

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

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

Электромеханика  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Разработка автомобильного стартера для ВАЗ-2190»

Студент(ка)

В.В. Погодаев

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Руководитель

А.А. Северин

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Консультанты

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

\_\_\_\_\_ (И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

**Допустить к защите**

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

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## Аннотация

Цель данной бакалаврской работы – спроектировать стартер, предназначенного для использования на автомобилях ВАЗ-2190 «Гранта» и их модификациях.

Конструктивные преимущества проектируемого стартера следующие:

- повышение частоты вращения на выходном валу стартера, вследствие применения шестиполусной магнитной системы, что позволяет через планетарный редуктор получить на выходном валу больший крутящий момент при меньшем энергопотреблении;

- увеличение сечения токопроводящих жил щётчного-коллекторного узла уменьшает потери на них, а следовательно снижает общее потребление энергии стартером;

- увеличение площади медных контактов втягивающего реле снижает потери мощности и повышает надёжность работы.

В проекте:

- 1) проведен анализ существующих типов автомобильных стартеров;
- 2) выполнен поверочный расчет стартера: определены главные размеры, рабочие характеристики;
- 3) в графической части разработаны чертежи основных узлов стартера.

Пояснительная записка содержит 47 страниц, 15 рисунков, 8 таблиц.

## Содержание

Введение	4
1 Обзор существующих конструкций стартеров	7
1.1 Общее устройство автомобильных стартеров	7
1.2 Сравнительные характеристики стартеров автомобиля	8
1.3 Устройство и принцип действия системы пуска автомобилей	
ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора»	10
1.4 Выбор рабочего варианта	17
2 Поверочный расчет стартера	22
2.1 Выбор главных размеров стартера	22
2.2 Выбор и расчет обмотки якоря	24
2.3 Расчет размеров паза и якоря	26
2.4 Расчет размеров зубца	29
2.5 Расчет сопротивления обмотки якоря	30
2.6 Расчет рабочих характеристик стартера	31
2.7 Подбор основных материалов, покупных и комплектующих изделий при модернизации стартера	35
3 Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт стартера	38
3.1 Эксплуатация и ремонт стартера	38
3.2 Испытания стартера	40
Заключение	45
Список использованных источников	46

## Введение

Автомобили составляют основу отрасли народного хозяйства – автомобильного транспорта, играющей одну из самых главных ролей в жизни общества и человека. На автомобильный транспорт приходится основная часть перевозимых грузов, непосредственно доставляемых конечным потребителям продукции. Автомобильные перевозки, их себестоимость непосредственным образом влияют на ценообразование товаров и услуг. Важную роль играет также безопасность перевозок, их экологичность.

Ключевым фактором совершенствования деятельности автомобильной отрасли является повышение качества, надежности автомобилей, их экономичности.

Согласно статистики на надежность автомобилей оказывает большое внимание их электрооборудование, включающие в себя разнообразные электротехнические, электромеханические и электронные детали, приборы и узлы.

Электрооборудование автомобиля является главной составной частью современного комплекса бортового оборудования. В электрооборудование включают все те бортовые устройства, работа которых непосредственно связана с электричеством.

К «базовым» электрическим системам автомобилей можно отнести:

- систему пуска двигателя;
- систему электроснабжения;
- систему зажигания;
- систему освещения;
- систему звуковой, аварийной и световой сигнализации;
- систему отопления и кондиционирования;
- систему очистки ветровых стекол;
- контрольно-измерительные приборы.

Вместе с тем бурное развитие электроники, технологии позволило применить на борту автомобиля множество систем, улучшающих управляемость автомобилей в различных дорожных ситуациях, помогающих водителю избежать аварий и дорожно-транспортных происшествий. Но самое большее развитие получили системы повышающие комфортность как для водителей, так и пассажиров. В зарубежных странах их называли «помощниками». Самыми распространенными из них являются:

- парктроник;
- круиз-контроль;
- навигационная система;
- помощь при трогании в гору;
- видеорегистраторы;
- помощь при парковке (без участия водителя) и др.

Многочисленные контроллеры, блоки управления, связанные с друг другом высокоскоростными шинами данных, взяли на себя часть «обязанностей» водителей, облегчая им управление автомобилем.

Важным событием в развитие электрооборудования автомобилей стало появление встроенной самодиагностики, значительно упростивших поиск и устранение возникающих неисправностей.

Вместе с тем, именно надежность «базового» электрооборудования, позволяет автомобилю выполнять возложенные на него обязанности. Стартер является одним из самых дорогих электромеханических узлов автомобиля, при этом наиболее часто из них выходящим из строя.

Проектируемый стартер отличается от серийно устанавливаемых на автомобилях ВАЗ-1118, ВАЗ-2170 и ВАЗ-2190 стартеры моделей 5702.3708 и 2111.3708010-01 следующими характеристиками:

- повышение частоты вращения на выходном валу стартера, вследствие применения шестиполюсной магнитной системы, что позволяет через планетарный редуктор получить на выходном валу больший крутящий момент при меньшем энергопотреблении;

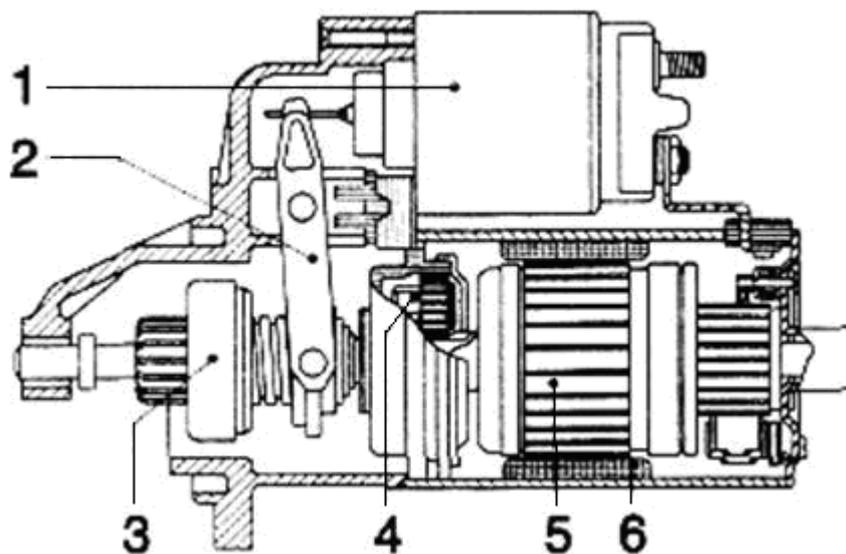
- увеличение сечения токопроводящих жил щётчного-коллекторного узла уменьшает потери на них что, следовательно, снижает общее потребление энергии стартером;

- увеличение площади медных контактов втягивающего реле снижает потери мощности и повышает надёжность работы.

# 1 Обзор существующих конструкций стартеров

## 1.1 Общее устройство автомобильных стартеров

Стартер (см. рисунок 1.1) состоит из электродвигателя, шестеренчатого привода, обгонной муфты (муфты свободного хода).



1 - соленоид и пусковое реле; 2 - рычаг включения стартера; 3 - обгонная муфта с ведущей шестерней; 4 - шестеренчатый редуктор (планетарная передача); 5 - якорь; 6 - постоянные магниты

Рисунок 1.1- Стартер с постоянными магнитами и шестеренчатым редуктором

Шестерня на валу электродвигателя стартера сначала начинает взаимодействовать с зубчатым венцом маховика двигателя. После пуска двигателя частота вращения шестерни стартера становится выше частоты вращения вала электродвигателя стартера, что может привести к выходу стартера из строя из-за возникающего центробежного усилия. Для предотвращения этого нежелательного явления между шестерней стартера и его якорем

устанавливается обгонная муфта, которая отключает стартер от двигателя, как только частота вращения коленчатого вала начинает превышать частоту вращения вала стартера.

## 1.2 Сравнительные характеристики стартеров автомобиля

Сравнительные характеристики стартеров автомобиля сведены в таблицу 1.1

Таблица 1.1- Сравнительные характеристики стартеров автомобиля

Тип	U, В	P, кВт	C <sub>20</sub> , А·ч	Диаметр корпуса, мм	Кол-во зубьев шестерни, шт	Масса, кг	Завод изготовитель	Двигатель	Основная модель автомобиля
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
92.3708	12	1,7	44 или 55	74	9	3,5	ООО «Электром»	ВАЗ-2112 и модификации	ВАЗ-2110, ВАЗ-2127, ВАЗ-1118
57.3708	12	1,55	55	80	9	3,95	ООО «ЗиТ»	ВАЗ-2110	ВАЗ-2110
4621.3708	12	1,7	55	74	11	4,5	ООО «Элтра»	ВАЗ-2106	ВАЗ-2101-2107, 2121
461.3708-02	12	1,65	55	100	11	7,2	ООО «Элтра»	ВАЗ-2106	ВАЗ-2101-2107

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4611. 3708	12	1,7	55	100	9	4,5	ООО «Элтра»	ЗМЗ- 406.10	ГАЗ-3110 и моди- фикации
93.3708	12	1,9	55 или 66	74	9	4,0	ООО «Элект- ром»	ЗМЗ- 405 ЗМЗ- 406 ЗМЗ- 409	ГАЗ (Волга, Газель, Соболь), УАЗ (Hanter, Patriot
6421. 3708	12	3,3	90	94	9	7,8	ООО «Элтра»	ЗИЛ- 508	ЗИЛ-130
62.3708	12	1,3	55	103,5	11	6,3	ООО «ЗиТ»	УАЗ	УАЗ- 3151, 3303
265.3708	12	1,13	44	92,5	9	4,53	ОАО «Электро- маш» г. Херсон	Все моди- фи- кации МеМЗ	ЗАЗ- 1102, Sens, Lanos
2562. 3708-30	24	9	190	149	10	30	ООО «Элтра»	ЯМЗ- 236 ЯМЗ- 238	МАЗ, Урал, КрАЗ
2501. 3708-10	24	4,8	190	140	10	22, 25	ООО «Элтра»	Камаз- 740 и его мод.	Камаз

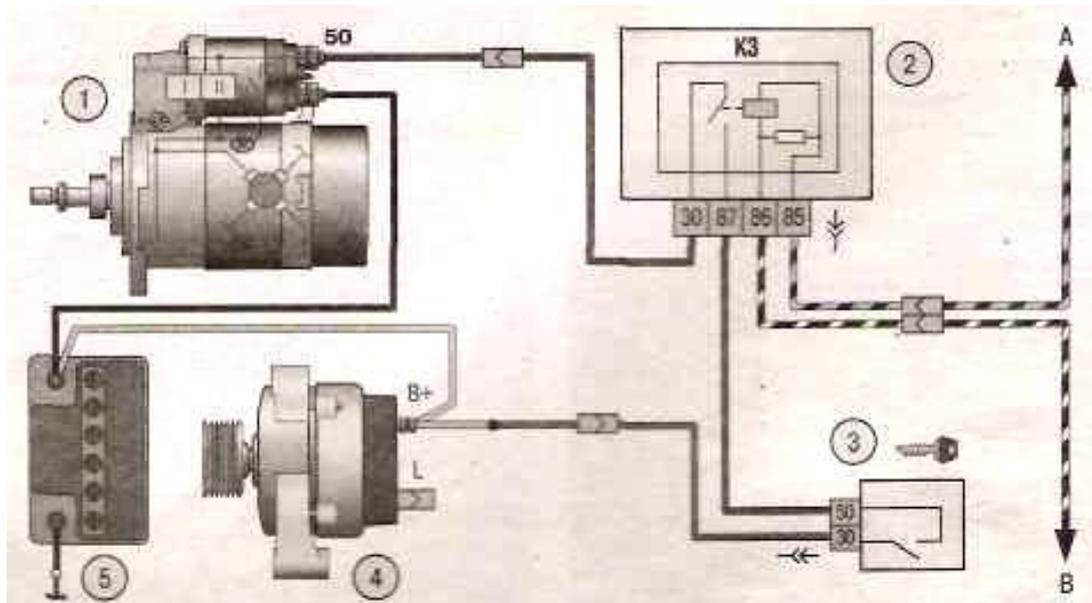
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
202.3708	24	5,9	132	130	10	19,5	ООО «ЗиТ»	Дизели семе- ства СМД	Тракторы Беларусь- 611
СТ-230Р	24	4	190	114	10	12	ОАО «БАТЭ»	Д-243, Д-245, Д-246	Тракторы МТЗ, ЗИЛ- 5301,
СТ- 142Б1	24	8,2	190	133	10	24,7	ОАО «БАТЭ»	Камаз- 740 и его моди- фи- кации	Камаз

### 1.3 Устройство и принцип действия системы пуска автомобилей ВАЗ-1118 «Калина» и ВАЗ-2170 «Приора»

На автомобиль Lada Kalina устанавливается стартер 2110-3708010 (5702.3708) или стартер фирмы Bosch 0 001 108 203, аналогичный по установочным размерам и технической характеристике. При этом детали данных стартеров не взаимозаменяемые. Схема включения стартера показана на рисунке 1.2.

Техническая характеристика стартера типа 5702.3708:

- номинальная мощность – 1,55 кВт;
- потребляемая сила тока при максимальной мощности – 375 А;
- потребляемая сила тока в заторможенном состоянии – не более 700 А;
- потребляемая сила тока на холостом ходу – 80 А.



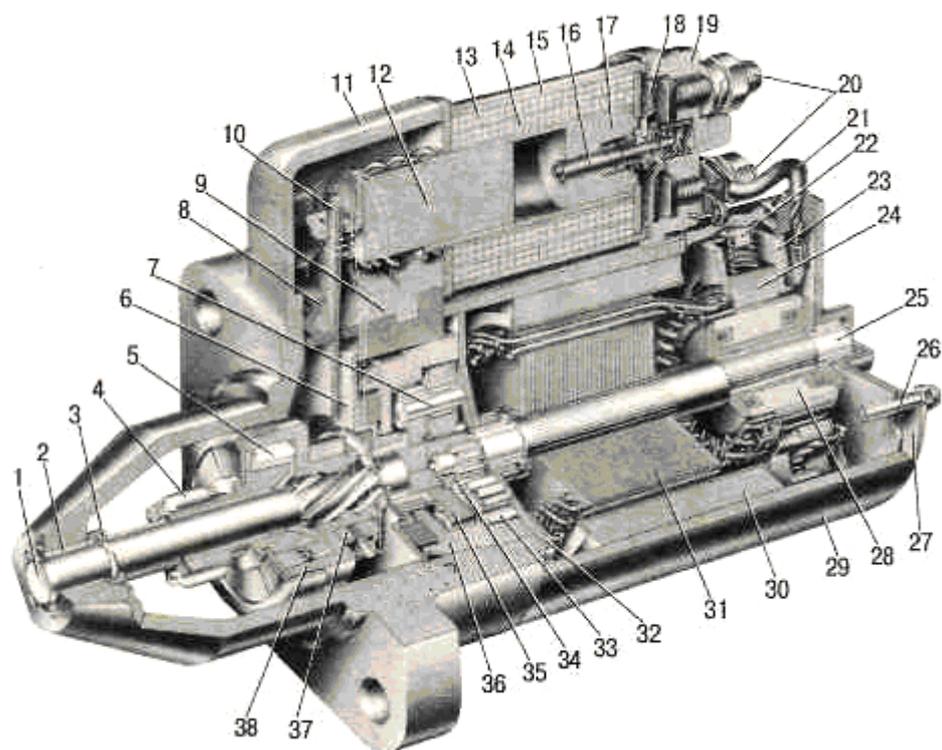
1 - стартер; 2 - монтажный блок; 3 - выключатель зажигания; 4 - генератор; 5 - аккумуляторная батарея. А - к главному реле, вывод «30»; В - к контакту «50» контроллера; КЗ - реле включения стартера

Рисунок 1.2- Схема включения стартера 2110-3708010 (5702.3708)

Стартер типа 5702.3708 (см. рисунок 1.3) - электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, с планетарным редуктором и электромагнитным двухобмоточным тяговым реле.

Крышки 11, 27 и корпус 29 статора стянуты двумя шпильками. Вал 25 якоря вращается в двух металлокерамических вкладышах, установленных в крышке 27 и опоре 32. В корпусе статора закреплены четыре постоянных магнита 30.

Вращение от вала 25 якоря передается валу 1 привода через планетарный редуктор, который состоит из центральной шестерни 34, трех планетарных шестерен 33, водила 35 и шестерни 36 с внутренним зацеплением. Планетарные шестерни вращаются на игольчатых подшипниках.



1 - вал привода; 2 - втулка передней крышки; 3 - ограничительное кольцо; 4 - шестерня с внутренним кольцом обгонной муфты; 5 - ролик обгонной муфты; 6 - опора вала привода с вкладышем; 7- ось планетарной шестерни; 8- прокладка; 9- кронштейн рычага; 10- рычаг привода; 11 - передняя крышка; 12 - якорь реле; 13 -удерживающая обмотка; 14 - втягивающая обмотка; 15 - тяговое реле; 16 - шток тягового реле; 17 - сердечник тягового реле; 18 - контактная пластина; 19 - крышка тягового реле; 20 - контактные болты; 21 - вывод «положительных» щеток; 22 - скоба; 23 - щеткодержатель; 24 - «положительная» щетка; 25 - вал якоря; 26 - стяжная шпилька; 27 - задняя крышка с втулкой; 28 - коллектор; 29 - корпус; 30 - постоянный магнит; 31 - сердечник якоря; 32 - опора вала якоря с вкладышем; 33 - планетарная шестерня; 34 - центральная (ведущая) шестерня; 35 - водило; 36 - шестерня с внутренними зубьями; 37 - кольцо отводки; 38 - ступица с наружным кольцом обгонной муфты

Рисунок 1.3- Стартер 5702.3708

При включении стартера напряжение от аккумуляторной батареи через выключатель (замок) зажигания подается на обе обмотки тягового реле стартера (втягивающую 14 и удерживающую 13). Под действием магнитного поля обмоток якорь 12 реле втягивается и рычагом 10 вводит шестерню 4 в зацепление, с маховиком двигателя. После замыкания контактных болтов 20 пластины 18 втягивающая обмотка отключается и якорь реле удерживается во втянутом состоянии только удерживающей обмоткой. При повороте ключа в выключателе (замке) зажигания в положение «II» удерживающая обмотка обесточивается и якорь под действием пружины возвращается в исходное положение, выводя рычагом 10 шестерню 4 из зацепления с маховиком.

На автомобиль ВАЗ-2170 Lada Priora устанавливают двигатель ВАЗ-21126, созданный на базе двигателя ВАЗ-2112. Увеличение рабочего объема достигнуто за счет увеличения хода поршня при неизменном диаметре цилиндра.

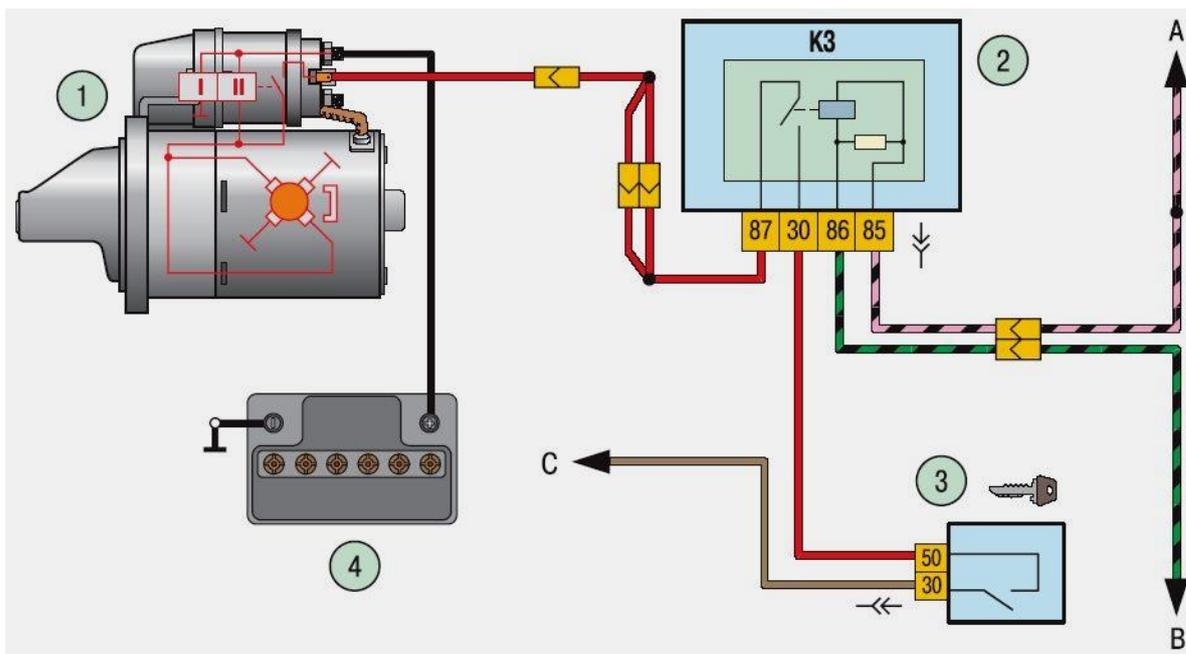
На автомобилях Lada Priora устанавливают стартер мод. 2111.3708010-01 или более современный 5121.3708000.

Схема включения стартера показана на рисунке 1.4.

Техническая характеристика стартера мод. 2111.3708010-01:

- номинальное напряжение – 12 В;
- номинальная мощность – 1,2 кВт;
- потребляемая сила тока при максимальной мощности – 375 А;
- потребляемая сила тока в заторможенном состоянии – не более 700 А;
- потребляемая сила тока на холостом ходу – 80А.
- потребляемый ток втягивающей обмотки тягового реле – 43 А;
- потребляемый ток удерживающей обмотки тягового реле – 12 А.

Стартер 2111.3708010-01 с возбуждением от постоянных магнитов представляет собой электродвигатель постоянного тока с электромагнитным двухобмоточным тяговым реле и муфтой свободного хода (см. рисунок 1.5).



1 - стартер; 2 - монтажный блок; 3 - выключатель (замок) зажигания; 4 - аккумуляторная батарея; А - к главному реле, вывод «30»; В - к контакту «50» ЭБУ; С - к основному блоку предохранителей (F3); К3 - реле включения стартера

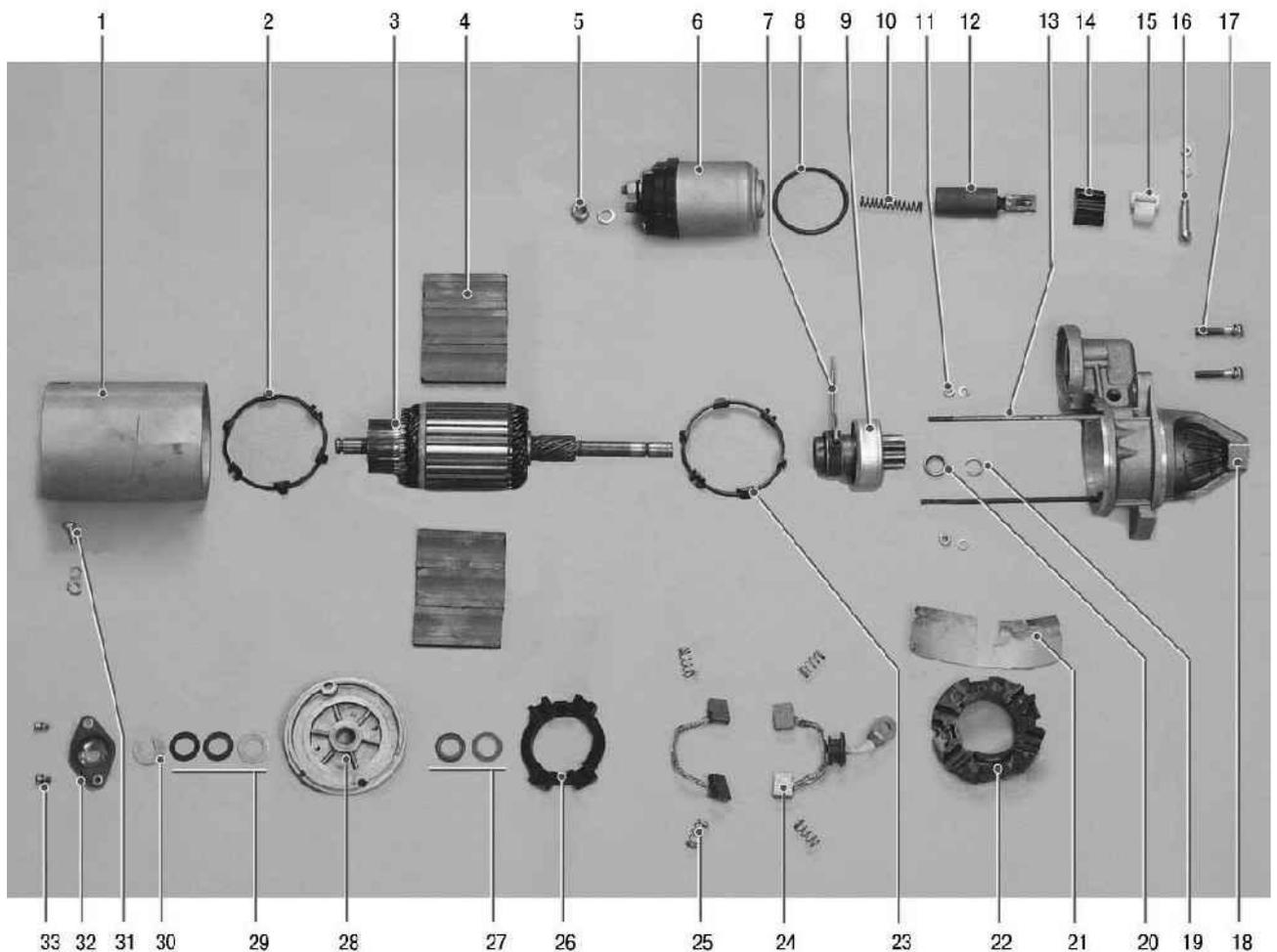
Рисунок 1.4- Схема включения стартера

Стартер рассчитан на эксплуатацию в условиях умеренного и тропического климата.

Режим работы стартера кратковременный, длительностью до 10 с. При отрицательной температуре допускается длительность работы до 15 с.

Стартер питается от аккумуляторной батареи емкостью 55 А-ч. Он относится к восстанавливаемым, обслуживаемым изделиям.

Рассмотрим схемы систем управления стартером автомобилей оснащенных электронной системой управления двигателем (ЭСУД) с контроллером М 7.9.7 Евро 3 (смотреть рисунки 1.6, 1.7).



1- корпус; 2- упорное кольцо со стороны коллектора; 3- якорь; 4- постоянный магнит, 5- гайка крепления щеток положительной полярности; 6- тяговое реле; 7- рычаг привода; 8- уплотнительное кольцо; 9- муфта свободного хода; 10- возвратная пружина; 11- гайка стяжной шпильки; 12- якорь реле; 13- стяжная шпилька; 14- уплотнитель; 15- опора рычага; 16- ось рычага; 17- винты крепления тягового реле; 18- передняя крышка; 19- стопорное кольцо; 20- ограничительное кольцо; 21- изолятор; 22- внутренний щеткодержатель; 23- упорное кольцо; 24- электрическая щетка; 25- прижимная пружина; 26- внешний щеткодержатель; 27- внутренние дистанционные шайбы; 28- задняя крышка с втулкой; 29- внешние дистанционные шайбы; 30- стопорная шайба; 31- болт крепления шины щеток отрицательной полярности; 32- крышка вала якоря; 33- болт крепления крышки вала якоря

Рисунок 1.5- Детали стартера 2111.3708010-01

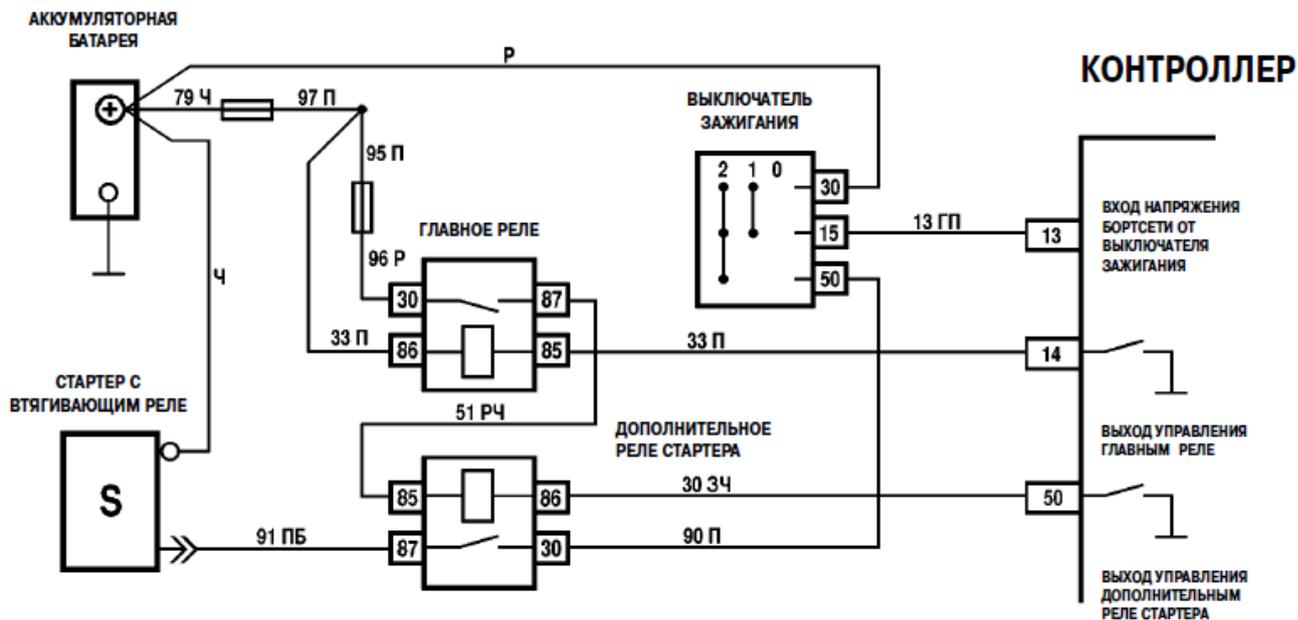


Рисунок 1.6- Схема системы управления стартером автомобиля ВАЗ-2170 оснащенного ЭСУД с контроллером М 7.9.7 Евро 3

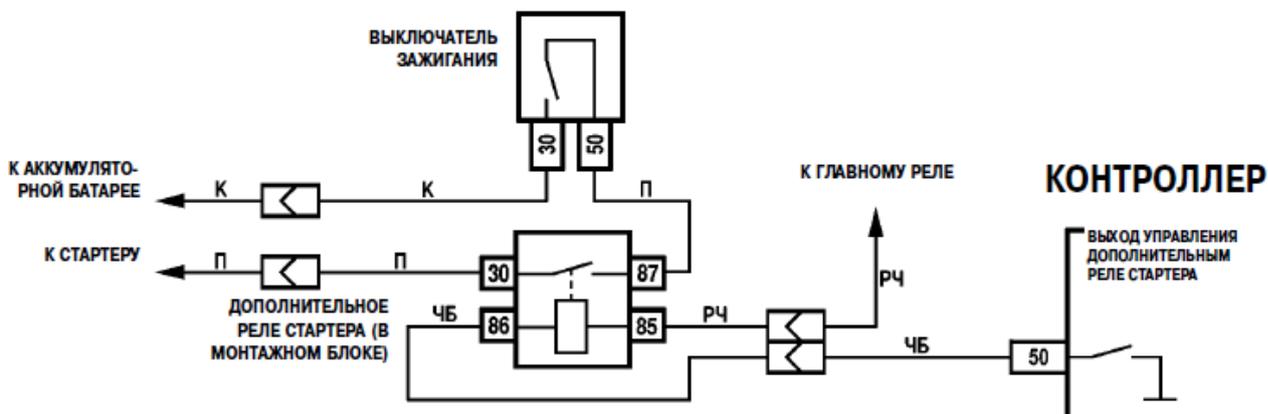


Рисунок 1.7- Схема системы управления стартером автомобиля ВАЗ-11183 оснащенного ЭСУД с контроллером М 7.9.7 Евро 3

В данной системе управления двигателем питание на обмотку втягивающего реле стартера подается через контакты втягивающего реле. Контроллер управляет включением/выключением дополнительного реле стартера в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и времени прокрутки двигателя стартером.

После установки ключа зажигания в положение «Стартер» и частоте

вращения коленчатого вала не более 500 об/мин контроллер подает напряжение на дополнительное реле и таким образом включает стартер. После своего включения стартер будет работать до тех пор, пока ключ зажигания будет находиться не более 20 секунд в положении «Стартер» при условии получения «правильного» пароля от иммобилайзера и пока частота вращения коленчатого вала не увеличилась до 500 об/мин. Тем самым исключается включение стартера при работающем двигателе и его перегрев при длительной прокрутке.

Устройство и электрическая схема включения стартера автомобиля ВАЗ-2190 Лада Гранта аналогична автомобилю ВАЗ-2170 Лада Приора.

#### 1.4 Выбор рабочего варианта

Исходя из конструкции двигателя и с учетом предполагаемых изменений, стартер должен обладать следующими техническими характеристиками:

- номинальное напряжение – 12 В;
- номинальная мощность – 1,6 кВт;
- частота вращения стартера при номинальной мощности –  $1300 \pm 50 \text{ мин}^{-1}$ ;
- направление вращения вала стартера со стороны привода – левое;
- масса стартера – не более 3,5 кг
- габаритные и присоединительные размеры – согласно рисунка 1.8.

Выбираем следующую конструкцию. Стартер представляет собой двигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, с электромагнитным реле, встроенным планетарным редуктором и приводом стартера. Режим работы стартера кратковременный с длительностью включения не более 10сек. Конструкция стартера представлена на рисунке 1.9.

Статор представляет собой цилиндрический корпус, в котором размещены шесть постоянных магнитов. Магниты в корпусе устанавливаются и фиксируются в металлической арматуре.

Втягивающее реле устанавливается сверху на корпусе стартера. Втягивающее реле содержит обмотки (втягивающую и удерживающую),

намотанные на латунную втулку, в которой свободно перемещается стальной якорь реле, воздействующий на рычаг с подвижным контактным диском. На якоре реле установлена возвратная пружина, а на крышке реле размещены контактные болты (контакты). Втягивающее реле обеспечивает ввод шестерни в зацепление с венцом маховика и подключает стартерный электродвигатель к аккумуляторной батарее.

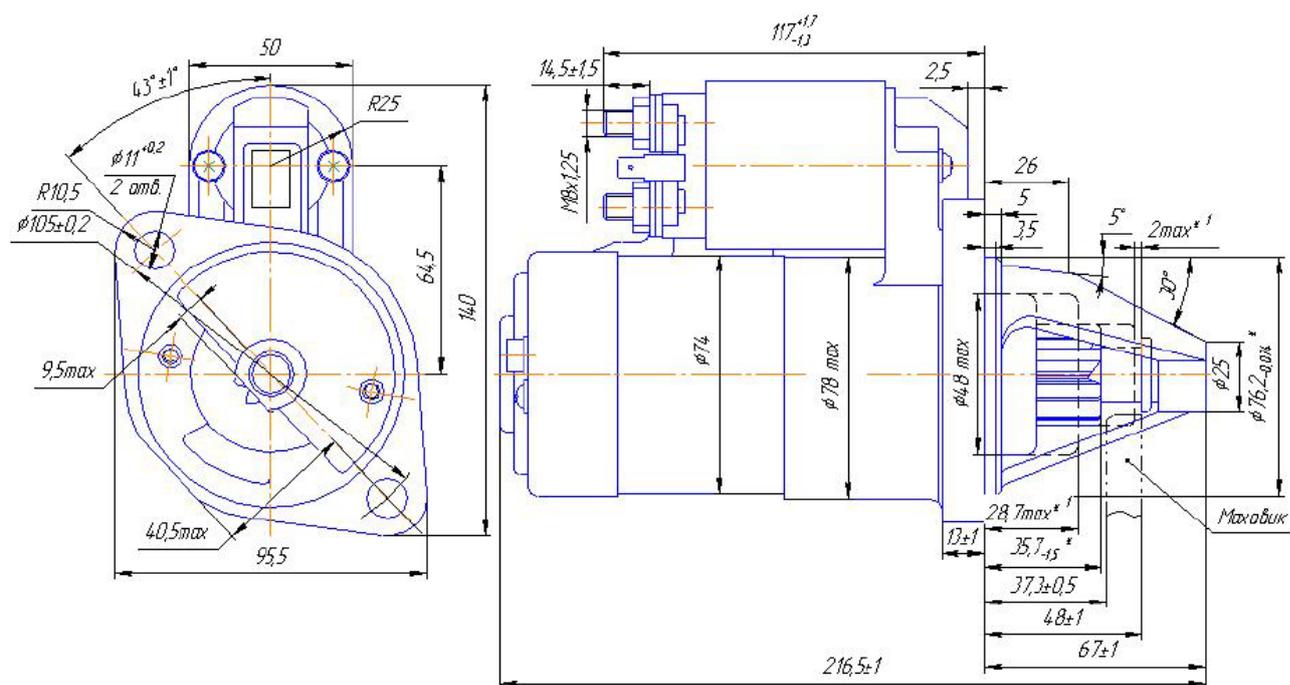
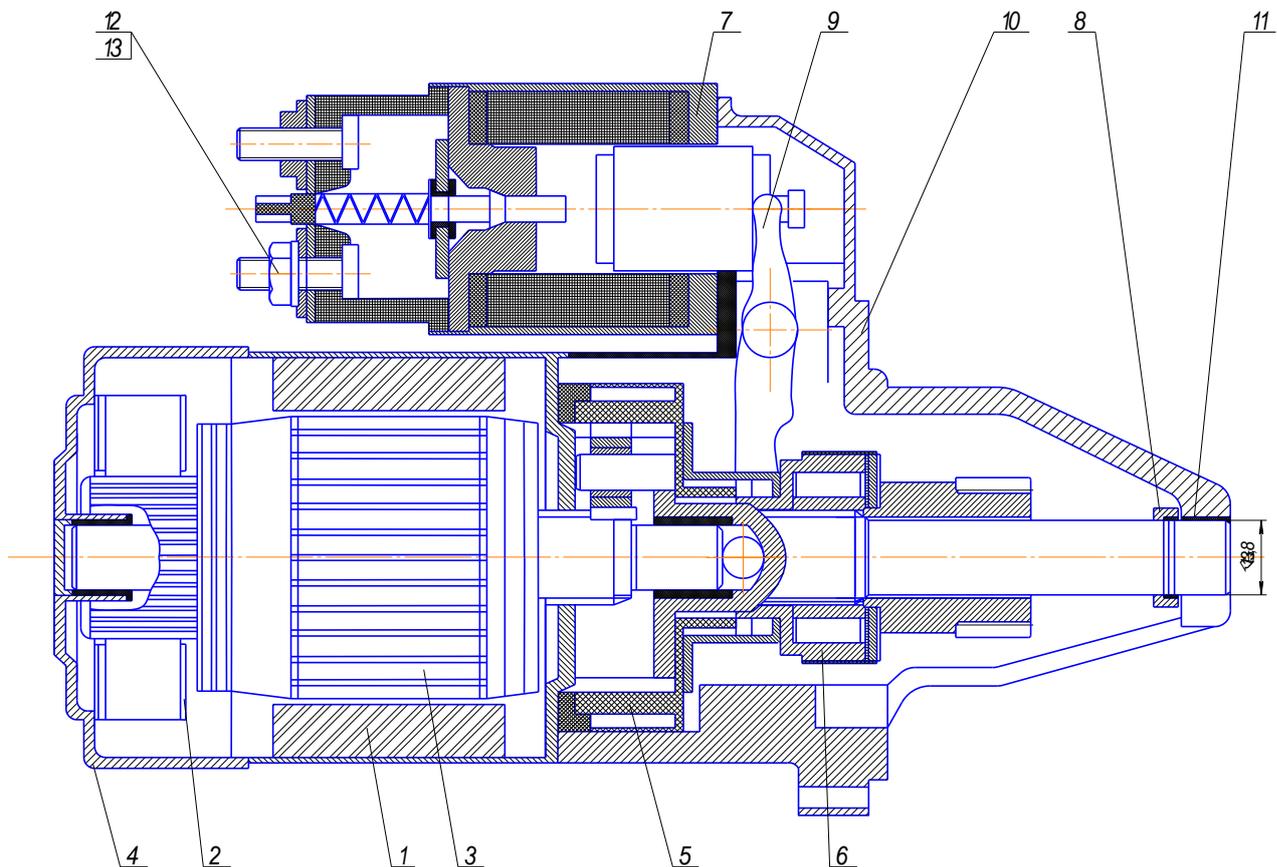


Рисунок 1.8- Габаритные и присоединительные размеры проектируемого стартера

Якорь стартера представляет собой шихтованный сердечник, в пазы которого укладываются секции обмотки. Пакет якоря напрессован на вал, вращающийся в двух металлокерамических вкладышах, установленных в крышке и приводе стартера. На валу якоря со стороны привода имеются зубцы, которые входят в зацепление с шестернями планетарного редуктора.



1- корпус с сегментами; 2- щеткодержатель; 3- якорь в сборе; 4- крышка задняя; 5- редуктор; 6- механизм привода; 7- реле тяговое; 8- кольцо упорное; 9- кронштейн рычага; 10- крышка передняя; 11- втулка; 12- гайка; 13- шайба пружинная

Рисунок 1.9- Конструкция проектируемого стартера

Вращение от вала якоря передается валу шлицевому через планетарный редуктор, который состоит из вала-шестерни якоря, трех планетарных шестерен, водила и шестерни с внутренним зацеплением (корпус редуктора). Планетарные шестерни вращаются на подшипниках скольжения. Вращение вала якоря от вала-шестерни передается шестерням планетарного редуктора которые, перекатываясь по зубьям неподвижной шестерни, вращают водило и вал шлицевой. На валу шлицевом размещен привод стартера, состоящий из обгонной муфты и шестерни.

Привод стартера состоит из наружной (ведущей) обоймы, связанной с якорем стартера, внутренней (ведомой) обоймы, изготовленной за одно целое с шестерней привода, и роликов с толкателями и пружинами, расположенными между обоймами.

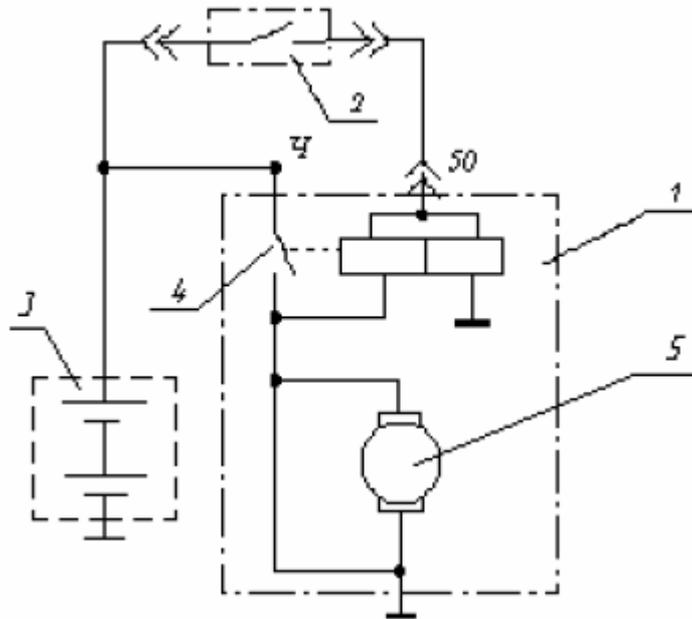
При включении стартера вращение от вала шлицевого передается на наружную (ведущую) обойму муфты. При вращении наружной обоймы ролики, сдвигаясь под действием силы трения и пружин в узкую часть клиновидного пространства между обоймами, заклинивают внутреннюю ведомую обойму, и обе обоймы с шестерней начинают вращаться за одно целое, передавая момент от вала якоря стартера на венец маховика коленчатого вала и обеспечивая пуск двигателя.

После пуска двигателя маховик коленчатого вала начинает вращаться быстрее, а вместе с ним и шестерня стартера. Ролики затягиваются внутренней обоймой в более широкую часть клиновидного пространства и расклинивают обоймы. При этом вращение от маховика не будет передаваться на вал якоря стартера. Ввод шестерни привода в зацепление с венцом маховика коленчатого вала двигателя и включение электрической части стартера осуществляется электромагнитным втягивающим реле.

Крышка передняя отлита из алюминиевого сплава. На крышке имеются отверстия для соединения вала стартера с зубчатым венцом маховика. Крышки и корпус статора стянуты двумя шпильками.

Щеточный узел состоит из четырех медно-графитовых щеток установленных в щеткодержателях.

Выбранная принципиальная схема системы пуска представлена на рисунке 1.10.



1- стартер; 2- выключатель зажигания; 3- аккумуляторная батарея; 4- контакты тягового реле; 5- электродвигатель стартера

Рисунок 1.10- Принципиальная схема системы пуска

## 2 Поверочный расчет стартера

### 2.1 Выбор главных размеров стартера

Электромагнитная мощность стартера  $P_{Э.См}$ , кВт, определяется по формуле (2.1)

$$P_{Э.см} = \frac{P_{см.МАХ}}{0,736 \cdot \eta_{мех}}, \quad (2.1)$$

где  $\eta_{мех}$  – механический к.п.д. стартера. Принимаем  $\eta_{мех} = 0,8 \div 0,85$ ;

$P_{См.МАХ}$  – максимальная мощность стартера. Принимаем согласно исходным данным  $P_{См.МАХ} = 1,6$  кВт.

$$P_{Э.см} = \frac{1,6}{0,736 \cdot 0,8} = 2,71 \text{ кВт}.$$

Ток стартера  $I_{СТ}$ , А, определяется по формуле (2.2)

$$I_{см} = \frac{P_{см.МАХ} \cdot 10^3}{\eta_{см} \cdot U_H \cdot 0,736}, \quad (2.2)$$

где  $\eta_{СТ}$  – предварительное значение к.п.д. стартера. Принимаем  $\eta_{см} = 0,5 \div 0,55$ ;

$U_H$  – номинальное напряжение стартера в зависимости от  $P_{см.МАХ}$ . Принимаем для стартера мощностью от 0,5 до 4,5 кВт  $U_H = 12$  В.

$$I_{см} = \frac{2,71 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 12 \cdot 0,736} = 613 \text{ А}.$$

Ток якоря стартера при возбуждении от постоянных магнитов равен току стартера  $I_{я.см} = I_{см} = 613$  А

Отношение  $P_{Э.См}$  к  $n_{См}$ , кВт/(об/мин), определяется по формуле (2.3)

$$\frac{P_{Э.см}}{n_{см}} = \frac{2,71}{1300} = 2,08 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{кВт}}{\text{об/мин}} \right], \quad (2.3)$$

где  $n_{См}$  – номинальная частота вращения стартера. Принимаем согласно исходных данных  $n_{См} = 1300$  об/мин.

Линейная нагрузка  $A_s = f(P_{Э.см})$ , предварительно, выбирается по таблице 2.1.

Таблица 2.1- Расчетные значения линейной нагрузки и магнитных индукций

$P_{э.см}$ , кВт	до 0,81	1,84	2,57	4,41...5,88	11,03
$A_S$ , А/см	300÷400	350÷400	450÷550	500÷700	700÷1000
$B_б$ , Тл	0,45÷0,55	0,6÷0,65	0,65÷0,7	0,7÷0,75	0,7÷0,8
$B_{z,max}$ , Тл	1,9÷2,0	2,2÷2,5	2,2÷2,6	2,6÷3,0	2,7÷3,0
$B_c$ , Тл	-	1,3÷1,35	1,4÷1,55	1,55÷1,6	1,55÷1,65
$B_z$ , Тл	1,4÷1,5	1,4÷1,5	1,55÷1,6	1,55÷1,6	1,55÷1,7
$B_я$ , Тл	1,3÷1,4	1,35÷1,4	1,65÷1,55	1,55÷1,6	1,55÷1,6
$j_я$ , А/мм <sup>2</sup>	12÷18	16÷22	-	19÷26	22÷28

Принимаем  $A_S = 550$  А/см.

Магнитная индукция в воздушном зазоре  $B_б = f(P_{см.МАХ})$ , предварительно, выбирается по таблице 2.1. Принимаем  $B_б = 0,7$  Тл

Расчетный коэффициент полюсной дуги  $\alpha_i$  определяется по формуле (2.4)

$$\alpha_i = \frac{b_{iГН}}{\tau}, \quad (2.4)$$

где  $b_{iГН}$  – расчетная длина полюсной дуги наконечника главного полюса;

$\tau$  – полюсное деление якоря.

При проверочном расчёте допускается принимать  $\alpha_i = 0,7 \div 0,75$  (для мощных стартёров 0,7; для большинства – 0,75). Принимаем  $\alpha_i = 0,75$ .

Электромашинная постоянная  $C$  определяется по формуле (2.5)

$$C = \frac{D^2 \cdot l_i}{\frac{P_{э.см}}{n_{см}} \alpha_i \cdot A_S \cdot B_б} = \frac{6,1 \cdot 10^7}{0,75 \cdot 550 \cdot 0,7} = 0,021 \cdot 10^7. \quad (2.5)$$

Задаемся коэффициентом  $\lambda_я = \frac{l_i}{D_я}$ . Для стартёров  $\lambda_я = 0,75 \div 1,0$ .

Принимаем  $\lambda_я = 0,75$

Предварительный диаметр якоря  $D_я$ , см, определяется по формуле (2.6)

$$D_я = \sqrt[3]{\frac{C}{\lambda_я} \cdot \left(\frac{P_{э.см}}{n_{см}}\right)} = \sqrt[3]{\frac{0,021 \cdot 10^7}{0,75} \cdot 2,08 \cdot 10^{-3}} = 5,26 \text{ см}. \quad (2.6)$$

Расчетная длина якоря  $l_i$ , см, определяется по формуле (2.7)

$$l_i = \lambda_{я} \cdot D_{я} = 0,75 \cdot 5,26 = 3,94 \text{ см.} \quad (2.7)$$

Для стартеров полная длина якоря  $l_{я}$  равна расчетной длине, т.к. отсутствуют радиальные вентиляционные каналы,  $l_i \cong l_{я}$

Выбираем число пар полюсов. Принимаем  $2p=6$ .

Полюсное деление  $\tau$ , см, определяется по формуле (2.8)

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{я}}{2p} = \frac{\pi \cdot 5,26}{6} = 2,75 \text{ см.} \quad (2.8)$$

Максимальная окружная скорость вращения якоря  $v_{я}$ , м/сек, определяется по формуле (2.9)

$$v_{я} = \frac{\pi \cdot D_{я} \cdot n_{MAX}}{60} \cdot 10^{-2} = \frac{\pi \cdot 5,26 \cdot 6000}{60} \cdot 10^{-2} = 16 \text{ м/сек.} \quad (2.9)$$

По условиям механической прочности и нормальной коммутации  $v_{я,MAX} \leq 60 \text{ м/сек}$  следовательно главные размеры выбраны правильно.

## 2.2 Выбор и расчет обмотки якоря

Для стартеров применяют обычно волновую обмотку  $2a = 2$ .

Ток параллельной ветви  $i_{я}$ , А, определяется по формуле (2.10)

$$i_{я} = \frac{I_{я.см}}{2a} = \frac{613}{2} = 306,5 \text{ А.} \quad (2.10)$$

Число эффективных проводов обмотки якоря  $N_{я}$ , шт, определяется по формуле (2.11)

$$N_{я} = \frac{\pi \cdot D_{я} \cdot A_s}{i_{я}} = \frac{\pi \cdot 5,26 \cdot 550}{306,5} = 29,63 \text{ шт.} \quad (2.11)$$

Число коллекторных пластин  $K$ , шт, определяется по формуле (2.12)

$$K = (3 \div 6) \cdot D_{я} = 5 \cdot 5,26 = 26,3 \text{ шт.} \quad (2.12)$$

Так как число коллекторных пластин должно быть целым, принимаем  $K=28$ .

Число витков в секции обмотки якоря  $w_{с\text{я}}$ , шт, определяется по формуле (2.13)

$$\omega_{с\text{я}} = \frac{N_{\text{я}}}{2K} = \frac{30}{2 \cdot 28} = 0,53 \text{шт.} \quad (2.13)$$

Число витков в секции должно быть целым числом. Для облегчения условий коммутации для стартеров рекомендуется принимать  $\omega_{с\text{я}} = 1$ .

С учетом конструкции и технологии стартера, принимаем:  $\omega_{с\text{я}} = 1$  виток в секции якоря,  $K=28$  коллекторных пластин,  $N_{\text{я}} = 56$  эффективных проводников.

Число пазов якоря  $Z$ , шт, определяется по формуле (2.14).

$$Z = \frac{K}{U_n}, \quad (2.14)$$

где  $U_n$  – число элементарных пазов в реальном стартере. Для стартеров  $U_n$  обычно принимают равным 1.

Предельное число пазов  $Z = K$ . Число  $Z$  должно быть нечетным. Принимаем  $Z=27$ .

Рекомендуется проверить выбранную величину  $Z$  по условию:  $\frac{Z}{p} = \frac{27}{3} = 9 \in (7 \div 30)$ . Число 9 входит в рекомендуемый диапазон. Чем меньше мощность машины, тем ниже значение  $\frac{Z}{p}$ . Определив  $K, U_n, Z$ , уточняется число витков  $\omega_{с\text{я}}$ , округляя до целого значения, уточняется  $N_{\text{я}}$ .

Линейная нагрузка якоря  $A_s$ , А/см, уточняется по формуле (2.15)

$$A_s = \frac{N_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}}}{\pi \cdot D_{\text{я}}} = \frac{56 \cdot 306,5}{\pi \cdot 5,26} = 1039 \text{ А/см.} \quad (2.15)$$

Шаг обмотки по пазам и коллектору  $y_k$ , пазов, определяется по формуле (2.16)

$$y_k = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{28 - 1}{3} = 9 \text{ пазов.} \quad (2.16)$$

Для стартеров всегда применяют укороченную обмотку для улучшения условий коммутации. Т.к.  $y_k=9$  – нечетное число, первый шаг простой волновой обмотки  $y_1$ , пазов, определяется по формуле (2.17)

$$y_1 = \frac{y_k + 1}{2} = \frac{9 + 1}{2} = 5 \text{ пазов.} \quad (2.17)$$

Так как  $y_k=9$  – нечетное число, второй шаг простой волновой обмотки  $y_2$ , пазов, определяется по формуле (2.18)

$$y_2 = \frac{y_k - 1}{2} = \frac{9 - 1}{2} = 4 \text{ пазов.} \quad (2.18)$$

После выбора основных параметров обмотки определяется сечение, размер и марка провода, размеры зубца и паза, которые позволяют уложить обмотку, изоляцию и клин. При этом проверяется возможность размещения обмотки и правильность выбора  $\frac{l_i}{D_{\text{я}}}$ ;  $Z$ ;  $K$ .

Величину плотности тока  $j_{\text{я}} = f(P_{\text{э.см}}) = 20 \text{ А/мм}^2$  принимаем по таблице 2.1.

Сечение проводника обмотки якоря  $q_{\text{я}}$ ,  $\text{мм}^2$ , определяется по формуле (2.19)

$$q_{\text{я}} = \frac{I_{\text{я.см}}}{2a \cdot j_{\text{я}}} = \frac{613}{2 \cdot 20} = 15 \text{ мм}^2. \quad (2.19)$$

Для обмоток якоря стартеров применяют провод прямоугольного сечения из марки проволоки МГМ: выбираем провод марки ПЭТП-155 - провод медный эмалированный, теплостойкий, прямоугольный, с температурным индексом (ТИ) 155°C, толщина провода  $a=3,15$  мм; ширина провода  $b=4,75$  мм; площадь поперечного сечения  $q_{\text{я}}=14,41 \text{ мм}^2$ .

### 2.3 Расчет размеров паза и якоря

Площадь сечения паза, заполненного изолированными проводами  $S_{\text{п.п}}$ ,  $\text{мм}^2$ , определяется по формуле (2.20)

$$S_{\text{п.п}} = \frac{2q_a \cdot \omega_c \cdot U_n}{f_0} = \frac{2 \cdot 14,41 \cdot 1 \cdot 1}{0,9} = 32,02 \text{ мм}^2, \quad (2.20)$$

где  $f_0$  – технологический коэффициент, учитывающий неточность укладки провода. Принимаем для прямоугольного провода  $f_0 = 0,9 \div 0,92$ .

Площадь, занимаемая пазовой изоляцией  $S_{\text{п.и}}$ ,  $\text{мм}^2$ , определяется по формуле (2.21)

$$S_{\text{п.и}} = (0,6 \div 0,8) \cdot \delta_{\text{и}} \cdot D_{\text{я}} \cdot 10 = 0,7 \cdot 0,3 \cdot 5,26 \cdot 10 = 11,04 \text{ мм}^2, \quad (2.21)$$

где  $\delta_{II}$  - толщина пазовой изоляции. Принимаем материал пазовой изоляции- электрокартон толщиной 0,30 мм.

Площадь паза под клин  $S_{п.к}$ , мм<sup>2</sup>, определяется по формуле (2.22)

$$S_{п.к} = b_{кл} \cdot h_{кл}, \quad (2.22)$$

где  $b_{кл}$  - ширина клина. Принимаем  $b_{кл} = 6 \text{ мм}$ ;

$h_{кл}$  - высота клина. Принимаем  $h_{кл} = 1,5 \text{ мм}$ .

$$S_{п.к} = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ мм}^2.$$

Для стартеров применяют полузакрытые пазы овальной формы с параллельными сторонами зубцов и прямоугольные открытые пазы. Крепление обмотки в пазах осуществляется бандажами, клиньями, на практике в стартерах с прямоугольными открытыми пазами расчеканивают каждый зуб, без бандажа и клиньев.

Выбираем прямоугольный паз.

Прокладка между катушками, изоляция паза — электроизоляционный картон пропитанный ЭВС, ЭВП толщиной  $\Delta = 0,3 \text{ мм}$ .

Изоляция катушки — прессшпан толщиной  $\Delta = 0,3 \text{ мм}$ .

Предварительная высота открытого паза  $h_{II}$ , мм, определяется по формуле (2.23)

$$h_{II} = (0,13 \div 0,17) \cdot D_{я} = 0,15 \cdot 52,6 = 7,89 \text{ мм}. \quad (2.23)$$

Общую толщину изоляции по высоте  $h_{III}$  и ширине  $b_{III}$  выбирают в зависимости от класса изоляции. Схема расположения изоляции класса А представлена на рисунке 2.1.

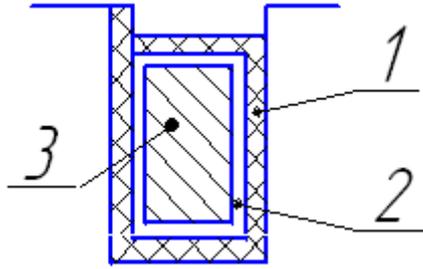
Предварительная общая высота проводников  $h_{M1}$ , мм, определяется по формуле (2.24)

$$h_{M1} = h_{II} - h_{III} - h_{к}, \quad (2.24)$$

где  $h_{к}$  - высота клина. Принимаем 1,5 мм;

$h_{III}$  - высота пазовой изоляции. Принимаем 0,3 мм.

$$h_{M1} = 7,89 - 0,3 - 1,5 = 6,09 \text{ мм}.$$



1- изоляция паза; 2- изоляция катушки; 3- провод обмоточный

Рисунок 2.1- Пазовая изоляция

Высота одного эффективного проводника  $h_M = h_{M1} = 6,09\text{мм}$  (по высоте в пазу укладывается один проводник)

Определяем размеры паза.

Предварительная ширина паза  $b'_{II}$ , мм, определяется по формуле (2.25)

$$b'_{II} = U_B \cdot b_M + b_{III} = 1 \cdot 3,15 + 0,3 = 3,45\text{мм}, \quad (2.25)$$

где  $U_B$  – число рядом лежащих в пазу секционных сторон по высоте паза, принимаем  $U_B = 1$ .

Предварительная высота паза  $h'_{II}$ , мм, определяется по формуле (2.26)

$$h'_{II} = U_B \cdot h_M + h_{III} + h_K = 1 \cdot 4,75 + 0,3 + 1,5 = 6,55\text{мм}. \quad (2.26)$$

Размеры паза должны быть больше на величину припуска на штамповку  $\Delta_{III} = (0,15 \div 0,20)\text{мм}$ .

Определяем окончательные размеры паза.

Ширина паза  $b_{II}$ , мм, определяется по формуле (2.27)

$$b_{II} = b'_{II} + \Delta_{III} = 3,45 + 0,15 = 3,60\text{мм}. \quad (2.27)$$

Высота паза  $h_{II}$ , мм, определяется по формуле (2.28)

$$h_{II} = h'_{II} + \Delta_{III} = 6,55 + 0,15 = 6,70\text{мм}. \quad (2.28)$$

После выбора размеров паза необходимо проверить минимальное сечение зубца  $b_{ZMIN}$  по условиям механической прочности и допустимой величине индукции. По условиям механической прочности должен быть  $b_{ZMIN} \geq 1,2 \div 1,5\text{мм}$ . В

случае, если  $b_{ZMIN}$  получается меньше допустимого значения, то необходимо изменить размещение меди в пазу (а может быть и число пазов).

Минимальная ширина зубца  $b_{ZMIN}$ , мм, определяется по формуле (2.29)

$$b_{ZMIN} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{B_{ZMAX} \cdot K_{CT}}, \quad (2.29)$$

где  $K_{CT}$  - коэффициент заполнения пакета якоря сталью с учетом изоляции между листами. Принимаем для оксидированной стали 0,98;

$B_{ZMAX}$  - максимальная магнитная индукция в зубцах, зависящая от электромагнитной мощности стартера  $B_Z = f(P_{\Sigma CT})$ . В соответствии с таблицей 2.1 принимаем для холоднокатаной стали  $B_{ZMAX} = 2,6 Tл$ ;

$t_1$  - зубцовое деление по внешней поверхности якоря, мм, определяемое по формуле (2.30)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_{Я}}{Z} = \frac{\pi \cdot 52,6}{27} = 6,1 мм, \quad (2.30)$$

$$b_{ZMIN} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{B_{ZMAX} \cdot K_{CT}} = \frac{0,7 \cdot 6,1}{2,6 \cdot 0,98} = 1,67 мм.$$

## 2.4 Расчет размеров зубца

Основные размеры зубца при прямоугольном пазе показаны на рисунке 2.2.

Определяем шаги в расчетных сечениях зубца.

Шаг в первом расчетном сечении  $t_1$ , мм, определяется по формуле (2.31)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_{Я}}{Z} = \frac{\pi \cdot 52,6}{27} = 6,10 мм. \quad (2.31)$$

Шаг во втором расчетном сечении  $t_2$ , мм, определяется по формуле (2.32)

$$t_2 = \frac{\pi \cdot (D_{Я} - h_{II} \cdot 10^{-1})}{Z} = \frac{\pi \cdot (52,6 - 6,70 \cdot 10^{-1})}{27} = 5,16 мм. \quad (2.32)$$

Шаг в третьем расчетном сечении  $t_3$ , мм, определяется по формуле (2.33)

$$t_3 = \frac{\pi \cdot (D_{Я} - 2 \cdot h_{II} \cdot 10^{-1})}{Z} = \frac{\pi \cdot (52,6 - 2 \cdot 6,70 \cdot 10^{-1})}{27} = 4,24 мм. \quad (2.33)$$

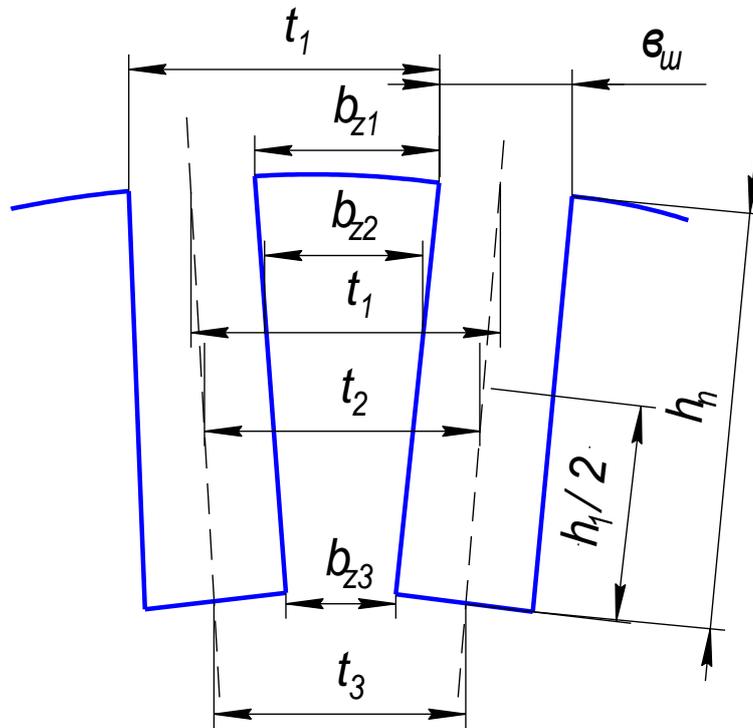


Рисунок 2.2- Размеры зубца при прямоугольном пазе

Определяем ширину зубца в расчетных сечениях.

Ширина зубца в первом расчетном сечении  $b_{Z1}$ , мм, определяется по формуле (2.34)

$$b_{Z1} = t_1 - b_{II} \cdot 10^{-1} = 6,10 - 3,60 \cdot 10^{-1} = 5,74 \text{ мм} . \quad (2.34)$$

Ширина зубца во втором расчетном сечении  $b_{Z2}$ , мм, определяется по формуле (2.35)

$$b_{Z2} = t_2 - b_{II} \cdot 10^{-1} = 5,16 - 3,60 \cdot 10^{-1} = 4,8 \text{ мм} . \quad (2.35)$$

Ширина зубца в третьем расчетном сечении  $b_{Z3}$ , мм, определяется по формуле (2.36)

$$b_{Z3} = t_3 - b_{II} \cdot 10^{-1} = 4,24 - 3,60 \cdot 10^{-1} = 3,88 \text{ мм} . \quad (2.36)$$

## 2.5 Расчет сопротивления обмотки якоря

Длина лобовой части обмотки с открытыми пазами  $l_{\text{лоб.я}}$ , см, определяется по формуле (2.37)

$$l_{\text{лоб.я}} = (1,2 \div 1,4) \cdot \tau = 1,2 \cdot 2,75 = 3,3 \text{ см} . \quad (2.37)$$

Средняя длина полувитка обмотки якоря  $l_{cp.я}$ , см, определяется по формуле (2.38)

$$l_{cp.я} = l_{я} + l_{лОб.я} = 3,94 + 3,3 = 7,24 \text{ см} \quad (2.38)$$

Полная длина проводников обмотки якоря  $l_{м.я}$ , см, определяется по формуле (2.39)

$$l_{м.я} = N_{я} \cdot l_{cp.я} = 56 \cdot 7,24 = 405,44 \text{ см} \quad (2.39)$$

Сопротивление обмотки якоря в холодном состоянии при температуре окружающей среды  $t = 20^\circ \text{C}$   $R_{я}$ , Ом, определяется по формуле (2.40)

$$R_{я} = \frac{l_{м.я}}{5700 \cdot q_{я} \cdot (2a)^2} = \frac{405,44}{5700 \cdot 14,41 \cdot 2^2} = 0,0032 \text{ Ом} \quad (2.40)$$

Для расчета стартера сопротивление обмоток якоря берется в холодном состоянии, т.к. в этом режиме наиболее тяжелые условия пуска стартера.

## 2.6 Расчет рабочих характеристик стартера

Рабочие характеристики стартера представляют собой зависимость мощности на валу стартера  $P_{см}$  (кВт), момента на валу  $M_{см}$  (Н·м), числа оборотов якоря  $n_{см}$  (об/мин) от тока стартера  $I_{см}$  (А)  $P_{см}, M_{см}, n_{см}, \eta = f(I_{см})$ .

Расчет рабочих характеристик производится в следующем порядке.

Задаются несколько значений тока стартера от  $I_{см} = 0$  до  $I_{см.к}$ .

Падение напряжения батареи  $\Delta U_{\delta}$ , В, определяется по формуле (2.41)

$$\Delta U_{\delta} = 0,052 \frac{I_{ст}}{C_{20}} \quad (2.41)$$

где  $C_{20}$  – номинальная емкость аккумуляторной батареи при 20 часовом режиме разряда по ГОСТ 959-51А/ч. Принимаем  $C_{20} = 55$  А/ч.

Сопротивление стартерной цепи  $\sum R$ , Ом, определяется по формуле (2.42)

$$\sum R = R_{я} + R_{пров} = 0,0032 + 0,002 = 0,0052 \text{ Ом}, \quad (2.42)$$

где  $R_{пров}$  – сопротивление соединительных проводов, переходных и переключающих контактов и металлических деталей, служащих обратным проводом. Принимаем  $R_{пров} = 0,002$  Ом.

Падение напряжения стартерной цепи  $I_{cm} \cdot \sum R$ , В, определяется по формуле (2.43)

$$I_{cm} \cdot \sum R. \quad (2.43)$$

ЭДС якоря стартера  $E$ , В, определяется по формуле (2.44)

$$E = U_c - \Delta U_{щ} - I \cdot \sum R - \Delta U_{\delta}, \quad (2.44)$$

где  $\Delta U_{щ}$  – падение напряжения на щеточно-коллекторном узле. Принимаем  $\Delta U_{щ} = 1,5$  В.

Электромагнитная мощность  $P_{ЭЛМ}$ , Вт, определяется по формуле (2.45)

$$P_{элм} = E \cdot I_{cm}. \quad (2.45)$$

Электрические потери в обмотке якоря  $\Delta P_{М.Я}$ , Вт, определяются по формуле (2.46)

$$\Delta P_{М.Я} = I_{Я}^2 \cdot R_{Я}. \quad (2.46)$$

Электрические потери в переходном контакте щеток на коллекторе  $\Delta P_{К.Щ}$ , Вт, определяются по формуле (2.47)

$$\Delta P_{К.Щ} = \Delta U_{щ} \cdot I_{Я}. \quad (2.47)$$

Общие электрические потери  $\Delta P_{\Sigma}$ , Вт, определяются по формуле (2.48)

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{М.Я} + \Delta P_{М.С} + \Delta P_{М.Ш} + \Delta P_{МКО} + \Delta P_{К.Щ}. \quad (2.48)$$

Удельные потери от гистерезиса и вихревых токов в спинке якоря  $q_{Я}$ , Вт/Н, определяются по формуле (2.49)

$$q_{Я} = \frac{4,4}{9,8} \frac{f}{100} \left( \frac{B_{Я}}{10000} \right)^2 + \frac{5,6}{9,8} \left( \frac{f}{100} \right)^2 \left( \frac{B_{Я}}{10000} \right)^2 \left( \frac{\Delta}{0,5} \right)^2, \quad (2.49)$$

где  $\Delta$  – толщина листа железа якоря. Принимаем  $\Delta = 0,5$  мм.

Полные потери в спинке якоря  $\Delta P_{СТ.Я}$ , Вт, определяются по формуле (2.50)

$$\Delta P_{СТ.Я} = q_{Я} \cdot G_{СТ.Я}. \quad (2.50)$$

Удельные потери от гистерезиса и вихревых токов в зубцах якоря  $q_Z$ , Вт/Н, определяются по формуле (2.51)

$$q_Z = \frac{4,4}{9,8} \frac{f}{100} \left( \frac{B_{Z2}}{10000} \right)^2 + \frac{5,6}{9,8} \left( \frac{f}{100} \right)^2 \left( \frac{B_{Z2}}{10000} \right)^2 \left( \frac{\Delta}{0,5} \right)^2. \quad (2.51)$$

Полные потери от гистерезиса и вихревых токов в зубцах якоря  $\Delta P_{CT.Z}$ , Вт, определяются по формуле (2.52)

$$\Delta P_{CT.Z} = q_z \cdot G_{CT.Z} \cdot \quad (2.52)$$

Магнитные потери в стали якоря  $\Delta P_{CT}$ , Вт, определяются по формуле (2.53)

$$\Delta P_{CT} = \Delta P_{CT.Z} + \Delta P_{CT.Я} \cdot \quad (2.53)$$

Потери от трения щеток о коллектор  $\Delta P_{ТР.Щ}$ , Вт, определяются по формуле (2.54)

$$\Delta P_{ТР.Щ} = 9,81 \cdot 0,3 \cdot n_{Щ} \cdot P_{Щ} \cdot \frac{\pi \cdot D_K \cdot 10^{-2}}{60} \cdot n_{CT} \quad (2.54)$$

Потери на трение в подшипниках  $\Delta P_{ТР.П}$ , Вт, определяются по формуле (2.55)

$$\Delta P_{ТР.П} = 0,03 \cdot \frac{n_{CT}}{n_{P_{ЭЛМ.МАХ}}} \cdot P_{ЭЛМ.МАХ} \cdot \quad (2.55)$$

Общие механические потери  $\Delta P_{МЕХ}$ , Вт, определяются по формуле (2.56)

$$\Delta P_{МЕХ} = \Delta P_{ТР.П} + \Delta P_{ТР.Щ} \cdot \quad (2.56)$$

Добавочные потери (потери от вихревых токов в коллекторных пластинах, потери от гистерезиса и вихревых токов в полюсных наконечниках, потери в бандажах)  $\Delta P_{ДОБ}$ , Вт, определяются по формуле (2.57)

$$\Delta P_{ДОБ} = 0,01 P_{CT} \quad (2.57)$$

Суммарные потери в стартере  $\sum \Delta P$ , Вт, определяются по формуле (2.58)

$$\sum \Delta P = \Delta P_{Э} + \Delta P_{CT} + \Delta P_{МЕХ} + \Delta P_{ДОБ} \quad (2.58)$$

Подведенная мощность  $P_1$ , Вт, определяется по формуле (2.59)

$$P_1 = P_{CT.МАХ} + \sum \Delta P \quad (2.59)$$

Коэффициент полезного действия  $\eta$ , %, определяется по формуле (2.60)

$$\eta = \frac{P_{CT.МАХ}}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_{CT.МАХ}}{P_{CT.МАХ} + \sum \Delta P} \cdot 100 \cdot \quad (2.60)$$

Расчет  $P_{cm}$ ,  $M_{cm}$ ,  $n_{cm}$ ,  $\eta$  для различных значений тока сведен в таблицу 2.2.

Построенные по данным таблицы 2.2 рабочие характеристики стартера представлены на рисунке 2.3

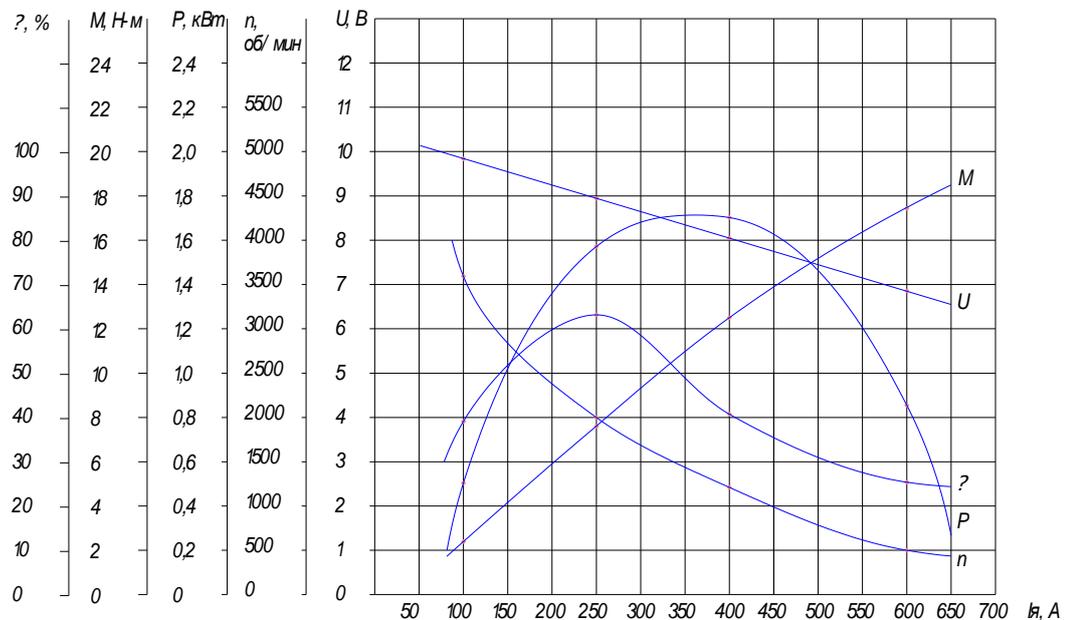


Рисунок 2.3- Рабочие характеристики стартера

Таблица 2.2- Данные для построения рабочих характеристик стартера

Параметр	Ед. измер.	Величина			
		100	250	400	600
$I_{CT}$	А	100	250	400	600
$A_s = \frac{N_{я}}{2 * a * \pi * D_{я}} * I_{cm}$	А/см	169,5	423,7	678,0	1017
$F_{р\dot{я}} = \alpha * \tau * A_s$	А	349,1	872,8	1396	2095
$I_{CT} * \sum R$	В	0,52	1,3	2,08	3,12
$\Delta U_{\delta} = 0.052 * \frac{I_{CT}}{c_{20}}$	В	0,094	0,236	0,378	0,567
$E = U_c - \Delta U_{ц\dot{и}} - \Delta U_{\delta} - I * \sum R$	В	9,88	8,96	8,04	6,81
$P_{\dot{э}л\dot{м}} = E * I_{CT}$	Вт	988	2240	3216	4086
$B_{\delta\dot{н}}$ при нагрузке	Тл	0,7	1,3	2,0	2,6
$n_{CT} = \frac{60 * a * E}{p * N_{я} * S_{\delta} * B_{\delta\dot{н}}}$	об/мин	3600	2050	1300	500
$\Delta P_{TP,n} = 0.03 * \frac{n_{CT}}{n_{p\dot{э}л\dot{м}max}} * P_{\dot{э}л\dot{м}max}$	Вт	4,3	3,8	3,1	2,9
$\Delta P_{TP,\dot{ц}\dot{и}} = 9.81 * 0.3 * n_{ц\dot{и}} * p_{ц\dot{и}} * \frac{\pi * D_K * 10^{-2}}{60} * n_{CT}$	Вт	32,9	19,6	12,6	5,63
$\Delta P_{me\dot{x}} = \Delta P_{TP,n} + \Delta P_{TP,\dot{ц}\dot{и}}$	Вт	37,2	23,4	15,7	8,53
$\sum \Delta P = \Delta P_{CT} + \Delta P_{me\dot{x}}$	Вт	468	670	1506	3236
$P_{CT} = P_{\dot{э}л\dot{м}} - \sum \Delta P$	кВт	0,52	1,57	1,71	0,85
$f = \frac{p * n_{CT}}{60}$	Гц	180	102,5	65	25

## Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Ед. измер.	Величина			
		286	430	933	2151
$q_{Я} = \frac{4.4 * f}{9.8 * 100} * (\frac{B_{Я}}{10000})^2 + \frac{5.6}{9.8} * (\frac{f}{100})^2 * (\frac{B_{Я}}{10000})^2 * (\frac{\Delta}{0.5})^2$	Вт/кг				
$\Delta P_{СТ} = q_{Я} * G_{СТЯ}$	Вт	430,8	646,6	1490	3227
$P_{СТ(ЛС)} = 1.36 * P_{СТ}$	л.с.	0,7	2,13	2,32	1,15
$M_{СТ} = \frac{116.2 * P_{СТ}}{n_{СТ}}$	Н*м	2,13	7,28	12,80	17,61
$\eta = \frac{P_{СТ}}{U_{СТ} * I_{СТ}}$		0,39	0,64	0,41	0,26

2.7 Подбор основных материалов, покупных и комплектующих изделий при модернизации стартера

Наименование основных материалов, их марку, норма расхода и стоимость сведены в таблицу 2.3

Таблица 2.3- Основные материалы, применяемые при модернизации стартера

№ п / п	Наименование материала	Марка, размер	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода на 1 стартер	Цена на 1 стартер (руб.)
1	2	3	4	5	6	7
1	Сталь электротехн.	Н-1-НТ-1122	214273-75	кг.	1,05	92,61
2	Лента	08КП-М-Б	ТУ-4-151-69	кг.	0,018	24,96
3	Лента	08КП-М-НТ	508-80	кг.	0,037	16,2
4	Алюминиевый сплав	АК12М2	45-5-28-72	кг.	0,1	30,87
5	Провод медный	ПЭТВ-1	16705110-95	кг.	0,1	67,89

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7
6	Трубка электроизо- ляционная	ТПВ	9614-95	кг.	0,009	19,74
7	Картон изоляционный	ЭВ	2824-95	кг.	0,005	16,68
8	Пленка электроизо- ляционная	ПЭТФ	6-05-1794- 96	кг.	0,02	7,71
9	Картон гофрирован- ный	Т	7376-94	м	0,008	11,97
	Итого					288,63

Стоимость основных материалов с учетом транспортно-заготовительных расходов определяется по формуле (2.61)

$$C_{осн} = \sum_{i=1}^n S_{ni} \cdot (1 + K_{мз}) = 288,63 \cdot (1 + 0,04) = 300,17 \text{ руб.}, \quad (2.61)$$

где  $S_{ni}$  – стоимость  $i$ -го материала.

Наименование покупных и комплектующих изделий, их марку, норма расхода и стоимость сведены в таблицу 2.4

Таблица 2.4- Расчет стоимости покупных и комплектующих изделий

№ п / п	Наимено- вание изделия	Марка, размер	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода на 1 000 штук	Цена за единицу (руб.)
1	2	3	4	5	6	7
1	Подшип- ник		ТУ 2645- 78689-90	шт.	2 000	80
2	Редуктор		ТУ 375- 9987-00	шт.	1 000	90
3	Реле стартера		ТУ 3311- 0907-92	шт.	1000	320
4	Механизм привода		ТУ 4555- 8999-88	шт.	1000	71
5	Магнит постоян- ный	28СА400	ГОСТ 6555-88	шт	4000	128
6	Винт М6	6gx50.48	ГОСТ 3321-88	шт.	4 000	7,30
7	Гайка М8	1/25745/11	ГОСТ 7688-86	шт.	8 000	8,30
8	Шайба	252/33(Х- 4001)	ГОСТ 3722-86	шт.	8 000	4,40
9	Болт М8	8gx100	ГОСТ 7668-86	шт.	4 000	8,0
	Итого					724

5.2.16. Стоимость покупных и комплектующих изделий с учетом транспортно-заготовительных расходов

$$C_{ком} = \sum_{i=1}^n S_{ki} \cdot (1 + K_{мз}) = 724 \cdot (1 + 0,06) = 767,44 \text{ руб} \quad (5.15)$$

где  $S_{ki}$  – стоимость  $i$ -го изделия.

### 3 Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт стартера

#### 3.1 Эксплуатация и ремонт стартера

Использование стартера по назначению.

При монтаже стартера на двигателе необходимо:

- удалить со стартера консервационную смазку ветошью, смоченной бензином, и протереть сухим обтирочным материалом;
- установить стартер на двигатель;
- завернуть гайки крепления стартера;
- подсоединить провода к выводам стартера.

Техническое обслуживание

Ежедневно при запуске двигателя контролируется исправность работы стартера. В случае обнаружения сбоев в работе стартера в ближайшем автосервисе необходимо найти и устранить возникшую неисправность.

Один раз в месяц выполняются следующие работы:

- очистка стартера от пыли и грязи;
- продувка сжатым воздухом;
- проверка надежности крепления стартера на двигателе, при необходимости производится подтяжка гаек крепления стартера на двигателе;
- проверка состояния и надежности крепления проводов, подходящих к стартеру, проводов на выводах аккумуляторной батареи и проводов на контактных болтах тягового реле, при необходимости выполняется изоляция провода в местах повреждения изоляции, подтяжка гаек, крепящих наконечники проводов.

В постгарантийный период с интервалом один раз в год (при очередном ТО2) выполняются следующие работы:

- снять стартер с двигателя;
- разобрать, очистить детали от грязи продуть сжатым воздухом, нанести смазку в подшипники;

- проверить техническое состояние: якоря, щеточного узла, обмоток возбуждения, механизма привода, передней и задней крышки, тягового реле.

- на специализированном стенде проверить работоспособность стартера на соответствие требованиям технических условий ТУ 4573-005-24352420-2004 по соответствующей методике. Характеристики стартеров при питании от аккумуляторной батареи ёмкостью 55Ач и температуре окружающей среды  $(25\pm 10)^{\circ}\text{C}$  должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 3.1;

- напряжение включения реле при упоре шестерни привода в прокладку толщиной 11,5-0,1 мм, помещенную между шестерней и упором на валу якоря, должно быть не более 8В. Толщина прокладки –  $(11,5_{-0,1})$  мм;

- напряжение выключения реле должно быть не более 4В.

Таблица 3.1- Данные для проверки стартера

При холостом ходе			При полном торможения		
Напряже-ние на клеммах, В	Потреб-ляемый ток, вместе с реле не более, А	Частота вращения якоря, не менее, мин-1	Напряже-ние на клеммах, не более, В	Потреб-ляемый ток, не более, А	Тормозной момент, не менее, Н•м
11,5+0,5	85	3000	4,5	650	17,5

Эксплуатационные ограничения.

Продолжительность непрерывной работы стартера при неудачных попытках пуска двигателя не должна превышать 10 сек (зимой не должна превышать 15 сек).

При неудачном пуске с первой попытки стартер следует включать повторно не раньше 1÷2мин. После неудачного пуска двигателя перед повторным включением стартера нужно убедиться в полной остановке двигателя.

Стартер следует выключать сразу после пуска двигателя.

Запрещается:

- приводить автомобиль в движение с помощью стартера;

- при подключении аккумуляторной батареи менять полярность подключения;

- мыть стартер струей воды под давлением, дизельным топливом и т.д.;

Запрещается при работающем двигателе:

- включать стартер;

- подтягивать болты и гайки, крепящие стартер к двигателю;

- отсоединять провода, осуществляющие подключение стартера в схему электрооборудования автомобиля;

- проверять работоспособность стартера путем замыкания выводов стартера на корпус и между собой.

Проверять качество изоляции отдельных частей машины (коллектора, якоря, щеткодержателя, обмоток реле) повышенным напряжением следует проводить только на стенде.

Текущий ремонт.

При работе стартера могут возникать различные неисправности. Перечень возможных неисправностей стартера и способы их обнаружения и устранения приведены в [18].

### 3.2 Испытания стартера

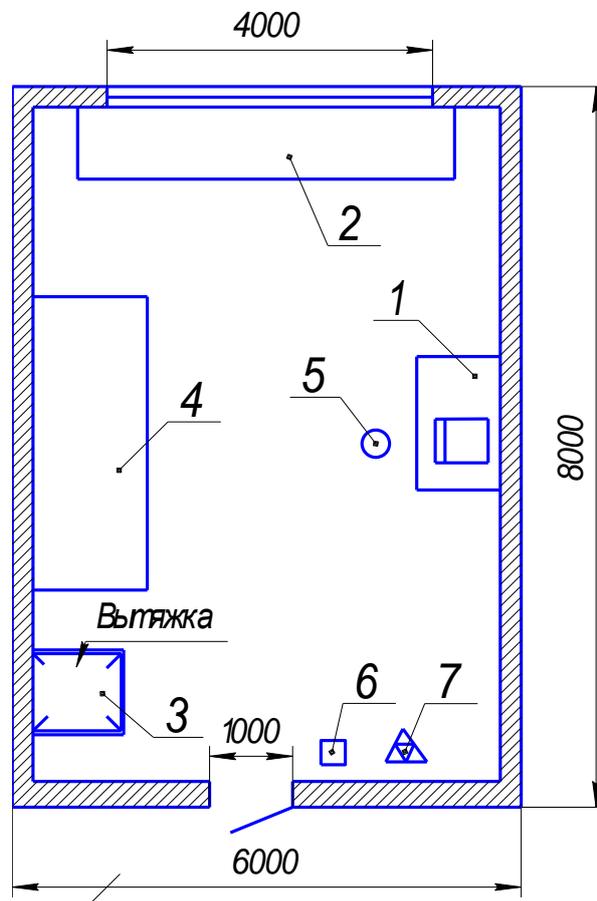
Испытание стартера проводится на участке оборудованном согласно таблицы 3.2

Таблица 3.2- Спецификация оборудования для участка испытания стартеров

Наименование оборудования, инструмента	Работы и операции, выполняемые на этом оборудовании или этим инструментом
1	2
1. Компьютер	Проектирование установок, составление технической документации

1	2
2. Контрольный стол	Проверка отдельных деталей стартера контрольно-измерительными приборами
3. Термошкаф	Подготовка к проверке обмоток
4. Испытательный стенд	Испытание стартера

Согласно ГОСТ 12.2.003–91 план участка испытания электрических машин, в том числе стартера, выполняется с учетом правильного типоразмера и расстановки оборудования (рисунок 3.1).



- 1 - компьютерный стол; 2- контрольный стол; 3- сушильный шкаф;  
 4 - испытательный стенд; 5- стул; 6- контейнер для отходов; 7-  
 огнетушитель

Рисунок 3.1 - Эскиз участка испытания стартеров

Обеспеченность средствами индивидуальной защиты инженера-испытателя представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Обеспеченность средствами индивидуальной защиты инженера-испытателя

Дата проведения оценки	Наименование средств индивидуальной защиты	Документ, регламентирующий требования к средствам индивидуальной защиты	Фактическое значение оценки
Профессия: инженер-испытатель			
14.05.16	Рабочая одежда: костюм летний, брюки – 1 костюм и 1 брюки на год	ГОСТ 12.4.132-83	1
14.05.16	Перчатки х/б – 12 пар на год	ГОСТ 12.4.003-88	1
14.05.16	Ботинки комбинированные юфть-кирза разр. союзк, гвоздевые – 1 пара на год	ГОСТ 28507-90	1

Выполним расчёт искусственного освещения на участке испытания стартера.

При расчёте искусственного освещения последовательно решается ряд вопросов.

1. Выбираем тип источника света- люминесцентные лампы типа ЛХБ40-4 мощностью 40 Вт.

2. Выбор системы освещения- общее.

3. Выбор типа светильника- общего освещения диффузный с экранирующей решеткой типа ОДР.

4. Количество светильников  $N$ , шт, определяется по формуле (3.1):

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (3.1)$$

где  $E$ - минимальная нормируемая освещённость, принимаем  $E=300$  лк.;

$S$ - площадь помещения, принимаем  $S=48$  м<sup>2</sup>;

$k$ - коэффициент запаса, учитывающий старение ламп, запыление и загрязнение светильников, принимаем  $k=1,5$ ;

$z$ - отношение средней освещённости к минимальной, принимаем  $z=1,3$ ;

$\Phi$ - световой поток одной лампы, принимаем для люминесцентные лампы типа ЛХБ40-4  $\Phi=2600$  лм.;

$\eta$ - коэффициент использования светового потока, зависящий от коэффициента полезного действия светильника, коэффициента отражения потока, стен, высоты подвеса светильников и размеров помещения.

Индекс помещения  $i$  определяется по формуле (3.2):

$$i = \frac{b \cdot l}{h(b + l)}, \quad (3.2)$$

где  $b$ - ширина помещения, принимаем  $b=6$  м;

$l$ - длина помещения, принимаем  $l=8$  м;

$h$ - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, принимаем  $h=6$  м.

$$i = \frac{6 \cdot 8}{6(6 + 8)} = 0,57.$$

Для полученного индекса помещения определяем коэффициент использования светового потока  $\eta=0,7$  [приложение 2, Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. - М.: Энергоатомиздам, 1983.- 472 с].

Определяем требуемое количество светильников

$$N = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,3}{2600 \cdot 0,7} = 7,7$$

Для выполнения проектировочной схемы расположения светильников принимаем расстояние между соседними светильниками  $L=2$  м; расстояние от крайних светильников до стен  $l=1$  м (см. рисунок 3.2). Согласно выбранным расстояниям на помещение с габаритными размерами  $6 \times 8$  м. необходимо 8 светильников.

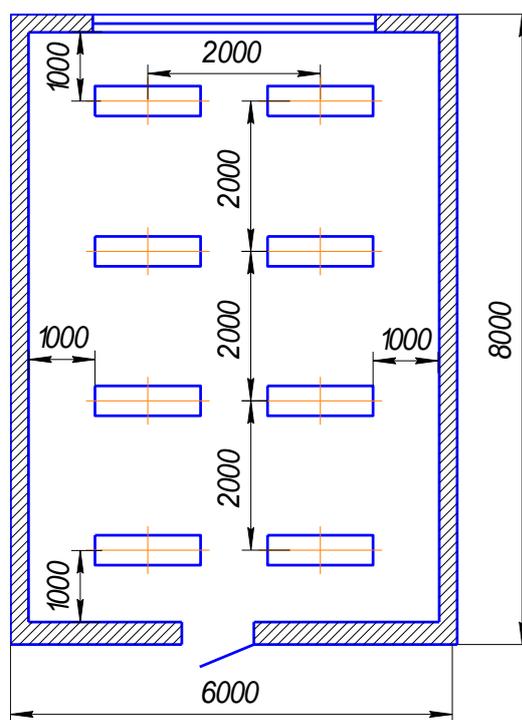


Рисунок 3.2- Проектировочная схема расположения светильников

## Заключение

В соответствии с техническим заданием был разработан автомобильный стартер, предназначенного для использования на автомобилях ВАЗ-2190 «Гранта» и их модификациях.

Конструктивные преимущества проектируемого стартера следующие:

- повышение частоты вращения на выходном валу стартера, вследствие применения шестиполюсной магнитной системы, что позволяет через планетарный редуктор получить на выходном валу больший крутящий момент при меньшем энергопотреблении;

- увеличение сечения токопроводящих жил щётчного-коллекторного узла уменьшает потери на них, а следовательно снижает общее потребление энергии стартером;

- увеличение площади медных контактов втягивающего реле снижает потери мощности и повышает надёжность работы.

По результатам поверочного расчета стартера были построены его рабочие характеристики, подобраны основные материалы, комплектующие изделия, необходимые для модернизации стартера, подобрано оборудование участка испытания стартеров и выполнен расчет его освещения.

## Список используемых источников

1. Электрооборудование автомобилей [Электронный ресурс]/ Системы современного автомобиля. Электрон. дан. – режим доступа: <http://systemsauto.ru/electric/electric.html> – Дата обращения 05.06.2016 г.
2. Ильин, В.Е. Электрооборудование автомобилей / Н.М. Ильин. – М: За рулем, 2010 г.– 480 с
3. Электрооборудование автомобилей [Электронный ресурс]/ Конструкция и строение автомобиля. Электрон. дан. – режим доступа: <http://autoustroistvo.ru/elektrooborudovanie/>– Дата обращения 05.06.2016 г.
4. Бут, Д.А. Бесконтактные электрические машины / Д.А. Бут – М: Академия, 2006 г.- 255 с.
5. Фесенко, М.Н. Теория, конструкция и расчет автотранспортного электрооборудования / М.Н. Фесенко. – М: Академия, 2009 г.- 343 с.
6. Туревский, И.С. Электрооборудование автомобилей / И.С. Туревский – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008.- 368 с
7. Чижков, Ю. П. Электрооборудование автомобилей / Ю.П. Чижков – М.: За рулем, 2012.- 398 с.
8. Андреев, В.Г. Бесконтактные синхронные генераторы с внутри замкнутым магнитопроводом: учебн. пособ. / В.Г. Андреев. – М.: изд. МАИ, 2008 г.- 127 с.
9. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам / И.П. Копылов.– М: Энергия, 2008 г.- 360 с.
10. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов – М: Энергия, 2008 г.- 456 с.
11. Балагуров, В.А. Проектирование электрических машин переменного тока / В.А. Балагуров. – М: Энергия, 2006 г.- 420 с.
12. Морозов, А.Г. Расчет электрических машин постоянного тока / А.Г. Морозов. – М: Энергия, 2007 г.- 264 с.
13. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов.– М: Энергия, 2008 г.- 422 с.

14. Пятин, Ю.М. Постоянные магниты. Справочник / Ю.М.Пятина. – М: Энергия, 2010 г.- 488 с.
15. Набоких, В.Ю. Электрооборудование автомобилей / В.Ю. Набоких.– М.: За рулем, 2011г.- 287 с.
16. Сборка, регулировка и испытание стартера [Электронный ресурс]/ Электрон. дан. – режим доступа: [http://www.automotokom.ru/sborka\\_regulirovka\\_i\\_ispytanie\\_starterov.html](http://www.automotokom.ru/sborka_regulirovka_i_ispytanie_starterov.html)– Дата обращения 01.06.2016 г.
17. Проверка работы стартера [Электронный ресурс]/ Автомобильный портал. Электрон. дан. – режим доступа: <http://www.avtokeb.ru/provstar.html>– Дата обращения 25.05.2016 г.
18. Automotive Handbook BOSH, 4th edition. Robert Bosch GmbH 1996 , 892 pages.
19. Electric Vehicle Technology Explained, 2nd Edition by James Larminie, John Lowry, August 2012, 340 pages, ISBN: 978-1-119-94273-3.
20. Build Your Own Electric Vehicle, Third Edition 3rd Edition by Seth Leitman (Author), Bob Brant (Author), April 2010, 210 pages, ISBN-13: 978-0071770569.
21. Electric Car Books: Buyers Guides and Conversion Manuals. Electric Car Guide, 2015, ISBN-13: 978-1907670381.
22. Electric Motors and Control Techniques (Paperback) by Irving Gottlieb, 2008, ISBN-10: 0070240124.