

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Разработка электрифицированного подводного транспортного средства для предприятий МЧС»

Студент

А.С. Федосов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультант

А.В. Кириллова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

В выпускной квалификационной работе определены пути создания электрифицированного транспортного средства для водолазов, которое может найти широкое применение на предприятиях МЧС, в Министерстве Обороны и других ведомствах.

Отличие разработанного транспортного средства от аналогов заключается в применении герметичной трансмиссии на основе редкоземельных магнитов. Кроме того, оптимизирован сам электропривод, выбраны аккумуляторные батареи и другое оборудование.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 49 страниц, 9 таблиц, 21 рисунок, 20 использованных источников, включая 5 иностранных источников и 6 листов графической части формата А1.

Abstract

The subject of graduation work is designing of electrified vehicle for divers, which can be useful for Ministry of Emergency Situations, Ministry of Defence and for other departments.

The difference between the developed vehicle and its analogs is the use of a sealed transmission based on rare earth magnets. In addition, the electric drive itself is optimized. Also batteries and other equipment are selected.

The graduation work consists of explanatory note on 49 pages, introduction, including 21 figures, 9 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Анализ проблемы транспортировки водолазов и определение путей ее решения.....	6
1.1 История водолазного дела в России.....	6
1.2 Ручное оборудование водолазов.....	6
1.3 Ручное оборудование водолазов.....	9
1.3.1 Средства для подводной электросварки.....	9
1.3.2 Средства наблюдения под водой.....	9
1.3.3 Механические подводные инструменты.....	10
1.3.4 Ручные подводные инструменты.....	11
2 Формирование концепции транспортного средства для водолазов..	12
2.1 Существующие подводные транспортные средства.....	12
2.2 Недостатки существующего оборудования.....	14
2.3 Формирование концепции транспортного средства для водолазов.....	15
3 Технические предложения по разработке транспортного средства для водолазов.....	19
3.1 Выбор электродвигателя.....	19
3.2 Подбор гребного винта.....	28
3.3 Оценка соответствия выбранного электродвигателя и гребного винта.....	29
3.4 Герметичная трансмиссия.....	32
3.5 Выбор аккумуляторной батареи для транспортного средства.....	35
Заключение.....	47
Список используемой литературы и источников.....	48

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время задачи, решаемые водолазами, существенно расширились и усложнились. Им требуется большой запас воздуха, а также множество дополнительного оборудования. Однако объем навесного оборудования для водолаза ограничен рядом труднопреодолимых препятствий. Поэтому выходом из данной ситуации может быть создание специального транспортного средства, которое будет нести вышеуказанные предметы.

Разработка подобных подводных транспортеров проводилась в разное время в разных странах, но известные аналоги не соответствуют современным требованиям. Одним из наиболее сложных задач в создании надежного подводного транспортера является обеспечение герметичности электрооборудования. С этой целью предложен необычный вариант – создание герметичной трансмиссии на основе редкоземельных магнитов.

В настоящей работе сформулирована концепция современного транспортного средства для водолазов и обоснованы пути ее реализации.

1 Анализ проблемы транспортировки водолазов и определение путей её решения

1.1 Основные задачи водолазов

Водолазная служба МЧС России образована с целью проведения водолазных аварийно-спасательных и других неотложных работ под водой.

Основными задачами водолазов МЧС являются:

- спасение людей, терпящих бедствие;
- оказание помощи в проведении эвакуации населения и материальных ценностей из зон затопления, оказание первой доврачебной помощи пострадавшим;
- проведение разведки в зоне чрезвычайной ситуации под водой, прогнозирование развития и последствий чрезвычайных ситуаций;
- проведение работ под водой при ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- участие в организации и реализации мероприятий по обеспечению готовности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям к аварийно-спасательным работам под водой;
- участие в проведении подводно-технических, специальных и судоподъемных водолазных работ, обследовании акваторий пляжей и подводной части гидротехнических сооружений;
- содержание в постоянной готовности водолазных технических средств, снаряжения и инструмента.

Ежегодно водолазы службы сдают технические экзамены и подтверждают пригодность работы под водой. Три спасателя-водолаза имеют дополнительную квалификацию по медицинскому обеспечению водолазных спусков.

1.2 История водолазного дела в России

Профессия водолаз во все времена считалась одной из самых опасных и захватывающих, и связано это не только с тем, что водолазам приходится погружаться на немыслимую для обычного человека глубину, но и с тем, что

им приходится на этой глубине совершать – спасать людей, подымать корабли, заниматься поиском ценных грузов, ремонтом и другими сложными вещами.

История появления первых водолазов в России относится к середине XIX века, именно в это время встречаются упоминания о людях, занимающихся подводными работами профессионально, а также о том, что люди эти не просто любители, а профессионалы своего дела.

Главной проблемой конца века было отсутствие автономии водолазного костюма, для того, чтобы водолаз мог спуститься под воду, ему было необходимо, чтобы второй водолаз страховал его с поверхности, внимательно следя за тем, чтобы шланг, через который поступал и выходил воздух не скручивался и не растягивался. Тренировочное погружение в водолажном костюме можно увидеть на рисунке 1. [1]



Рисунок 1 - Тренировочное погружение в водолажном костюме

Время нахождения под водой, также как и площадь по которой мог двигаться человек, были ограничены, но водолазов это не останавливало, тем более, что уже в 1873 году морской офицер А.Хотинский спроектировал

водолазный аппарат способный работать автономно, без соединения с поверхностью. В 1875 году этот аппарат усовершенствовали и стали применять для военных целей, возникла необходимость не просто в водолазах, а в военных специалистах в этой области.

С развитием подводного мореплавания и появлением первых подводных лодок водолазы стали бессменными членами экипажей многих из них, а водолазные костюмы, рассчитанные на каждого члена команды стали неотъемлемой частью каждой подводной лодки. Участники организации «ЭПРОН» изображены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Участники организации «ЭПРОН»

Водолазы ЭПРОНа были единственными в мире, которые уже к началу 30-х годов прошлого столетия могли погружаться на максимальную для того времени глубину, ища пропавшие грузы, людей, ценности. Деятельность ЭПРОНа была по тому времени беспрецедентной и неоценимой.

Водолазное дело в нашей стране никогда не стояло на месте, уже в середине 50-х годов, благодаря изобретению усовершенствованного акваланга и водолазного костюма водолазы получили возможность погружаться не менее чем на 200 метров под воду при этом не испытывая чувства дискомфорта. [21]

К 1990-м годам водолазы научились погружаться на глубины свыше 500 метров, с увеличением времени пребывания там до 10 суток. В настоящее время и эти цифры не являются пределом. [5]

1.3 Ручное оборудование водолазов

Разрабатываемое транспортное средство должно перемещать не только водолаза, но и разнообразное оборудование, примеры которого приведены ниже

1.3.1 Средства для подводной электросварки

Для электросварки и резки стали под водой применяются специальные электрододержатели и электроды.

Электрододержатель ЭПС-2 используется для подводной сварки и резки стали под водой металлическим стержневым электродом длиной 350—400 мм, диаметром 4—6 мм со специальной обмазкой толщиной 0,5—1,3 мм.

Особенностью конструкции держателя является повышенная изоляция всех его токоведущих частей. Сварка и резка стали под водой протекает в парогазовом пузыре, возникающем от высокой температуры при горении электрической дуги и оттесняющем воду от места сварки или резки (выплавления) стали. [6]

1.3.2 Средства наблюдения под водой

Для наблюдения за ходом подводных работ, визуального поиска и обследования подводных объектов, наведения водолазного колокола к месту работ, а также подводной фотосъемки используются специальные камеры.

Камера оборудована телефоном, устройствами отдачи балласта и освобождения от подъемного троса и кабеля для аварийного всплытия. Наблюдатель размещается в камере на вращающемся седле. Для контроля за глубиной погружения в камере установлен манометрический глубиномер.

Камера НК-300 имеет систему регенерации конвекционного типа, которая состоит из трех регенеративных коробок общей вместимостью 2,3 кг регенеративного вещества. Продолжительность действия системы 6 ч.

1.3.3 Механические подводные инструменты

Для повышения производительности водолазного труда при выполнении различных работ под водой применяются специальные инструменты, для привода которых используется энергия сжатого воздуха или взрывчатых веществ. Сжатый воздух, необходимый для работы пневматического инструмента, подается по шлангу от компрессора или из баллонов. Выхлоп отработанного воздуха происходит в воду или через специальные шланги отводится на поверхность. Управление механическим инструментом осуществляется водолазом вручную под водой.

Пневматические сверлильные машины предназначены для сверления отверстий в металле (поршневые СМ-22Э и СМ-32Э, ротационные РС-22 и РС-32) и в дереве (поршневая СМРД-32Э).

Пневматические бурильные молотки относятся к ударно-вращательным инструментам и предназначены для бурения шпуров в породах средней твердости при взрывных работах под водой. Разрушение породы осуществляется буром, вращающимся вокруг своей оси под действием поршня-ударника и специального поворотного механизма. Каждый бурильный молоток комплектуется набором буров.

Пневматические клепально-рубильные молотки используются для клепки и срубки заклепок, обрубки кромок и прорубки металлических листов.

Пневматическая пила ППП предназначена для спиливания под водой свай и шпунтового ряда, перепиливания различных деревянных конструкций. Пила состоит из пневматического двигателя ротационного типа от сверлильной машины РС-32, обода, направляющего диска и режущей цепи. [20]

1.3.4 Ручные подводные инструменты

Кроме обычного ручного инструмента, применяемого на поверхности (кувалды, ключи, ножовки и т. п.), при выполнении работ под водой используются специальные ручные инструменты для перерезания стальных и пеньковых тросов и для завинчивания и отдачи болтовых соединений и др.

Водолазные ножницы ВНРТ — режущий инструмент рычажного типа. Предназначены для перерезания под водой стального троса или отдельных его прядей диаметром до 12 мм и проволоки диаметром до 10 мм.

Водолазный ключ-трещотка ВКТ предназначен для завинчивания и отдачи гаек болтовых соединений без перекладки ключа во время работы. [15]

2 Определение путей разработки транспортного средства для водолазов

2.1 Обзор существующих подводных транспортных средств

Существуют множество вариаций электрифицированных подводных транспортных средств для выполнения военных или спасательных задач.

Для формирования концепции транспортного средства рассмотрим некоторые из них. Транспортировщик водолазов можно увидеть на рисунке 3.

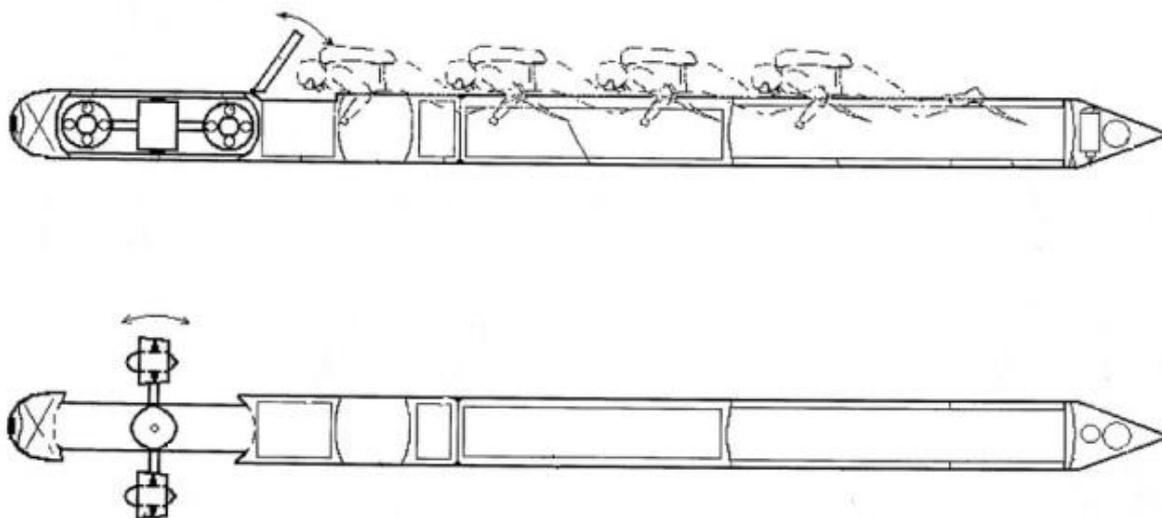


Рисунок 3 – Транспортировщик водолазов

Транспортировщик водолазов имеет торпедообразную форму и включает систему вывески и дифферентовки, движительно-двигательный комплекс в виде двух винторулевых колонок левого и правого бортов, убирающихся в нишу легкого корпуса при повороте вокруг вертикальной оси, приборный отсек с пультом управления, энергетическую аккумуляторную установку и прочный грузовой отсек. Между гидроакустическими антеннами и движительно-двигательным комплексом расположена носовая дифферентно-уравнительная цистерна. Кормовая дифферентно-уравнительная цистерна размещена в кольцевом зазоре между корпусом и грузовым отсеком транспортировщика, что позволяет производить загрузку грузового отсека через заднюю крышку. В

кормовом обтекателе размещены якорящее устройство гарпунного типа и дополнительный баллон с воздухом высокого давления. Улучшаются условия эксплуатации транспортировщика. [3]

Небольшая подлодка называется STIDD DPD и предназначена для скрытной доставки к месту назначения боевых пловцов и бойцов спецназа. Однако новый транспорт может использоваться и для развлекательных и научных целей, обеспечивая безопасность даже людям, которые не умеют плавать. [9] На рисунках 4 и 5 представлена подлодка STIDD DPD.

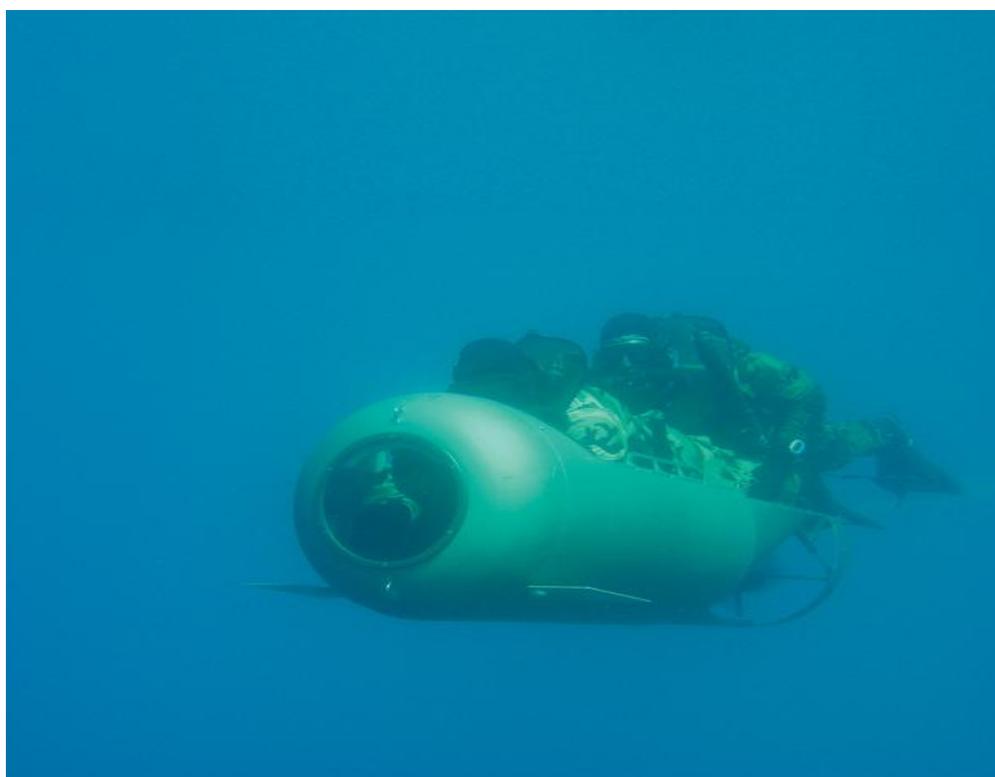


Рисунок 4 - Подлодка STIDD DPD

STIDD DPD использует один (у версии DPD-ХТ два) высокоэффективный 26-В легкий бесщеточный двигатель с канальным винтом. Двигатель питается от двух литий-ионных аккумуляторов, которые обеспечивают двухчасовой запас хода на скорости 3 узла (5,5 км/ч). Транспортное средство сделано из алюминиевого сплава, весит 72 кг и может легко нести двух водолазов с грузом до 45 кг. Данный подводный транспорт

используется силами специальных операций США уже несколько лет и отлично себя зарекомендовал.



Рисунок 5 - Подлодка STIDD DPD

Транспортное средство сделано из алюминиевого сплава, весит 72 кг и может легко нести двух водолазов с грузом до 45 кг. Новая версия STIDD DPD-ХТ с двумя двигателями на 33% быстрее, меньше шумит и может буксировать 3-4 водолазов со снаряжением. Глубина погружения аппарата весьма большая – до 80 метров. Обе версии STIDD оснащены сложной электронной системой навигации (RNAV) с сонаром, доплеровским измерителем скорости, приемником GPS. [8]

2.2 Недостатки существующего оборудования

Помимо всего вышеперечисленного ручного оборудования, конечно же, существуют средства, которые помогают находиться человеку под водой некоторое количество времени – акваланги.

На потребление газа влияют два фактора:

- частота дыхания подводника: в обычных условиях человек потребляет от 10 до 25 литров в минуту, во время же какой – либо напряжённой работы или стрессовых ситуациях это значение может достигать 100 литров в минуту.

- окружающее давление: давление на поверхности составляет 1 бар (1 атмосферу), но при спуске на каждые 10 метров глубины окружающее давление

увеличивается на 1 бар. Получается, что на поверхности потребление воздуха значительно ниже, чем если аквалангист находится на какой – либо глубине.

Также на частоту дыхания могут влиять различные факторы, такие как метаболизм, физическая нагрузка и психологическое состояние человека. [7]

Из всего выше перечисленного можно выявить две очень серьёзные проблемы:

- в первую очередь это, конечно же, недостаток воздуха в баллонах акваланга – трехлитрового баллона хватает в среднем на 11 минут, восемнадцатилитровые баллоны же очень тяжёлые. [2]

- во вторую очередь это недостаток места для ручных инструментов.

Можно взять с собой ножик или ещё какой-нибудь инструмент, который не занимает много места, а для крупногабаритных инструментов места недостаточно.

Тем самым можно предположить, что покончить с этими проблемами можно использованием электрифицированного подводного транспортного средства. Его нужно спроектировать так, чтобы в нём было место для всех нужных инструментов, чтобы были средства для подачи воздуха водолазу, например, дополнительные баллоны; мощные двигатели и аккумуляторы; герметичная трансмиссия.

2.3 Формирование концепции транспортного средства для водолазов

Для решения различных задач с использованием водолазов в МЧС, МО и других ведомствах применяется комплекс средств, повышающих эффективность таких работ. Однако, между легким и глубинным водолазным снаряжением есть свободная ниша, которую мы и попытаемся заполнить.

Идея состоит в расширении возможностей водолаза в легком снаряжении за счет использования специального транспортного средства, которое позволит иметь большой запас воздуха и значительный ассортимент необходимого оборудования. Прототип такого транспортного средства показан в комедии «Бриллиантовая рука». Он имел вид торпеды с гребным винтом. Очевидно, что

это полезное устройство, но оно не нашло широкого распространения. По нашему мнению, дело в том, что под водой применение электрооборудования достаточно сложно, так как требует соблюдения герметичности. В те времена эта задача была трудной и соответствующие технические решения не обеспечивали высокой надежности. [18]

В настоящее время появились особо мощные магниты на основе сплава неодим-железо-бор. Наша идея состоит в том, чтобы на основе таких магнитов сделать абсолютно герметичную трансмиссию. Таким образом, транспортер для водолазов будет содержать герметичный отсек с электродвигателем, аккумуляторами и блоком управления, в котором будет вращаться диск с секторальными магнитами. Этот диск будет расположен в непосредственной близости от разделительной мембраны из немагнитного материала. С внешней стороны, то есть в воде, будет расположен точно такой же диск с магнитами, закрепленный на валу с гребным винтом. [11] На рисунке 6 схематично изображена конструкция описанного транспортного средства.

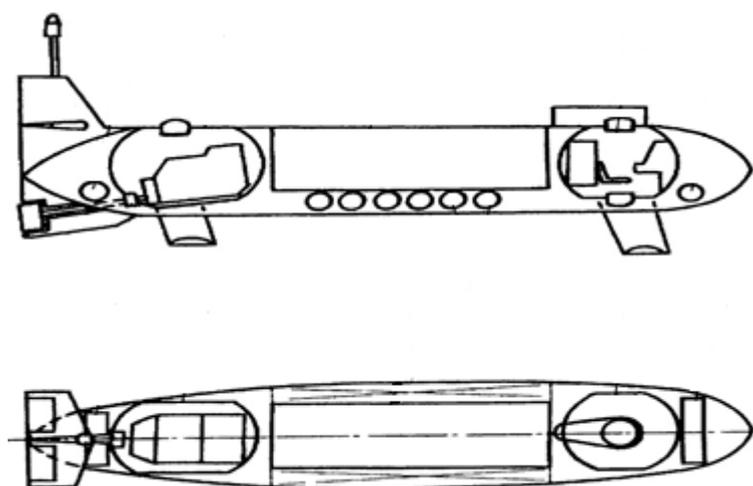


Рисунок 6 - Конструкция транспортного средства для водолазов

Для оценки возможности изготовления описанной герметичной трансмиссии нами был проведен эксперимент по проверке самой концепции.

Так как секторальными магнитами нужной формы мы не располагали, использовалась упрощенная схема. На двух полосах из бумажного скотча были закреплены по 4 магнита размерами 20x40x1,5 мм. Между полосами размещались различные немагнитные материалы - стекло, текстолит и другие. С помощью весов определялась сила, при которой наступало нарушение сцепления полос с магнитами. При различных практически реализуемых вариантах деления магнитов измеряемая сила составляла 35 – 40 Н.

Предположительно, на каждом диске будет размещено по 16 секторальных магнитов. Поиск в интернете привел нас к выводу, что для данной задачи подходят магниты, образующие кольцо внутренним диаметром 30 мм и внешним диаметром 60 мм, с углом 22,5 градуса, толщиной 3,5 мм. [17] Вариант их размещения на диске показан на рисунке 7.

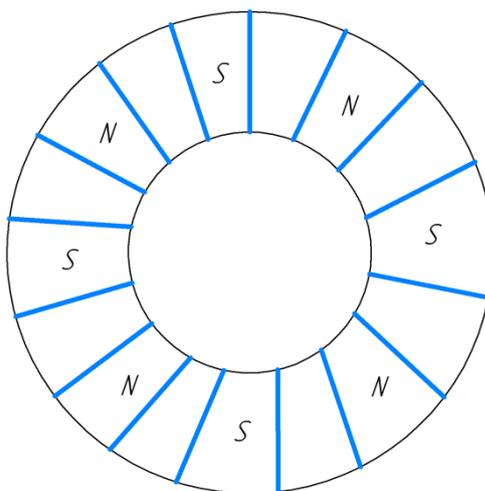


Рисунок 7 - Размещение магнитов на диске

По объему они несколько больше магнитов, использованных нами в эксперименте. В первом приближении они смогут обеспечить силу сцепления не меньше. Так как их будет 16, а не 4, то сила сцепления дисков возрастет в 4 раза. Это позволит вращать гребной винт.

Следует заметить, что многое в данной задаче нуждается в уточнении. Пока вывод носит качественный характер – гребной винт будет вращаться и двигать транспортное средство. Количественные характеристики определить достоверно и с высокой точностью на данном этапе весьма проблематично. В связи с этим, мы планируем провести эксперимент на стенде, который определит тяговые характеристики и позволит правильно выбрать винт, электродвигатель и редуктор.

В заключение – несколько слов об аналогах. Их немного и стоят они очень дорого. В частности, подобное средство для транспортировки морских котиков армии США стоит как автомобиль. Мы считаем возможным изготовить транспортное средство в несколько раз дешевле и с достаточно хорошими характеристиками. [23]

Для изготовления опытного образца, по предварительным оценкам, потребуется от 200 до 300 тысяч рублей.

Итак, рассмотрим электрооборудование, которое будет применено в данном транспортном средстве.

3 Технические предложения по разработке транспортного средства для водолазов

3.1 Выбор электродвигателя

Высокая скорость под водой водолазу, как правило, не нужна. У большинства аналогов разрабатываемого транспортера она не превышает 3 км/ч. Учитывая особенности работы водолазов (необходимость экономии сил и воздуха) минимальная мощность двигателя транспортного средства должна соответствовать мощности мышечной системы человека. Если 1 лошадиная сила соответствует 736 Вт, то человек под водой сможет развить не более 10% от указанной величины. Таким образом, для движения под водой достаточно 100 Вт. Поскольку разрабатываемый транспортер должен будет перемещать некоторое количество полезного груза, целесообразно увеличить это значение в 1,5-2 раза, как минимум, до 250 Вт. Желательно наличие встроенного редуктора.

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. Также 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.

На данном этапе целесообразно применить простой, дешевый и хорошо изученный коллекторный электродвигатель со встроенным редуктором. Такие двигатели выпускаются для различного электротранспорта и широко представлены на рынке. Рассмотрим кратко основные характеристики наиболее подходящих образцов.

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



Рисунок 8 - Внешний вид электродвигателя с редуктором.

Ниже в таблице 1 приведены характеристики коллекторных электродвигателей мощностью от 150 до 600 Вт, а также бесколлекторного двигателя мощностью от 2,4 до 4,8 кВт.

Таблица 1 – Характеристики электродвигателей.

№ п/п	Название	Мощность	Скорость, Об/мин	Крутящий момент	Напряжение питания	Максимальный ток	Тип редуктора	Примечания
1	PTC7152	150	15-800	4,9...265 кгс*см	12	12,5	планетарный	
2	SF7152	150	15...910	8,8...100,0 кгс*см	24	6,3	цилиндрический	
3	SF8156	250	10,0...610	14,9...300,0 кгс*см	24	10,4	цилиндрический	
4	PT1188	600	220	273кгс*см	24	25	планетарный	
5	WG1188	600	34...202	182,7...730,8 кгс*см	24	25	червячный	
7	Brushless Etek 36V	2400	1680				нет	бесколлекторный
		3600	2520					
		4800	3360					

Рассмотрим каждый из электродвигателей более подробно.

Мотор-редуктор PTC7152

- характеристики электродвигателя
- мощность - 150 Вт
- напряжение питания - 12 В
- номинальный ток - 12,5 А
- крутящий момент двигателя (без редуктора) - 1,2 кг*см
- режим работы - продолжительный

Мотор-редуктор серии PTC7152 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и планетарного редуктора. Передаточные числа редукторов 4,5~244. Максимальный крутящий момент - 265,5 кг*см. Мотор-

редукторы РТС7152 могут быть укомплектованы оптическим энкодером или электромагнитным тормозом.

При необходимости для управления скоростью, направлением, а также для задания плавного пуска и торможения можно использовать блок управления двигателями постоянного тока ВМД.

Редуктор планетарный. Ограничение по прочности колес редуктора - 265,5 кг*см. Габаритные и присоединительные размеры РТС7152 представлены на рисунке 9.

Таблица 2 – Характеристики РТС7152

Передаточное отношение редуктора	4,5	6	20	28	39	64	91	127	175	244
Крутящий момент, кг•см	4,9	6,5	21,8	30,5	42,4	69,6	99	138	190	265,5
Скорость холостого хода, об/мин	890	667,3	200,2	143	103	62,6	44	31,5	22,9	16,4
Номинальная скорость, об/мин	801	600,6	180,2	129	92,4	56,3	40	28,4	20,6	14,8
Длина редуктора, мм	39	39,3	54	54	54	68,7	69	68,7	68,7	68,7

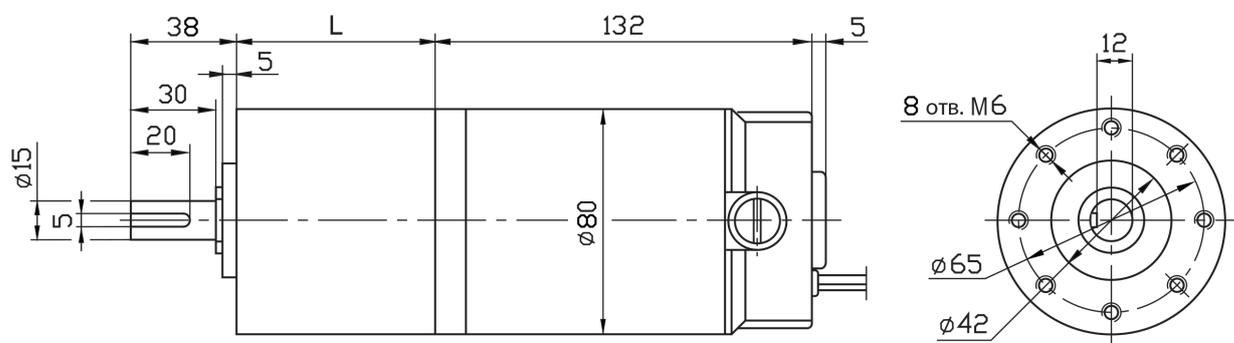


Рисунок 9 – Габаритные и присоединительные размеры РТС7152

Мотор-редуктор SF7152

- характеристики электродвигателя
- мощность - 150Вт
- напряжение питания - 24В
- скорость холостого хода - 3000 Об/мин
- номинальная скорость - 2730 Об/мин
- номинальный ток - 6,3А
- крутящий момент двигателя (без редуктора) - 3,9кг*см
- режим работы - продолжительный

Мотор-редуктор серии SF7152 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и цилиндрического редуктора. Передаточные отношения редукторов 1/3, 1/5, 1/10, 1/12.5, 1/15, 1/20, 1/30, 1/50, 1/75, 1/100, 1/150, 1/180. Максимальный крутящий момент (ограничение прочности редуктора) - 100 кг*см.

При необходимости для управления скоростью, направлением, а также для задания плавного пуска и торможения можно использовать блок управления двигателями постоянного тока BMD. Габаритные и присоединительные размеры SF7152 представлены на рисунке 10.

Источник питания для этого мотор-редуктора - NDR-240-24.

Таблица 3 – Характеристики SF7152

Передаточное отношение редуктора	3	5	10	12,5	15	20	30	50	75	100	150	180
Крутящий момент, кг*см	8,8	14,6	29,3	36,6	43,9	58,5	88	100	100	100	100	100
Скорость, об/мин	910	546	273	218	182	137	91	55	36	27	18	15

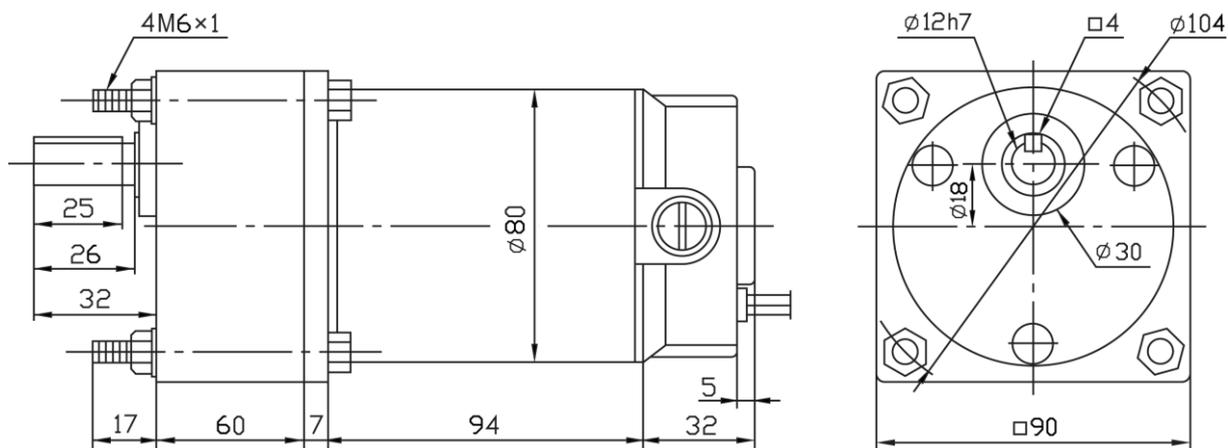


Рисунок 10 - Габаритные и присоединительные размеры SF7152

Мотор-редуктор SF8156

- характеристики электродвигателя
- мощность - 250Вт
- напряжение питания – 24
- скорость холостого хода - 2200 Об/мин
- номинальная скорость - 1830 Об/мин
- номинальный ток -10,4А
- крутящий момент двигателя (без редуктора) - 6,6кг*см
- режим работы - продолжительный

Мотор-редуктор серии SF8156 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и цилиндрического редуктора. Передаточные отношения редукторов 1/3, 1/5, 1/10, 1/15, 1/20, 1/30, 1/50, 1/75, 1/100, 1/150, 1/180. Максимальный крутящий момент (ограничение прочности редуктора) - 300 кг*см.

При необходимости для управления скоростью, направлением, а также для задания плавного пуска и торможения можно использовать блок управления двигателями постоянного тока ВМД. Габаритные и присоединительные размеры SF8156 представлены на рисунке 11.

Таблица 4 – Характеристики SF8156

Передаточное отношение редуктора	3	5	10	12,5	15	20	30	50	75	100	150	180
Крутящий момент, кг*см	15	24,8	49,5	61,9	74,3	99	149	248	300	300	300	300
Скорость, об/мин	610	366	183	146	122	92	61	37	24	18	12	10

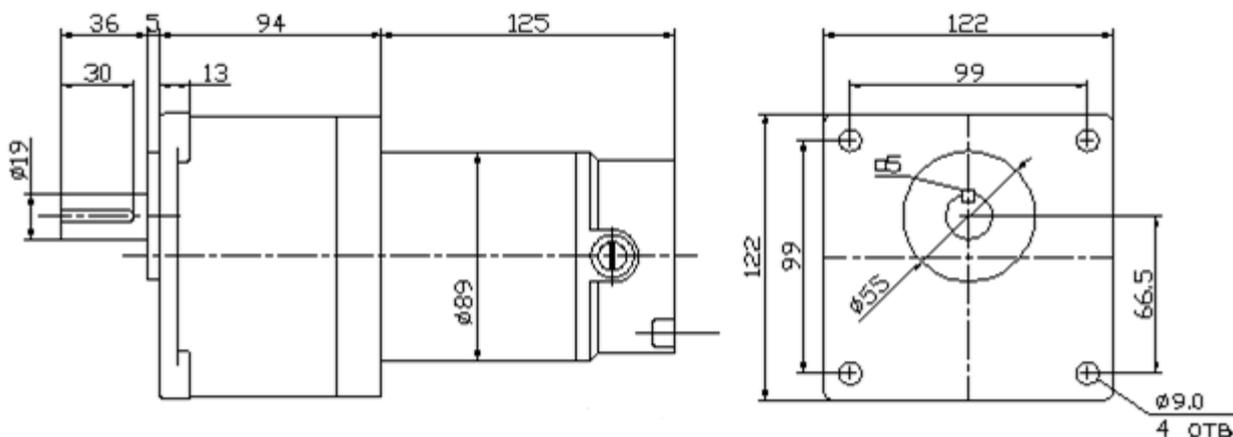


Рисунок 11 - Габаритные и присоединительные размеры SF8156

Мотор-редуктор РТ1188

Характеристики электродвигателя

- мощность - 600 Вт
- напряжение питания - 24 В
- номинальный ток - 25 А
- крутящий момент двигателя (без редуктора) - 15,9 кг*см
- режим работы - продолжительный

Мотор-редуктор серии РТ1188 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и планетарного редуктора. Передаточные числа редукторов ~10. Максимальный крутящий момент - 265,5 кг*см. Мотор-редукторы РТ1188 могут быть укомплектованы оптическим энкодером или электромагнитным тормозом. Редуктор планетарный.

Ограничение по прочности колес редуктора - 265,5 кг*см. Габаритные и присоединительные размеры РТ1188 представлены на рисунке 12.

Таблица 5 – Характеристики РТ1188

Передаточное отношение редуктора	10
Крутящий момент, кг•см	273
Скорость холостого хода, об/мин	270
Номинальная скорость, об/мин	220

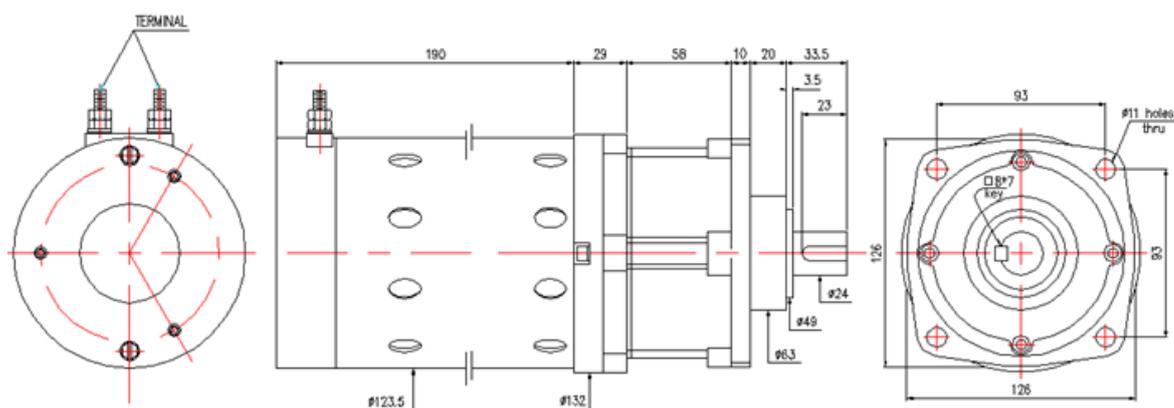


Рисунок 12 – Габаритные и присоединительные размеры РТ1188

Мотор-редуктор WG1188

- характеристики электродвигателя
- мощность - 600Вт
- напряжение питания - 24В
- скорость холостого хода - 2400 Об/мин
- номинальная скорость - 2020 Об/мин
- номинальный ток - 25А
- крутящий момент двигателя (без редуктора) - 20,3кг*см
- режим работы - продолжительный

Мотор-редуктор серии WG1188 состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и червячного редуктора. Передаточные отношения редукторов 1/10, 1/15, 1/20, 1/30, 1/40, 1/50, 1/60. Максимальный крутящий момент - 780 кг*см.

Источник питания для этого мотор-редуктора - SDR-960-24. Габаритные и присоединительные размеры WG1188 представлены на рисунке 13. [25]

Таблица 6 - Характеристики WG1188

Передаточное отношение редуктора	10	15	20	30	40	50	60
Крутящий момент, кг*см	183	268	333	469	552	640	731
Скорость, об/мин	202	135	101	67	51	40	34

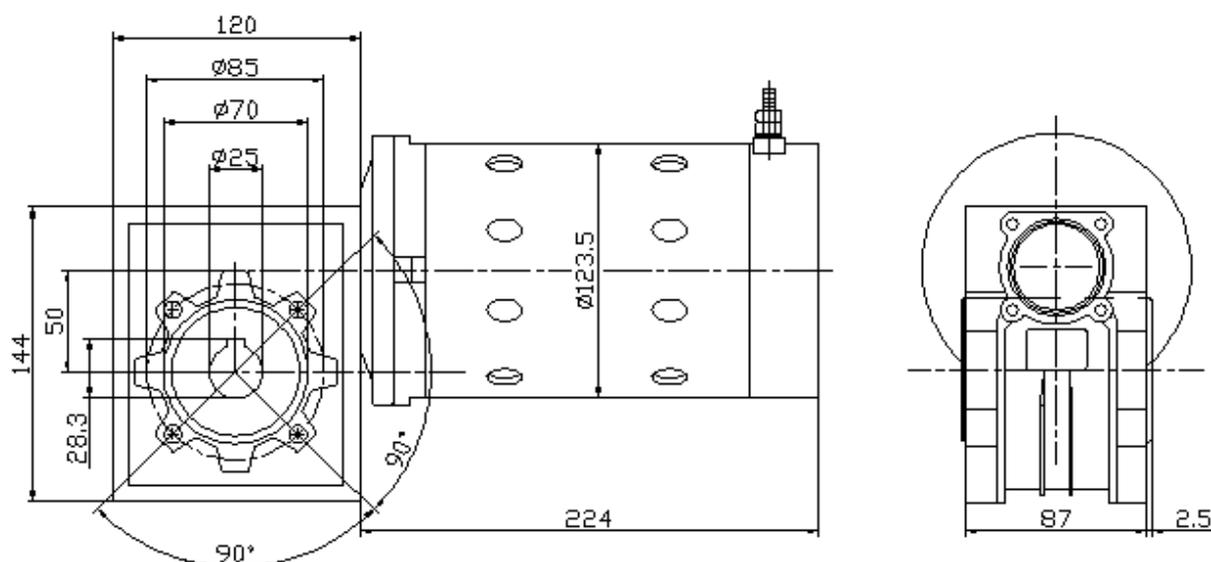


Рисунок 13 - Габаритные и присоединительные размеры WG1188

Электродвигатель Brushless Etek 36V

Электродвигатель Brushless Etek – бесщеточная версия коллекторного мотора Etek, достаточно популярного, в свое время, как двигатель (генератор) для скутеров, моторных лодок, легких электромобилей, картов,

электроподъемников, ветрогенераторов. Преимущества, предоставляемые трехфазным синхронным мотором на постоянных магнитах неоспоримы: точность управления, легкость организации рекуперации (благодаря контроллеру электродвигателя от самого производителя) и главное – отсутствие возни со щетками электромотора, что повышает надежность двигателя. [13]

Контроллер электромотора Etek рассчитан на работу от сети постоянного тока напряжением 24 или 36В (сам мотор выдерживает максимально работу при 48В). Номинальный потребляемый ток 100А, временная нагрузка в течение 1 мин 200А, 300А – в течение 30сек. Эффективность 88%.

Зависимость параметров от напряжения:

- 2.4 КВт @ 24В, 1680 об/мин
- 3.6 КВт @ 36В, 2520 об/мин
- 4.8 КВт @ 48В, 3360 об/мин

Вес 10.2 кг. Диаметр 203мм. Длина 140мм (без учета длины шпинделя). Размеры идентичный коллекторной версии мотора Etek. Электродвигатель Brushless Etek 36V представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Электродвигатель Brushless Etek 36V

3.2 Подбор гребного винта

Редуктор подвесного мотора не имеет переключения передач, то есть передаточное число постоянно. Чтобы максимально эффективно реализовать мощность двигателя, нужно правильно подобрать гребной винт, то есть найти такие параметры, при которых достигается:

- максимальные обороты двигателя в пределах, установленных заводом - изготовителем;

- максимальная скорость либо грузоподъёмность.

Помимо очевидных показателей, оптимальный винт способствует:

- экономии топлива;
- увеличению ресурса мотора;
- снижению шумности двигателя.

Разнообразие марок, моделей и мощностей моторов требует огромного количества гребных винтов. Они различаются по:

- шагу (расстоянию, которое проходит винт за один оборот без учёта скольжения);

- диаметру (окружности, описываемой наиболее удалёнными от центра точками лопастей);

- дисковому отношению (отношению суммарной площади лопастей к площади круга с диаметром, равным диаметру винта);

- количеству лопастей (обычно 3, реже 4 или 2);

- материалу (сталь углеродистая и нержавеющая, алюминиевый сплав, пластик);

- конструкции ступицы (резиновый демпфер, сменная втулка, сменные лопасти);

- диаметру ступицы;

- количеству шлицов втулки.

3.3 Оценка соответствия выбранного электродвигателя и гребного винта

Далее необходимо провести энергетические расчеты с целью выяснения соответствия выбранного двигателя и гребного винта.

Предположительно, для начального этапа, используем готовый винт. Из доступных подходит от мотора «Ветерок» диаметром $D = 210$ мм, шагом $H = 225$ мм.

Выбранный нами мотор с редуктором имеет мощность 350 Вт, скорость 300 об/мин. Возможно использование дополнительного редуктора, но это необходимо обосновать расчетами.

Теоретическая скорость транспортного средства, то есть без учета скольжения, определим по формуле:

$$V_T = H \cdot n, \quad (1)$$

где H – шаг винта, n – скорость вращения вала.

Для $H = 225 \text{ мм} = 0,225 \text{ м}$ и $n = 300 \text{ об/мин} = 5 \text{ об/с}$ получим $V_T = 1,125 \text{ м/с} = 4,05 \text{ км/ч}$.

Теоретическая скорость отличается от практической на величину скольжения, обусловленного натеканием воды на винт при движении транспортного средства:

$$V_{\text{пр}} = V_T \cdot (1 - V_{\text{нат}}), \quad (2)$$

где $V_{\text{нат}}$ – скорость натекания воды на винт, связанная со скольжением S выражением:

$$S = \frac{V_T - V_{\text{пр}}}{V_T} \quad (3)$$

Данную формулу можно записать так:

$$S = \frac{V_T - V_{\text{пр}}}{V_T} = 1 - \frac{V_{\text{пр}}}{V_T}. \quad (4)$$

Отсюда получим формулу для расчета $V_{\text{пр}}$:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{т}} \cdot (1 - S) \quad (5)$$

Скольжение для тихоходных транспортных средств обычно принимают равным 20%. Тогда практическая скорость составит 80% от теоретической:

$$V_{\text{пр}} = 4,05 \cdot 1 - 0,2 = 3,24 \text{ км/ч} \quad (6)$$

Далее необходимо оценить силовые возможности выбранного нами электродвигателя с редуктором. Известна формула, связывающая диаметр винта с его шагом, скоростью вращения вала и мощностью мотора.

$$D = k \cdot \frac{N}{(n \cdot H / 100)^3} \quad (7)$$

где D диаметр винта в метрах, k – безразмерный коэффициент для тихоходных плавательных средств равный 0,2; n – число оборотов в минуту; H шаг винта в метрах; N – мощность мотора в лошадиных силах.

Выведем формулу для мощности N при помощи ряда преобразований:

$$D^2 = k^2 \cdot \frac{N}{n \cdot H / 100^3} \quad (8)$$

$$\frac{D^2}{k^2} = \frac{N}{n \cdot H / 100^3} \quad (9)$$

$$N = \frac{D^2 \cdot (n \cdot H / 100)^3}{k^2} \quad (10)$$

$$N = \frac{0,0441 \cdot 0,31}{0,04} = 0,35 \text{ л/с} = 258 \text{ Вт} \quad (11)$$

Из данного расчёта можно сделать вывод, что двигатель мощностью 350 Вт, скоростью 300 об/мин подходит для подводного транспортного средства.

Таким образом, для движения транспортного средства будет использоваться:

1. Электродвигатель со встроенным редуктором мощностью 350 Вт, напряжением 24 В, скоростью вращения 300 об/мин.
2. Из всех рассмотренных гребных винтов был выбран гребной винт мотора «Ветерок» диаметром 210 мм и шагом 225 мм.

Для определения емкости аккумуляторной батареи необходимо знать время пребывания под водой. Так как эта величина нам неизвестна, выполним расчеты для 1 часа с последующим пересчетом для каждого конкретного случая.

Максимальный ток двигателя определим по формуле (12)

$$I = \frac{P}{U} \quad (12)$$

Для нашего двигателя ток составит:

$$I = \frac{350}{24} = 14,58 \text{ А} \quad (13)$$

Следовательно, для работы подводой в течение часа емкость 24-вольтовой аккумуляторной батареи должна быть не менее 14,58 А·ч. [12]

3.4 Герметичная трансмиссия

Ключевым вопросом надежности транспортного средства для водолазов является обеспечение герметичности отсека, в котором располагается двигатель, аккумулятор и электронная схема. Так как мотор находится в воздушной среде, а гребной винт в воде, имеет место опасность проникновения воды вовнутрь герметичного отсека. Решение этой проблемы с помощью

водонепроницаемых втулок и других подобных средств нельзя считать надежным. В связи с этим наиболее правильным решением представляется применение герметичной трансмиссии на основе редкоземельных магнитов, описанной в разделе 2.

Важным аспектом этой проблемы является сохранение достаточного крутящего момента при передаче его из герметизированного отсека в водную среду с помощью магнитных дисков. В воздушной среде зазор в электрических машинах между статором и ротором не превышает 1 мм. В разрабатываемом транспортном средстве эта величина зависит от ряда факторов: толщины перегородки, ее магнитной проницаемости, водного зазора.

Сила притяжения магнита сильно зависит от расстояния

$$F = \frac{A}{r^4}, \quad (14)$$

где A – сила отрыва магнита, r – расстояние.

Ведущий и ведомый диски будут разделены перегородкой из металла, водой и воздухом. Наилучшими механическими свойствами обладает титан. Таким образом, на ослабление магнитного поля будет оказывать влияние магнитная проницаемость титана, воды и воздуха. В таблице 7 приведены значения относительной диэлектрической проницаемости названных материалов и некоторых других, которые использовались в экспериментальных исследованиях. [10]

Таблица 7 - Относительная магнитная проницаемость материалов

Материал	Относительная магнитная проницаемость
Вакуум	1
Воздух	1,0000037
Вода	0,999992
Алюминий	1,000022
Титан	1,00004
Железо	5000

Из таблицы видно, что интересующие нас материалы по магнитной проницаемости практически не отличаются и, в принципе, взаимозаменяемы. Этот факт потребует при проведении эксперимента.

Эксперимент проводился с целью оценки силы взаимодействия магнитных систем, разделенных перегородкой из немагнитного материала. Выбранные для магнитной трансмиссии секторные магниты имеют следующие характеристики: 20x40x1,5мм.

Для проведения эксперимента были использованы прямоугольные, с близкими характеристиками. Экспериментальная установка представляла собой две линейки с закрепленными на каждой 4 магнитами чередующейся полярности. (рисунок 15)

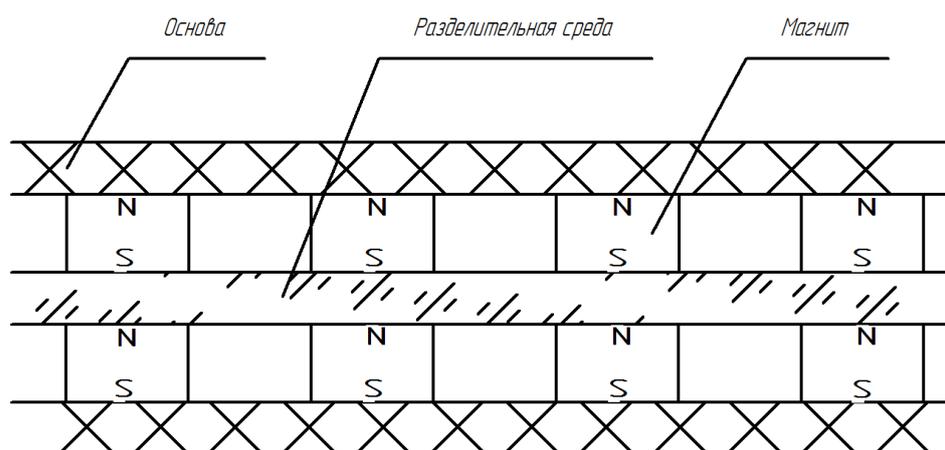


Рисунок 15 – Экспериментальная установка

Между линейками размещалась разделительная среда. С помощью динамометра измерялась сила, при которой нарушалось магнитное сцепление данных линеек. В качестве среды использовалось стекло, бумага, текстолит, алюминий. Результаты измерений представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты измерений

Разделительная среда	Зазор, мм	Сила удержания, Н
Стекло	2	40
	3	32
	4	24
Алюминий	2	39
	3	32
	4	22

Предположительно, в реальном транспортном средстве суммарная толщина разделительных сред может быть в пределах 2 мм. Так как в трансмиссии планируется применить по 16 магнитов на каждом диске, то сила удержания будет в 4 раза больше и составит 160 Н или 16 кгс. [14]

Требуемый момент вращения гребного винта рассчитывается с помощью методик, предполагающих целый ряд допущений и, по мнению многих авторов, для низкооборотных винтов с приемлемой точностью рассчитан быть не может. Поэтому будем исходить из того, что потери в герметичной трансмиссии и связанные с этим потери эффективности двигательной установки могут быть снижены путем применения магнитов большего размера.

3.5 Выбор аккумуляторной батареи для транспортного средства.

Современный рынок аккумуляторов весьма обширен и разнообразен. Прежде всего нужно определиться с типом аккумуляторов. Реально выбор можно осуществлять из трех типов: свинцовых, никель-кадмиевых (никель-железных) и литиевых. Каждый из этих типов имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим их подробнее.

Свинцовые аккумуляторы

Недостаток гальванических элементов – их бесполезность после однократного разряда. От такого недостатка свободны аккумуляторы, которые могут многократно заряжаться и разряжаться. Самый известный из них тип –

свинцовые, применяющиеся на автомобилях. Их также называют кислотными. Главное качество таких аккумуляторов, определившее незаменимость на автомобилях – значительно меньшее, чем у других типов, внутреннее сопротивление. Это связано с применением электрических стартеров, рабочий ток которых нередко превышает 100А. Если источник тока будет иметь большое сопротивление, то при напряжении 12 или 24 В стартер не сможет развить необходимую мощность. Внешний вид популярных автомобильных аккумуляторов приведен на рисунке 16



Рисунок 16 - Популярные автомобильные аккумуляторы

Кроме стартерных кислотных аккумуляторов, широко распространены тяговые, применяющиеся в электротранспорте, в частности, на электропогрузчиках. Также свинцовые аккумуляторы находят применение в блоках бесперебойного питания и многих других устройствах.

Конструкция свинцового аккумулятора поясняется рисунком 17.

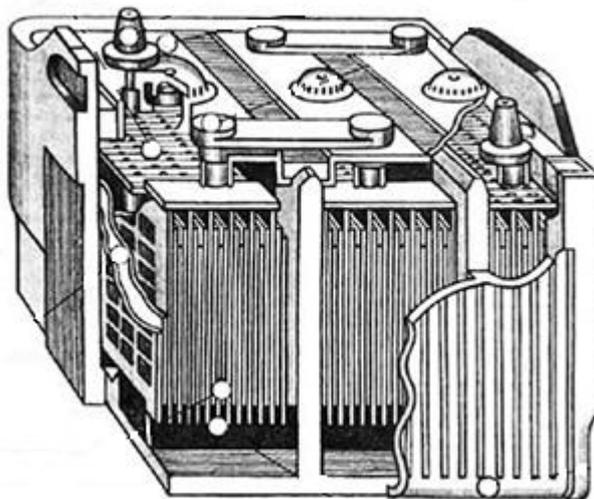


Рисунок 17 - Свинцовая аккумуляторная батарея

В корпусе из диэлектрического материала размещаются положительный и отрицательный электроды, разделенные во избежание замыкания, сепараторами и электролит – водный раствор серной кислоты H_2SO_4 . Концентрация серной кислоты обычно составляет $1,27 \text{ г/см}^3$. Вода используется непременно дистиллированная, так как содержащиеся в водопроводной соли кальция и магния заметно снижают срок службы аккумулятора.

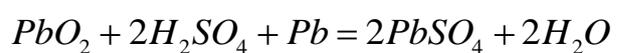
Электроды современных свинцовых аккумуляторов представляют собой решетку из свинца с упрочняющими добавками, которая заполнена активным веществом. Для положительных электродов это двуокись свинца PbO_2 , а для отрицательных – чистый свинец в виде губки, что увеличивает площадь взаимодействия с электролитом.

Необходимость упрочнения электродов обусловлена условиями работы автомобилей, прежде всего, вибрацией. Чистый свинец, будучи мягким, при этом быстро бы разрушился. Для придания ему упругости в качестве упрочняющей добавки раньше применялась сурьма. Однако в процессе работы аккумулятора она вступала в реакцию с водой и уменьшала ее количество. Приходилось постоянно контролировать уровень электролита и, по мере надобности, доливать дистиллированную воду. Для этого на аккумуляторах

имеются специальные винтовые пробки, а сами аккумуляторы называются обслуживаемыми.

Позже появились необслуживаемые аккумуляторы, в которые не нужно доливать воду. Внешне их легко отличить от обслуживаемых по отсутствию пробок. В них вместо сурьмы используется кальций. Также в современных свинцовых аккумуляторах электролит может быть не жидкий, а желеобразный. Их называют гелевыми. На химические процессы это не влияет.

Окислительно-восстановительная реакция в свинцовом аккумуляторе выражается формулой:



В заряженном аккумуляторе плотность электролита максимальная, а электроды чистые. При разряде сера из кислоты начинает соединяться со свинцом электродов и откладываться на них в виде сульфата свинца $PbSO_4$ с образованием воды. Плотность электролита от этого снижается. При заряде происходит обратный процесс – сульфат свинца возвращает серу в кислоту, восстанавливая исходную плотность электролита и чистоту электродов.

Напряжение на одном заряженном аккумуляторе составляет 2В, поэтому для достижения требуемого напряжения их объединяют в аккумуляторные батареи по 6 или 12 штук с общим напряжением 12 и 24 В соответственно.

Необходимо отметить, что понятия «аккумулятор» и «батарея» часто используются неправильно. С литературной точки зрения, батарея – это система из однотипных элементов. Поэтому химический источник тока под капотом автомобиля – не аккумулятор, а аккумуляторная батарея. Это относится и к гальваническим элементам. Нередко можно слышать выражения вроде «пальчиковая батарейка» или что-то подобное. С научной точки зрения, это гальванический элемент. Но общеизвестная «Крона» - уже является батареей, так как 9 В на ее выходе получается при последовательном соединении 6 гальванических элементов.

Учитывая распространенность свинцовых аккумуляторов, во всем мире постоянно ведутся исследования с целью их совершенствования. Для специальных условий эксплуатации выпускаются вибростойкие и циклостойкие аккумуляторные батареи. Известны конструкции для холодных районов с внутренним электроподогревом и многие другие. Есть информация об использовании вместо традиционных электродов в виде решеток материалов из переплетенного углеродного волокна, покрытого слоем свинца. В продаже таких аккумуляторов пока нет, но разработчики обещают начать их выпуск в ближайшее время. Такой конструктивный подход считается весьма перспективным – при значительном уменьшении веса улучшатся электрические характеристики и уменьшится время зарядки.

При эксплуатации и хранении кислотные аккумуляторы требуют к себе внимания. Хотя кислотный электролит замерзает при -55°C , в холодную погоду его сопротивление увеличивается и автомобиль может не завестись. Поэтому желательно перед поездкой морозной зимой снимать аккумуляторную батарею и уносить в теплое помещение. Также данный тип аккумуляторов не переносит глубокого разряда. В результате его происходят необратимые изменения и срок службы значительно снижается.

Хранят свинцовые аккумуляторы только в заряженном состоянии, постоянно контролируя их напряжение. При необходимости производят подзарядку. Периодически для нормализации химических процессов полезно проводить контрольно-тренировочные циклы, то есть разряд и заряд номинальными токами.

Наконец, говоря о свинцовых аккумуляторах, нельзя оставить в стороне токсичность свинца. В настоящее время этот металл стоит достаточно дорого и его охотно принимают на утилизацию. Раньше это было проблемой и из аккумуляторного свинца в лучшем случае выплавляли кустарным способом грузила для рыбалки и некоторые подобные изделия. Чаще же старые аккумуляторы просто выбрасывали на свалку, загрязняя окружающий мир. [4]

Щелочные аккумуляторы

Щелочные аккумуляторы, как и кислотные, имеют в своем составе анод, катод и электролит. Они также объединяются в батареи для получения более высокого напряжения. Материалы для изготовления положительного и отрицательного электродов применяются различные, их мы рассмотрим чуть позже а в качестве электролита используются щелочи – гидроксид калия КОН и гидроксид лития LiOH или их смесь.

Первый щелочной аккумулятор был изобретен шведским ученым Юнгером еще в 1899 году. Его положительный электрод был изготовлен из никеля, а отрицательный – из кадмия. Позже Эдисон доказал, что кадмий можно без ущерба заменить железом. В обеих конструкциях в качестве электролита применялся гидроксид калия с добавкой гидроксида лития. Никель-кадмиевые и никель-железные аккумуляторы продолжают использоваться и в наше время. Их устройство поясняется рисунком 18

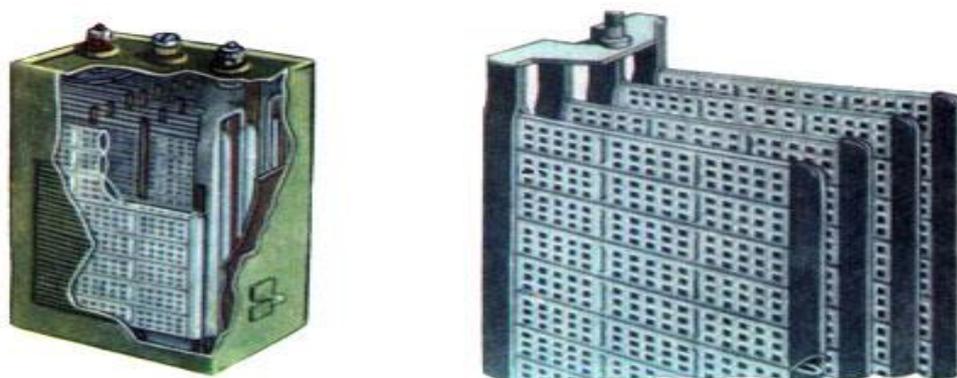


Рисунок 18 - Никель-кадмиевый аккумулятор

Пластины электродов изготовлены из стальных никелированных рамок содержащих ламели из пористой никелированной стали, в которых помещена активная масса. В качестве активной массы анода современного никель-кадмиевого и никель-железного аккумулятора используется гидрат окиси никеля NiOOH. Для увеличения электропроводности и продления срока службы в него добавляется графит и окись бария. В никель-кадмиевом

аккумуляторе катодная масса состоит из порошков кадмия с железом, а в никель-железном – из порошкового железа и оксида железа с небольшим количеством сернистого железа и сернокислого никеля. Электролит стандартный из смеси гидроксидов калия и лития.

Максимальная ЭДС никель-кадмиевых и никель-железных аккумуляторов достигает 1,36 В, однако из-за большего, чем у свинцовых, внутреннего сопротивления считается, что при номинальной нагрузке ЭДС снижается до 1,25 В. Такая величина считается номинальной. Это весьма существенный недостаток, поскольку при объединении в батарею требуется большее количество аккумуляторов. [16]

По энергоемкости аккумуляторы данного типа соизмеримы со свинцовыми, а в качестве стартерных источников питания менее пригодны, так как имеют меньший максимальный разрядный ток вследствие большего внутреннего сопротивления.

Есть у щелочных аккумуляторов и положительные качества. Главное из них – большой срок службы – до 25 лет и более. В целом они менее капризны, чем кислотные, могут без заметного ущерба храниться в разряженном состоянии, заряжаются значительно быстрее. Поскольку ЭДС у щелочного аккумулятора незначительно меньше, чем у гальванического элемента, для многих портативных устройствах выпускаются аккумуляторы с габаритами привычных всем «батареек». Наиболее распространенные из них показаны на рисунке 19



Рисунок 19 - Аккумуляторы с размерами гальванических элементов

В разное время были разработано большое количество других типов щелочных аккумуляторов на основе ртути, хрома, серебра и других элементов таблицы Менделеева. Большинство из них не получили широкого распространения, но некоторые стоит отметить. В частности, хорошими техническими характеристиками обладают цинк-серебряные аккумуляторы. Однако их главный недостаток – высокая цена, обусловленная применением в качестве окислителя оксида серебра. По этой причине они нашли применение лишь в военной и космической сфере.

Интересные результаты получены при использовании водорода в качестве катодного материала. Для реализации окислительно-восстановительной реакции с участием водорода применяют никелевый электрод с платиной в качестве катализатора. Энергоемкость таких аккумуляторов очень высока, но их производство связано с технологическими трудностями. В частности, водород должен находиться под очень большим давлением, что предполагает наличие прочного корпуса. В последнее время для снижения давления стали применять специальные интерметаллические соединения никеля с редкоземельными металлами. Они позволяют удерживать большое количество водорода, которое освобождается в ходе химической реакции. Давление в аккумуляторе такой конструкции около 5 атмосфер, что достаточно безопасно.

Другим достижением можно считать изобретение твердых электролитов на основе керамики. В качестве примера можно привести серно-натриевую систему, работающую при температуре почти 300°C. В ней активные массы серы и натрия находятся в расплавленном состоянии. Несмотря на сложность, такой аккумулятор считается перспективным из-за превосходящей возможности аналогов удельной энергии. Есть мнение, что он может успешно применяться в электромобилях. [22]

Литиевые аккумуляторы

В 60-е годы прошлого века началась эпоха микросхем в электронике, а уже в 70-е, тенденция миниатюризации технических устройств стала всеобъемлющей, затронув и сферу источников питания. В результате появились компактные аккумуляторы с литиевым анодом, заметно превосходящие по эксплуатационным показателям все аналоги. Сейчас они используются в сотовых телефонах, компьютерах, а также в военной сфере, например, в качестве источников энергии беспилотных летательных аппаратов. На сегодняшний день это самые энергоэффективные аккумуляторы. Промышленность выпускает их в самых разных вариантах. [19] Некоторые из них представлены на рисунке 20



Рисунок 20 - Литиевые аккумуляторы

Электроды литиевого аккумулятора выполнены в виде фольги – алюминиевой для анода и медной для катода. На слоях фольги закреплен анодный и катодный материал, а между ними размещен пропитанный электролитом сепаратор. Литий в чистом виде входил в состав первых аккумуляторов, однако он оказался пожароопасен и даже мог привести к взрыву аккумулятора. Рисунок 21 иллюстрирует последствия такого происшествия.



Рисунок 21 - Результат возгорания литиевого аккумулятора

По этой причине сейчас вместо него в составе катода применяют различные соединения лития. Различным может быть и материал анода. Основными электрохимическими комбинациями являются литий-кобальтовые и литий-ферро-фосфатные. Именно они применяются в большинстве сотовых телефонов и компьютеров и характеризуются следующими параметрами.

Напряжение единичного элемента находится в пределах от 2,5 до 4,23 В. Номинальной считается величина 3,6 В. Удельная энергоемкость составляет от 110 до 230 Вт/А*ч, что значительно больше, чем у других существующих типов. Число циклов заряда-разряда, при котором сохраняется 80% номинальной емкости составляет 600. Литиевые аккумуляторы отличаются способностью переносить разряд большими токами и достаточно быстрым зарядом – от 15 минут до 1 часа. В принципе, их можно было бы использовать в качестве стартерных, но они не работают при отрицательных температурах. Другим существенным недостатком является специальный режим заряда. Если кислотные или щелочные аккумуляторы можно заряжать в составе целой батареи определенным током в течение заданного времени, то у литиевых все сложнее. У них зарядка батареи идет индивидуально для каждого аккумулятора

и управляется специальным контроллером. Впрочем, эта задача уже считается решенной.

В таблице 9 приведены основные характеристики различных типов аккумуляторов.

Таблица 9 - Основные характеристики аккумуляторов

Параметр	Тип аккумулятора			
	Pb	NiCd	NiMn	Li-ion
Энергоемкость Вт* ч/кг	30-50	45-80	60-120	90-135
Uном, В	2	1,25	1,2	3,3-3,8
Количество циклов	200-300	1000	300-500	1000-2000

Анализ приведенных в таблице 9 сравнительных характеристик аккумуляторов показывает, что для каждого типа можно найти оптимальную область применения. Свинцовые аккумуляторы, благодаря низкому внутреннему сопротивлению, могут кратковременно переносить разрядные токи в сотни ампер и поэтому способны обеспечить нормальную работу стартера. Щелочные аккумуляторы старого типа для этой цели подходят гораздо хуже, зато они имеют низкую цену, большой срок службы и без проблем переносят хранение в разряженном состоянии. Эти качества позволяют применять их в различных сезонных устройствах, например, в качестве бортовых источников питания речных судов, эксплуатирующихся только летом.

Аккумуляторы на основе лития считаются наиболее совершенными, хотя их применение в зимний период без подогрева невозможно. Кроме приведенных в таблице достоинств, они еще имеют очень малый саморазряд, не

требуют при вводе в эксплуатацию проведения контрольно-тренировочных циклов, мало стареют в отсутствие использования. Проводятся исследования по улучшению характеристик аккумуляторов данного типа и в ближайшее время ожидается их существенное удешевление и расширение диапазона рабочих температур. [24]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований разработаны технические предложения по созданию транспортного средства для водолазов. Данное транспортное средство может использоваться в МЧС, МО и других ведомствах. Оно позволит существенно расширить возможности водолазов за счет большего количества оборудования и запаса воздуха.

Отличие разработанного изделия от аналогов состоит в двух моментах:

1. Известные аналоги являются более сложными и дорогими, их практическое применение по этой причине будет сильно ограничено. Предложенный вариант – бюджетный, он не имеет сложных и дорогостоящих изделий, а также ремонтпригоден в обычных условиях.
2. Герметичная трансмиссия на основе редкоземельных магнитов делает разработанный вариант значительно более надежным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. Адмиралтейские верфи - подводному флоту России». СПб.: Гангут, 2003 г.
2. Айдаралиев А.А., Максимов А.Л. Адаптация человека к экстремальным условиям. - Л.: Наука, 2008 г.
3. Апальков Ю.В. Подводные лодки советского флота 1945-1991 гг. Т.1, М.: Моркнига, 2009 г.
4. Болотовский В.И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов. М., Энергоатомиздат, 2008 - 208с.
5. Боровиков, П. А. Иллюстрированная история водолазного дела России / П.А. Боровиков. - М.: Моркнига, 2008. - 152 с.
6. ГОСТ 12.3.003-86. ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности.
7. Защита в кризисных ситуациях / В.А.Пучков, В.А.Васнев, И.А. Винокуров, А.т. Смирнов, В.Я. Степанов, Н.В. Твердохлебов - под общей редакцией Ю.Л. Воробьева – М.: ИПЦ «Святигор», 2006,- 400 с.
8. Морские буксиры и их операции / В.Ф. Сидорченко, СПб.: Судостроение, 2009 г.
9. Морские транспортные суда. Основы проектирования / А.В. Бронников, СПб.: Судостроение, 2010 г.
10. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев, СПб.: Судостроение, 2011 г.
11. Плетнев С.В. Магнитное поле, свойства, применение. — СПб.: Гуманистика, 2004 г. — 624 с.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. –М.: Энергоатомиздат, 2005 г.
13. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. СПб.: Энерготомиздат, 2003.

14. Спеддинг Ф. Х., Даан А. Х. Редкоземельные металлы. — М.: Металлургия, 2005 г.
15. Справочник водолаза: учеб. пособие / С. Е. Буленков, А.Ф. Маурер. – Москва: Военное издательство министерства обороны России, 2014 г.
16. Теньковцев В. В., Борисов Б. А., Ткачева Л. Ш. Влияние режима эксплуатации на стабильность характеристик герметичных НК аккумуляторов.- Сб. работ по ХИТ.-Л.: Энергия.-1989.- С.59-70.
17. Теория электрических цепей и электромагнитного поля : учеб. пособие для вузов / С. А. Башарин, В. В. Федоров. - Гриф УМО. - Москва :Academia, 2004 г. -304 с. : ил.
18. Хвалюскин С.И. Гражданская оборона объектов водного транспорта. - М.: Транспорт, 2010 г.
19. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М: Изумруд, 2003 г.
20. Ялтанец И.М. Гидромеханизированные и подводные работы. Книга 1. Разработка пород гидромониторными и землесосными снарядами. – М.: Мир Водной книги, 2006 г.
21. Bachrach, Arthur J. (Spring 1998). "History of the Diving Bell". Historical Diving Times. No. 21.
22. David Linden, Thomas B. Reddy (ed). Handbook Of Batteries 3rd Edition. McGraw-Hill, New York, 2002 ISBN 0-07-135978-8 chapter 22.
23. Ravaoli, Fawwaz T. Ulaby, Eric Michielssen, Umberto (2010). Fundamentals of applied electromagnetics (6th ed.). Boston: Prentice Hall. p. 13.
24. Schweber, Bill (4 August 2015). "Lithium Batteries: The Pros and Cons". GlobalSpec. GlobalSpec. Archived from the original on 16 March 2017. Retrieved 15 March 2017.
25. The Development of the Electric Motor,". Early Electric Motors. SparkMuseum. Archived from the original on 6 March 2013. Retrieved 12 February 2013.