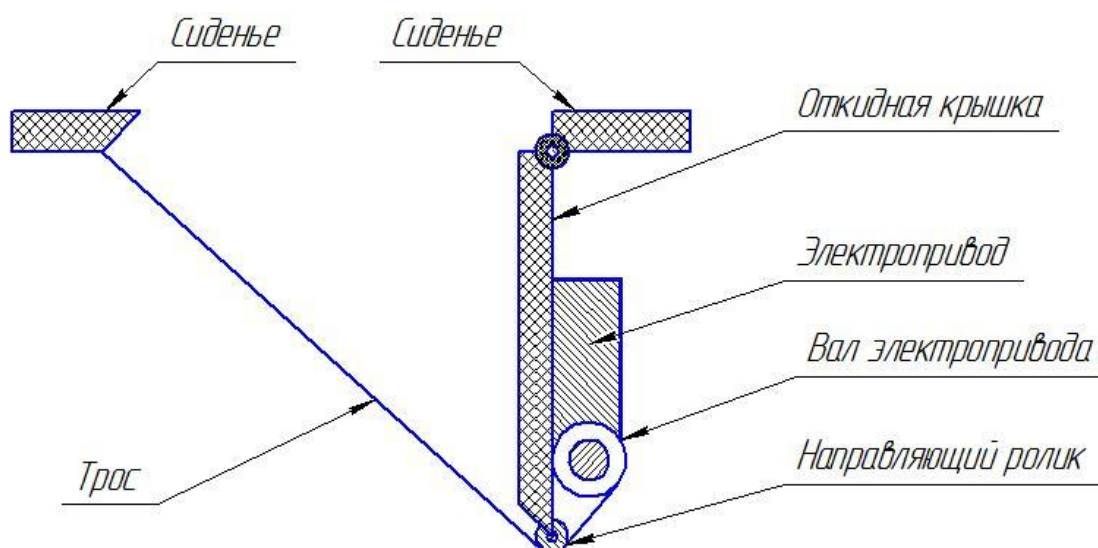


Рисунок 31 - Кинематическая схема санитарно-гигиенического привода

Расположение электрпривода может быть и на сиденье – это не имеет принципиального значения. Изображенный на рисунке вариант представляется более целесообразным с двух точек зрения. Во-первых, увеличение массы откидной крышки обеспечит натяжение троса, что исключит его запутывание. Во-вторых, при необходимости ремонта или техобслуживания электрпривода доступ к нему в данном варианте более удобен.

Мотор-редуктор закреплен на корпусе люка с помощью кронштейна, а его вал соединен в валом натяжения тросов, оснащенным двумя подшипниками. Тросы с помощью направляющих роликов соединены с сиденьем. При наматывании тросов люк подтягивается к сиденью и в крайнем положении воздействует на фиксатор и защелкивается. Для открывания необходимо рычагом сдвинуть защелку и включить режим разматывания тросов. В крайних положениях люка имеются концевые выключатели, препятствующие подаче напряжения на мотор в крайнем положении. Электрическая схема системы управления люком, включающая трехпозиционный переключатель и два концевых выключателя, приведена на рисунке 32.

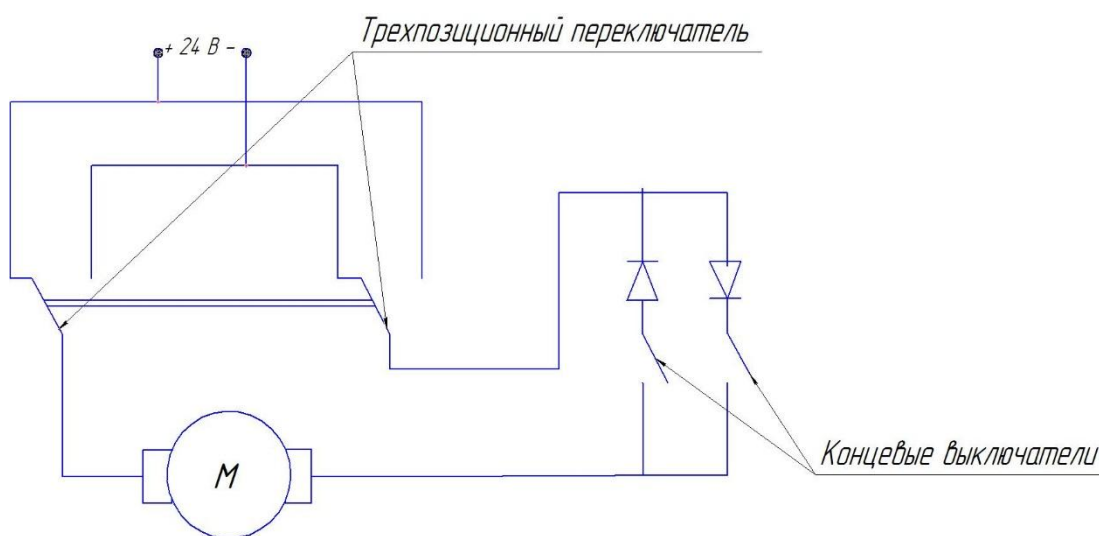


Рисунок 32 – Схема управления люком

В качестве трехпозиционного выключателя может использоваться тумблер, изображенный на рисунке 33 или любое подобное устройство.



Рисунок 33 – Трехпозиционный тумблер

Для выбранного диаметра вала 20 мм применение стальных тросов может привести к их скручиванию и запутыванию. Учитывая незначительную нагрузку, предлагается использовать синтетический трос. Для всех видов тросов применяются две прочностные характеристики – разрывное усилие R и рабочая прочность P . Они зависят от материала троса и его толщины, которая, в отличие от стальных тросов, оценивается не диаметром, а длиной окружности C . Указанные величины определяются формулами

$$R = fC^2 \quad (14)$$

$$P = \frac{R}{k} \quad (15)$$

где f - эмпирический коэффициент, k – запас прочности, в подъемных устройствах для людей принимается равным 12.

Эмпирический коэффициент f нормирован для растительных (манильских, пеньковых, сизальских) тросов и находится в пределах от 0,4 до 0,65. Синтетические тросы обладают более высокими показателями качества, более гибки, влагостойки, устойчивы к горюче-смазочным материалам и работают в широком температурном диапазоне. Лучшими характеристиками обладают полиамидные тросы, для которых $f = 1,8$.

Будем учитывать худший вариант – когда вместо двух тросов вся нагрузка ложится на один. Тогда для 2-кратного запаса и необходимой рабочей прочности 100 кгс разрывное усилие троса составит

$$R = kP = 200 \text{ кгс}$$

Из выражения (14) получим

$$C = \frac{\bar{R}}{f}$$

Длина окружности троса составит 10,5 мм, что соответствует диаметру 3,36 мм. Ближайший стандартный диаметр 4 мм.

3.2 Разработка встроенного массажного устройства

Из существующих массажеров для применения в инвалидной коляске подходят два типа – компрессионный и вибрационный [32].

3.2.1 Разработка компрессионного массажного устройства

Компрессионные состоят из воздушных манжет, в которых периодически меняется давление с помощью компрессора. Выпускаются массажеры для ступней, голени и ног полностью. На рисунке 34 показан внешний вид наиболее распространенных образцов [34,37].



Рисунок 34 - Компрессионные массажеры для ног

В принципе, их можно использовать и инвалидам-колясочникам, однако для этого требуется помощь постороннего человека, что не всегда возможно.

Известны также конструкции под названием «массажное кресло». В качестве примера на рисунке 35 изображены два образца [12].



Рисунок 35 - Массажные кресла

Как видно из рисунка, это достаточно громоздкие сооружения, особенно если их массажные возможности распространяются на все тело, включая ноги. Брать их устройство за основу встроенного массажера коляски нецелесообразно. Более того, у инвалидов-колясочников нередко отсутствуют одна или обе ноги, поэтому разрабатываемое техническое решение должно быть гибким и способным адаптироваться к самым разным инвалидам.

Предлагается изготовить модульный массажер в виде множества идентичных трехэлементных модулей с пневматическим приводом, из которых путем сшивания может быть собран массажер необходимой конфигурации. Использование пневматического привода предполагает наличие компрессора, поэтому данная функция инвалидной коляски может быть реализована только в стационарных условиях, например, дома.

Модуль массажера показан на рисунке 36

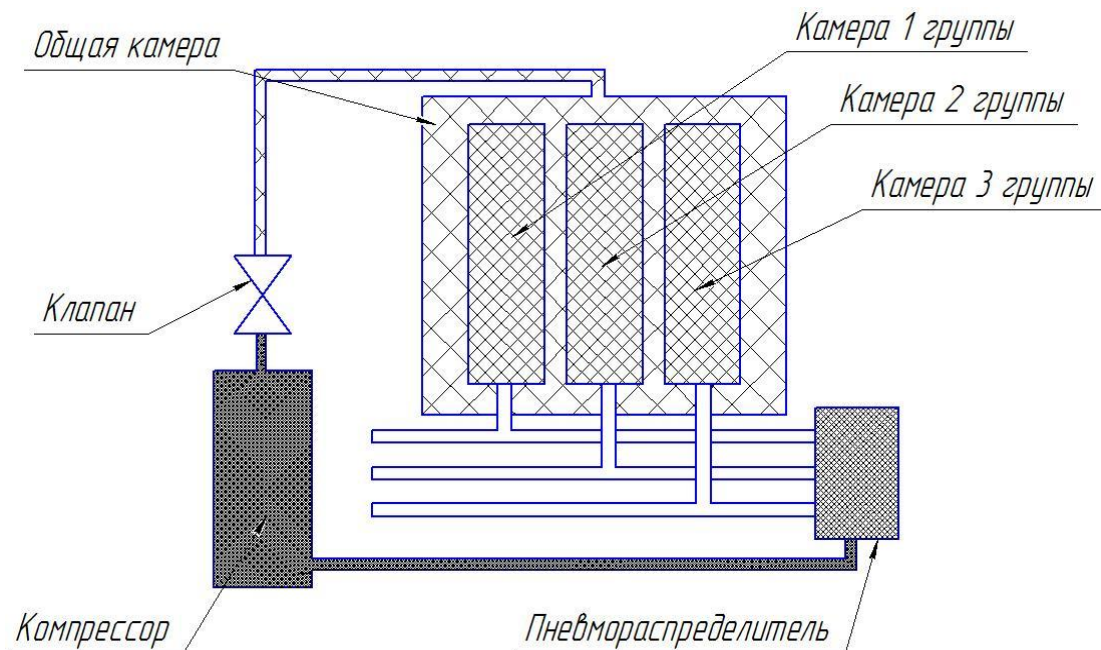


Рисунок 36 - Модуль компрессионного массажера

Модуль массажера по принципу работы похож на манжету тонометра. Он состоит из тканевой основы, на которой размещены три воздушных камеры. Путем сшивания модулей можно, например, изготовить массажную ленту для каждой ноги или массажное сиденье.

Объединение в каждом модуле трех пневматических камер позволит создавать бегущие волны любого направления, что желательно с физиологической точки зрения.

Каждая пневматическая камера должна быть двойной – одна часть обеспечивает равномерность давления всего массажера, а вторая (массажная) пульсирует, выполняя массажное действие. При этом первые части подключаются параллельно к компрессору после фиксации массажера (например, закрепления ленты на ноге с помощью застежки-молнии или ремешков). После достижения комфортного общего давления сжатый воздух от компрессора поочередно поступает на три группы массажных камер, обеспечивая направленное волнообразное воздействие в выбранном направлении.

Основу конструкции составляет пневмораспределитель – устройство, подающее воздух в нужное время в нужные пневмкаммеры, о которых было сказано выше. Предварительное наполнение воздухом общей камеры целесообразно осуществлять вручную – от кранов подачи воздуха и его выпуска. Эта схема, ввиду примитивности, в пояснениях не нуждается.

Пневмораспределители, которые выпускает отечественная и мировая промышленность, подразделяются на несколько видов, в зависимости от количества фиксированных положений, принципу работы, числу подводящих и отводящих магистралей и типу управления.

По числу фиксированных положений пневмораспределители могут быть двухпозиционными и трехпозиционными. Двухпозиционные фиксируются в выключенном и включенном состояниях, а трехпозиционные имеют еще среднее – нейтральное состояние. В нашем случае оно не имеет значения.

По принципу работы пневмораспределители бывают клапанными и золотниковыми [25,26]. В клапанных для закрытия отверстия применяется воздействие на него в прямом направлении – то есть «затыкание», а в золотниковых для этого применяется перемещение золотника в поперечном направлении, как это показано на рисунке 37.

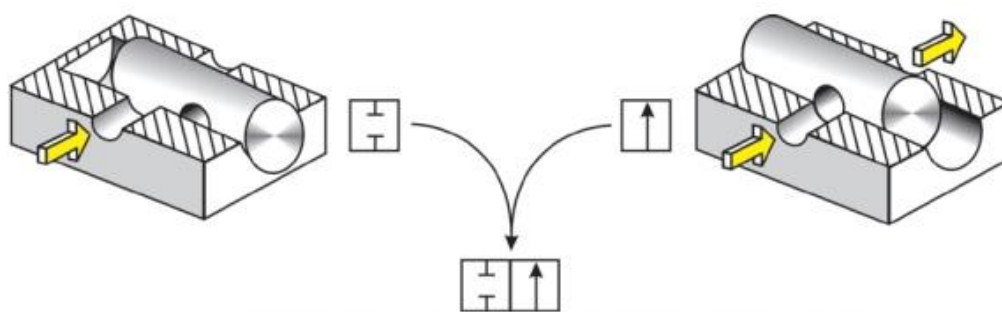


Рисунок 37 – Устройство золотникового пневмораспределителя

Второй подход представляется более предпочтительным, поскольку он менее энергозатратен, а его недостаток – низкое быстродействие – в нашем случае не имеет практического значения.

Для выполнения массажа требуется управлять тремя группами пневматических камер. Максимальное количество каналов ввода-вывода в существующих пневмораспределителях не превышает 5, из которых одна предназначена для подачи воздуха, две для его раздачи и два – для «выхлопа». Таки образом, готового пневмораспределителя на три канала не существует. По этой причине используем три отдельных пневмораспределителя для управления тремя каналами подачи воздуха. Способ управления распределением потоков воздуха в данном случае однозначен – электрический.

Указанным выше требованиям удовлетворяет пневмораспределитель с электропневматическим управлением 334-015-02. Электрпневматический привод, в отличие от электромагнитного, предполагает использование сжатого воздуха на промежуточной ступени управления распределителем. С точки зрения системы управления приводом, это значения не имеет.

Указанный пневмораспределитель имеет золотниковую конструкцию, является моностабильным с пружинным возвратом (то есть не требует дополнительной команды на приведение в исходное состояние). Его предельные характеристики многократно превосходят требуемые. Его внешний вид представлен на рисунке 38.



Рисунок 38 - Пневмораспределитель 334-015-02.

Для управления им используется соленоид [25]. Производитель рекомендует версию А77, показанную на рисунке 39.



Рисунок 39 - Внешний вид соленоида А77

Соленоид выпускается различных модификаций. Для использования в инвалидной коляске подходит 24-вольтовый вариант со следующими характеристиками.

- Напряжение постоянное 24 В;
- Мощность 3,1 Вт;
- Габариты 27,5x22x29,5 мм;
- Класс защиты IP65;
- Температура -55...+80 °С.

Требования к системе управления соленоидами пневмораспределителя зависят от коммутируемого тока, который можно определить из известной мощности и рабочего напряжения

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3,1}{24} = 0,13\text{А.}$$

Для коммутации такого тока существует огромное количество подходящих ключевых элементов. Поскольку быстродействие в данном случае вообще не требуется, целесообразно в качестве ключевого элемента использовать любой доступный транзистор, например, КТ-972А, способный коммутировать ток до 4 А с радиатором и до 1 А без радиатора.

Схема управления, создающая «бегущую волну» из пневмокамер, может быть построена на основе 3-позиционного счетчика импульсов.

Схемотехника подобных устройств хорошо известна и в комментариях не нуждается.

На трех выходах счетчика-делителя поочередно появляются импульсы напряжения. Фронт каждого последующего совпадает со спадом предыдущего, как это показано на рисунке 40. Эти импульсы с помощью электронных ключей управляют электрическими клапанами камер трех групп.

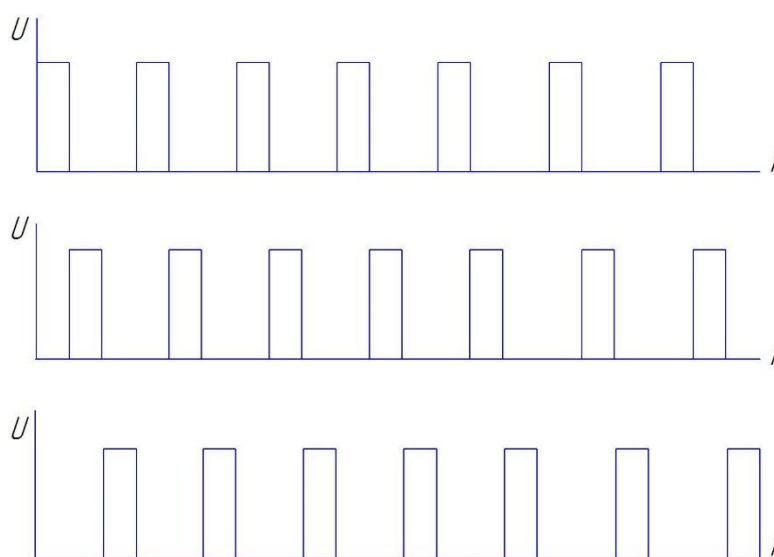


Рисунок 40 – Управляющие импульсы пневмомассажера

Поскольку в один и тот же момент времени включен один канал пневмораспределителя, мощностью 3,1 Вт, а схема управления, выполненная на «часовой серии» микросхем 561, потребляет не более 1% от указанной мощности, это значение следует считать потребляемой мощностью всего массажера.

3.2.2 Разработка вибрационного массажного устройства

Вибрационные массажеры часто являются разновидностью компрессионных, но в нашем случае требуется не ритмическое воздействие на ноги, а их встряхивание. Академик А.А. Микулин, проживший 90 лет и до конца жизни сохранявший ясность ума, на основе научных исследований и

личного опыта предложил методику оздоровления путем ритмичного встряхивания ног. Смысл этой процедуры заключается в продвижении крови, поскольку в норме она продвигается при напряжении мышц, что для инвалидов часто невозможно. Он определил и параметры встряхивания – примерно 1 раз в секунду подъем на высоту 2-3 см и сбрасывание. Если проделывать эту процедуру примерно 5 раз в день по 30 встряхиваний, то кровообращение заметно улучшится. Техническая реализация данного метода не представляется слишком сложной [32]. Платформа, на которой располагаются ступни, через ролик опирается на эксцентрик, как это показано на рисунке 41.

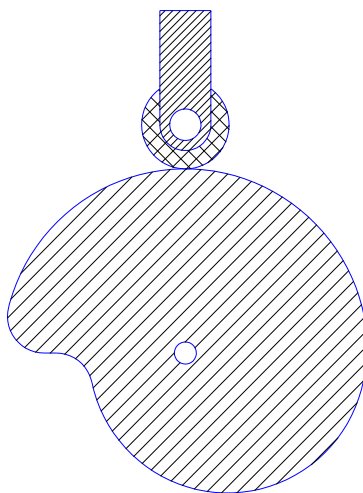


Рисунок 41 - Система обеспечения встряхивания ног

Эксцентрик совершает примерно 1 оборот в секунду, а его размеры обеспечивают поступательное движение опоры на 25 мм.

Ранее упоминалось об эксперименте по анализу распределения веса инвалида, сидящего в коляске. Большая часть – не менее 80% веса приходится на туловище, а на ноги остается не более 20% или 20 кг в предположении веса инвалида 100 кг.

Для подъема 20 кг на высоту 25 мм требуется энергия

$$A = m \cdot g \cdot h = 100 \cdot 9,8 \cdot 0,025 = 24,5 \text{ Дж.}$$

Так как эта энергия расходуется за 1 минуту, то мощность составит

$$P=A/t = 24,5/60= 0,4 \text{ Вт.}$$

Это означает, что для такого приспособления подойдет любой реальный электропривод, способный вращаться со скоростью 1 оборот в секунду, например, IG16GM. Он выпускается в различных версиях, в том числе на напряжение 12 или 24 В с частотой вращения от 2,3 до 2450 об/мин.

Выводы по 3 разделу:

1. Инвалидная коляска должна иметь санитарно-гигиеническое устройство в виде люка в сиденье, оборудованного электроприводом.
2. Для поддержания здоровья инвалида в составе инвалидной коляски должны быть массажеры: пневматический для стационарных условий и вибрационный для любых условий.

4. Перспективы применения разработанного электропривода

4.1. Экономический анализ проекта

Прежде чем рассуждать о перспективах применения универсального электропривода, необходимо в первом приближении оценить его себестоимость.

Самая дешевая механическая коляска в Интернете предлагается за 6110 руб. Так как в разрабатываемой конструкции передние колеса заменяются, их цену (2000 руб. за пару в бюджетном варианте) нужно вычесть из указанной цены. Останется 4110 руб за неизменную часть.

Затраты на остальную часть разрабатываемой конструкции включают приобретение готовых товаров:

1. Передних колес для крепления к фланцам передней оси.
2. Электродвигателя с редуктором для транспортного привода.
3. Электродвигателя с редуктором для привода санитарно-гигиенического устройства.
4. Электродвигателя с редуктором для массажного устройства.
5. Аккумуляторной батареи 36 В, от 10 Ач.

Кроме того, необходимо самостоятельно изготовить:

1. Основание моторного блока с элементами крепежа комплектующих изделий.
2. Рычаг управления с ручкой газа.
3. Поворотное устройство моторного блока с подвижным креплением к раме.
4. Новое сиденье с откидным люком для санитарно-гигиенического устройства.
5. Массажное устройство.
6. Затраты на приобретение готовых комплектующих изделий приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Затраты на закупку готовых комплектующих изделий.

№ п/п	Наименование товара	Цена с НДС, руб
1	Колеса пневматические 300 мм, пара	826
2	Мотор-редуктор SF8156	7000
3	Мотор-редуктор МРП-90	5850
4	Мотор-редуктор IG-16GM	4275
5	АКБ LiitoKala 36 В 12Ан с зарядным устройством	5917
6	Вспомогательные элементы	5000
Всего		23548

Для выполнения механических работ имеется предварительная договоренность с директором ООО «Технопарк». По его оценке их стоимость составит 7000 руб.

Для изготовления электроники планируется привлечь к проекту ООО ПКФ «Фарадей». Их оценка собственного участия в изготовлении блоков управления с их комплектующими -10000 руб. Следовательно, суммарные затраты на производство инвалидной коляски составят 40548 руб. Таким образом, даже с учетом непредвиденных расходов себестоимость производства инвалидной коляски составит не более 50000 рублей.

4.2 Безопасность использования электрифицированной инвалидной коляски

Разработанная конструкция инвалидной коляски отличается от базового варианта – механического прототипа лишь незначительным уменьшением расстояния между передними колесами, поэтому ее эксплуатация в ручном режиме имеет аналогичные показатели безопасности. Более того, увеличенный размер передних колес обеспечивает более равномерное движение по неровной дороге.

Безопасность электропривода обеспечивается низким напряжением электрооборудования и малой скоростью движения – не более 6 км/ч. Таким образом, предлагаемая конструкция инвалидной коляски не является травмоопасной для ее пользователей.

4.3 Перспективы применения разработанных электроприводов

Разработанный транспортный электропривод может быть использован в целом ряде устройств. В частности, он уже успешно используется в составе ручной тачки для перевозки грузов. Это позволяет с легкостью перемещать по строительной площадке мешки с цементом, блоки, кирпичи и т.п.

Для пополнения парка средств пожаротушения может найти применение миниатюрная пожарная машина – емкость с водой и насосом, оборудованная электроприводом. Смысл такого предложения заключается в том, что обычная пожарная машина может проехать не везде, а менее габаритный аналог будет иметь больше возможностей для пожаротушения. В настоящее время для таких целей применяются ранцевые емкости с ручными насосами, что малоэффективно и тяжело для пожарных.

В больницах привычные каталки для перемещения пациентов можно электрифицировать и дополнить, например, электрическим подъемником и санитарно-гигиеническим устройством.

Выводы по 4 разделу:

1. Инвалидная коляска с предлагаемыми электроприводами является безопасной и дешевой, при этом обладает рядом преимуществ перед аналогами.
2. Разработанные электроприводы могут найти весьма широкое применение на различных транспортных средствах, а также стать основой для разработки новых образцов вспомогательных технических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе на основе изучения практики использования большого количества маломощных электрифицированных транспортных средств различного назначения были разработаны три собственных конструкции электроприводов, способные заметно облегчить жизнь отдельным категориям людей. Основное применение данных электроприводов – инвалидные коляски, но они также могут использоваться во многих других областях. В частности, набирающие популярность в нашей стране электрифицированные велосипеды, скутеры и другие подобные транспортные средства далеки от совершенства. Вполне вероятно, что полученные в работе научные результаты будут способствовать повышению их потребительских качеств.

Исследования носили не столько теоретический, сколько практический характер. В ходе работы были основательно изучены потребности реальных маломобильных граждан в доме ветеранов и учтены их пожелания. В частности, идея разработки санитарно-гигиенического и массажного устройств появилась именно так. Базовые элементы транспортного электропривода были отработаны при проектировании и изготовлении электровелосипеда.

Основными задачами исследований были разработка универсального электропривода для различных маломощных транспортных средств и специализированных вспомогательных электроприводов конкретно для инвалидной коляски. Обе задачи были успешно решены. Разработанный транспортный электропривод является универсальным – он подходит как для многих транспортных средств, так и для конструирования принципиально новых образцов техники. Его важной чертой является оригинальная схема электропитания повышенным напряжением со стабилизацией тока. Это позволило обеспечить высокий крутящий момент при любых режимах эксплуатации. Санитарно-гигиеническое и массажные устройства являются

новаторскими решениями. Их можно использовать не только в инвалидных колясках, но и лечебно-профилактических учреждениях для некоторых категорий больных.

Работа над электроприводами не была началом деятельности автора в этой области и, вероятно, будет иметь продолжение в дальнейшем. В прошлом, совместно с фирмой «Фарадей» был изготовлен и успешно испытан электровелосипед. В будущем есть совместные планы с рядом заинтересованных организаций по производству инвалидных колясок.

Хочется верить, что полученные в ходе работы над магистерской диссертацией научные результаты принесут пользу людям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аккумуляторные батареи. Виды аккумуляторов [Электронный ресурс]. URL: <https://h4e.ru/obshchie-svedeniya/111-akkumulatorniye-batarei-vidi-akkumulatorov> (дата обращения 12.11.2018).
2. Анисимова М. С. Электрические машины. Машины постоянного тока: учебное пособие. М. : Издательский Дом МИСиС, 2017. 27 с.
3. Аносов В.Н., Кавешников В.М. Повышение эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств. Новосибирск: НГТУ, 2014. 220 с.
4. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. М. : Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.
5. Гончаров А.В. Электропривод для велосипеда: патент на полезную модель № 140485 - 2013г.
6. Гончаров А.В. Электровелосипед: патент на полезную модель № 140141, 2013.
7. Ерусланова Р.И. Технологии социального обслуживания лиц пожилого возраста и инвалидов на дому. 5-е изд. М.:Дашков и К, 2017. 168 с.
8. Импульсное управление исполнительным двигателем постоянного тока [Электронный ресурс]. URL: <http://www.toehelp.ru/theory/electromach/lecture20.html> (дата обращения 15.11.2018).
9. Импульсные преобразователи постоянного напряжения [Электронный ресурс]. URL: <https://studfiles.net/preview/6440322/page:23/> (дата обращения 12.09.18)
10. Инвалидные коляски с электроприводом [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ottobock.ru/mobility/mobility-for-adults/solution-overview/power-wheelchairs/> (дата обращения 15.11.2018).
11. Кувшинов А. А., Греков Э.Л. Теория электропривода. Часть 3 : учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 114 с.

12. Массажное кресло [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lavkazdorovya.ru/category/massazhery/pnevnomassazhery/> (дата обращения 15.11.2018).
13. Мещеряков В. Н., Языкова Л.Н. Энергосбережение в электроэнергетике и электроприводе: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Энергосберегающие технологии» для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Липецк : Липецкий государственный технический университет 2017. 28 с.
14. Мотор-редукторы [Электронный ресурс]. URL <https://electroprivod.ru/gearmotor.htm> (дата обращения 30.04. 18).
15. Облегченные и активные коляски с ручным приводом [Электронный ресурс] URL <https://www.ottobock.ru/mobility/mobility-for-adults/solutionm-overview/manual-wheelchairs/> (дата обращения 15.11.2018).
16. Овсянников Е.М. Фомин А.П. Тяговые электрические системы автотранспортных средств: учебник. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2019. 303 с.
17. Платов В.И., Гончаров А.В. Электровелосипед // Научно-издательский центр «Априори». Сборник статей, Краснодар, 2014. с.9
18. Платов В.И., Гапченко Ю.А., Гончаров А.В. Электропривод для велосипеда // Научно-издательский центр «Априори». Сборник статей. Краснодар,2014. С.4.
19. РФ Росстандарт. ГОСТ Р 50602-93. Кресла-коляски. Максимальные габаритные размеры: утв. Постановлением Госстандарта России от 10.11.93 N 230. URL <http://vsegost.com/Catalog/98/9897.shtml>. (дата обращения 13.02.18).
20. РФ Росстандарт. ГОСТ 1284.1-89 - Ремни приводные клиновые нормальных сечений. Основные размеры и методы контроля: утв. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению

- качеством продукции и стандартам от 25.12.89 N 4109. URL: <https://www.kirelis.ru/gosty/1284.1-89/> (дата обращения 13.02.18).
21. Санитарные приспособления [Электронный ресурс]. URL https://au-med.ru/sanitarnye_prisposobleniya/ (дата обращения 12.06.18).
22. Санитарные приспособления для инвалидов [Электронный ресурс]. URL: https://yavitrina.ru/sanitarnye-prisposoblenija-dlja-invalidov?utm_campaign=1739253012&gclid=Cj0KCQjwitPnBRCQARIsAA5n84mEN4WHpV4pG6fzVbIHu5IwJf8HoiJKPtKl45TSzRFR-SbH2EB6XNQaArCdEALw_wcB (дата обращения 12.06.18).
23. Социальная работа: учебное пособие. Под ред. д. п. н., проф. Н. Ф. Басова. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013. 364 с.
24. Способы управления электродвигателями [Электронный ресурс]. URL: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/techniques/> (дата обращения 22.01.2019).
25. Схема блока управления электромагнитным клапаном [Электронный ресурс]. URL: <https://tehnoobzor.com/schemes/automatics/875-shema-bloka-upravleniya-elektromagnitnym-klapanom.html> (дата обращения 15.01.2019).
26. Тихонов, А. Ф., Батуев В.Н., Дроздов А.Н. Электропривод строительного механизированного инструмента: учебное пособие. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, 2017. 244 с.
27. Электродвигатели малой мощности [Электронный ресурс]. URL: <https://konstruktor.net/podrobnее-elekt/ehlektrodvigateli-maloj-moschnosti-948.html> (дата обращения 15.01.2019).
28. Электропривод двигателя постоянного тока [Электронный ресурс]. URL: http://www.zvezda-el.ru/shop/elprivod_postoynnogo_toka/ (дата обращения 15.01.2019).

29. Электроскутеры для инвалидов и пожилых людей [Электронный ресурс]. URL: https://allorto.ru/category/skutery-dlja-invalidov/?gclid=cj0kccqjwitpnbrqcqarisaa5n84m8yufpntnssez1c0vw0qhvuyzyt1h0rt-my3-sb-qtteelqm1815saailwealw_wcb (дата обращения 15.01.2019).
30. Энциклопедия социальных практик / Под редакцией Е. И. Холостовой, Г. И. Климантовой. 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013. 660 с.
31. Best Sellers in Electric Wheelchairs [Электронный ресурс]. URL: <https://www.amazon.com/Best-Sellers-Health-Personal-Care-Electric-Wheelchairs/zgbs/hpc/3777061> (дата обращения 15.10.2018).
32. Good vibrations: Do electrical therapeutic massagers work? [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enRU768RU768&ei=IsH0XLmCLsuyrgTt3ZXwBA&q=Good+vibrations%3A+do+electrical+therapeutic+massagers+work%3F&oq=Good+vibrations%3A+do+electrical+therapeutic+massagers+work%3F&gs_l=psy-ab.3...3241.6416..7951...1.0..0.165.165.0j1.....0....1j2..gws-wiz.....6..35i39.sc4Ca3ik7xk (дата обращения 15.01.2019).
33. Disabled Carriages [Электронный ресурс]. URL: <https://hartlandcarriages.co.uk/disabled-carriages/> (дата обращения 15.01.2018).
34. Electric Air Compression Leg Massager Leg Wraps Foot Ankles Calf Massage Machine Promote Blood... [Электронный ресурс]. URL: <https://www.amazon.com/Electric-Compression-Massager-Massage-Circulation/dp/B07H34KYX1> (дата обращения 10.12.2018).
35. Mobility mayhem: The 300,000 invalid carriages on Britain's roads and pavements [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/health/article-1313337/Mobility-mayhem-The-300-000-invalid-carriages-Britains-roads-pavements.html> (дата обращения 17.03.2018).

36. Mobility scooters and powered wheelchairs: the rules [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/mobility-scooters-and-powered-wheelchairs-rules> (дата обращения 15.01.18).
37. Single Upper and Lower Limb Pneumatic Massager, Kneading Electric Air Wave Pressure Massage [Электронный ресурс]. URL: <https://www.amazon.ca/Pneumatic-Massager-Kneading-Electric-Pressure/dp/B07H3VT35F> (дата обращения 15.01.2019).