

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ
АККУМУЛЯТОРНЫХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Электронные учебно-методические материалы для студентов по специальности
6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических
машин и комплексов», «Техническая эксплуатация автомобилей и автосервис»,
для самостоятельного изучения

Электронные учебно-методические материалы

Авторы:

к.в.н. В.В. Савлучинский, доцент, к.т.н. В.М. Изоитко, к.т.н. И.А.Серебряков,
А.Д. Куц, И.В.Горнак, Е.А. Лагун.

Рецензенты:

Зав. кафедрой моделирования и проектирования учреждения образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет» к.п.н.,
доцент Н.Г.Серебрякова.

Доцент кафедры ТЭА автотракторного факультета «Белорусский
национальный технический университет» кандидат технических наук, доцент
К.В. Буйкус

В работе разработаны рекомендации по выявлению закономерностей при установке электрической силовой установки и электротрансмиссии на аккумуляторное и гибридное транспортное средство.

Белорусский национальный технический университет
Пр-т Независимости, 59, г. Минск, Республика Беларусь
Тел (017) 292-85-90

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Обзор исследований связанных с видением задачи установки электротрансмиссии на гусеничную и колесную машину.	8
Глава 2. Обоснование параметров проверки в системе технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств.	29
Глава 3. Разработка рекомендаций по выбору параметров технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств.	49
Заключение	74
Литература	76
Приложение А1. Лабораторная работа «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий».	79
Приложение А2. Диагностическая карта транспортного средства.	89

ВВЕДЕНИЕ

Электронные учебно-методические материалы для студентов по специальности 6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов», «Техническая эксплуатация автомобилей и автосервис», для самостоятельного изучения являются логическим продолжением работ «Контроль параметров аэроионного состава воздуха внутри автомобиля, с сигнализацией о присутствии опасных условий», «Актуализация задачи создания сигнализатора для раннего предупреждения о энерго-информационном воздействии на личный состав силовых структур», «Оценка влияния интенсивности движения автотранспорта на возможность появления коллоидальной неустойчивости в атмосфере как составляющей задачи управления процессами конденсации при создании и применении систем влияния на погоду», «Влияние энерго-информационного воздействия на безаварийную эксплуатацию электромобиля», «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий» выполненной на автотракторном факультете БНТУ, [1, 2, 3, 4].

Аккумуляторные и гибридные транспортные средства с электромеханической трансмиссией могут являться перспективным направлением развития военной, гражданской, сельскохозяйственной, промышленной и другой техники. Они обладают рядом преимуществ перед традиционными гусеничными машинами с механической трансмиссией, таких как: высокая эффективность передачи мощности, плавность хода, маневренность, высокая точность управления скоростью и тяговым усилием, возможность рекуперации энергии при торможении, снижение уровня шума и вибрации, упрощение конструкции и обслуживания, обеспечение оптимального режима работы двигателя внутреннего сгорания.

Основные показатели, влияющие на подвижность транспортных средств это энергетические показатели; габаритно-объемные показатели; динамические показатели; топливная экономичность; количество возимого топлива. Все эти показатели влияют на среднюю техническую скорость, запас хода и основные эксплуатационно – технические характеристики, такие как время подготовки двигателя к работе под нагрузкой; периодичность, объем и время обслуживания; безотказность, долговечность, ремонтпригодность; способность работать в различных условиях; управляемость, диагностика через контрольно - измерительные приборы, уровень шума и вибрации; способность работать на различных энергоносителях.

В общем случае электромеханическая трансмиссия аккумуляторных и гибридных транспортных средств с электромеханической трансмиссией конструктивно состоит из электрических машин (генератора и электродвигателя), преобразователя, механического привода и системы управления. Электродвигатель преобразует электрическую энергию, получаемую от генератора в механическую. Электронный преобразователь регулирует напряжение и частоту тока, подаваемого на электродвигатель. Механический привод передает крутящий момент от электродвигателя к ведущим колесам. Система управления обеспечивает согласованную работу

всех элементов электромеханической трансмиссии. Есть три основные схемы гибридных электро-механических трансмиссий: последовательная, параллельная и смешанная. На гусеничных машинах обычно применяются параллельная или смешанная.

К основным преимуществам относятся бесступенчатое изменение скорости без разрыва потока мощности, высокие показатели маневренности, низкий уровень шума и вибрации.

Применение электромеханической трансмиссии на гусеничных машинах может способствовать созданию современной высокопроизводительной машины, предназначенной для выполнения широкого спектра сельскохозяйственных и промышленных работ. Наиболее перспективной является схема с использованием двух тяговых электродвигателей на каждую сторону транспортного средства. Это позволяет обеспечить плавное и бесступенчатое регулирование скорости движения в различных диапазонах, без разрыва потока мощности, что повысит маневренность, управляемость и эффективность работы.

Среди преимуществ использования электромеханической трансмиссии на гусеничной машине являются обеспечение оптимального режима работы двигателя внутреннего сгорания при различных нагрузках на техническое средство, снижение шума и вибрации (электромеханическая трансмиссия работает тише и с меньшей вибрацией, чем традиционные механические трансмиссии). Также повышение топливной эффективности, снижение выбросов в окружающую среду, отсутствие дополнительных фрикционных механизмов поворота, что упрощает конструкцию, возможность реализации рекуперации энергии, увеличенный срок службы (электрические компоненты имеют более длительный срок службы, чем механические узлы, что снижает эксплуатационные расходы).

Благодаря переходу от аналогового управления к использованию блоков управления на базе процессоров с обратной связью появляется возможность внедрения беспилотного управления. В перспективе переход от использования асинхронных тяговых электродвигателей на электродвигатели синхронного типа (бесщеточные), так как отсутствуют узлы трения, требующие обслуживания и замены в случае износа, более высокий ресурс, большой пусковой момент и перегрузочная способность по моменту, более высокий КПД (80–90 %), меньшие пусковые токи [5].

Преимущество электромеханической трансмиссии в её простоте, возможности очень точной регулировки оборотов электродвигателей и как следствие – плавные повороты, развороты на месте, симметричный задний ход (равный скорости переднего хода), электропередача, подобно гидравлической передаче потоком, является непрерывной и автоматической: скорость движения и сила тяги устанавливаются автоматически в зависимости от сопротивления движению.

Преимущества:

Наличие автоматической непрерывности регулирования передаточного отношения трансмиссии в полном диапазоне скоростей движения от 0 до $V_{\max}$ ($y = \infty$) при возможности использования электротрансмиссии для длительной

работы (при полной мощности теплового двигателя). Указанная непрерывность может быть достигнута ручным бесступенчатым или ступенчатым управлением электропривода за счет использования гибкости характеристики теплового двигателя, благодаря чему диапазон длительного регулирования силовой установки может быть увеличен до $u = 4$ и выше. Машина с электротрансмиссией автоматически приспосабливается к изменяющимся условиям грунта.

Легкость управления машиной благодаря большой маневренности на средних и высоких скоростях движения и проста в управлении.

Повышение стабильности заданного режима теплового двигателя (почти полная независимость его от нагрузки трансмиссии, т. е. условий грунта) и, как следствие, увеличение средней скорости движения машины, уменьшение расхода топлива тепловым двигателем и увеличение запаса хода машины, повышение срока службы теплового двигателя, отсутствие возможности перегрузки теплового двигателя и его остановки.

Наличие в машине с электротрансмиссией хороших динамических характеристик. Разгон машины производится без каких-либо переключений, что приводит к получению больших ускорений и сокращает время разгона. Значительно увеличивается надежность в работе и долговечность, чем у любого другого вида трансмиссии.

Легкость компоновки в связи с отсутствием механической связи дизель-генератора с грузовым валом (тяговыми электродвигателями).

Всё более востребованными являются преимущества, которые может предоставить электродвижение наземной технике:

- возможность гибкой компоновки машины из-за отсутствия в электротрансмиссии агрегатов с жёсткой механической связью, обеспечиваемой валами;
- повышенная живучесть техники из-за возможности резервирования компонент электротрансмиссии;
- возможность отказа от пожароопасных гидравлических приводов в пользу электрических;
- возможность рекуперации электроэнергии при торможении;
- лучшие динамические характеристики и параметры проходимости техники, оснащённой электротрансмиссией;
- большую простоту управления техникой с электродвижением;
- возможность обеспечения достаточным количеством электроэнергии всё возрастающего количества оборудования, сенсоров.

Основной источник энергии — дизель или газовая турбина, в машинах с электротрансмиссией будут иметь большой ресурс и экономичность за счёт того, что изначально могут быть выбраны оптимальные обороты двигателя, при которых он будет иметь минимальный износ и максимальную топливную эффективность. Повышенные нагрузки при разгоне и энергичном маневрировании будут компенсироваться буферными аккумуляторными батареями.

К примеру, в комплексе с генератором может быть установлена высокооборотная газовая турбина, которая будет работать в режиме «включена

/выключена» для подзарядки буферных аккумуляторных батарей, без изменения частоты вращения.

В электротрансмиссии отсутствует необходимость установки громоздких валов и редукторов. Механическая связь в электротрансмиссии имеется только в парах двигатель - электрогенератор и электродвигатель - колесо, но эти блоки могут быть выполнены в виде единого агрегата. Соединение остальных агрегатов может реализовываться гибкими кабелями.

В отличие от механических связей, электрические соединения могут быть многократно резервированы. К примеру, на этапе компоновки корпуса могут быть заложены защищённые кабель - каналы, в которых будет размещаться универсальная шина питания и передачи данных, включающая силовые и информационные кабели.

Создание машин с электродвижением, скорее всего, станет неизбежным по мере совершенствования технологий и повышения требований к энергоснабжению бортового оборудования. Перспективные машины с электротрансмиссией будут превосходить «классические» образцы по динамичности, проходимости, удобству управления, живучести и защищённости, а также по возможности размещения на них перспективного оборудования и сенсоров с высоким энергопотреблением.

В учебных-методических материалах для студентов по специальности 6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов», «Техническая эксплуатация автомобилей и автосервис», для самостоятельного изучения приведены исследования параметров системы технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств.

В работе выявлены закономерности в параметрах эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств, которые могут указывать на наличие неисправности в электромобиле. Осуществлена разработка рекомендаций по ремонту в зависимости от выявленных закономерностей в параметрах технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссий аккумуляторных и гибридных транспортных средств. Разработан проект лабораторной работы для подготовки специалистов по специальности 6-05-0715-07 «Эксплуатация наземных транспортных и технологических машин и комплексов», «Техническая эксплуатация автомобилей и автосервис» и вариант лабораторной работы «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салоне автомобиля».

ГЛАВА 1 ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗАННЫХ С ВИДЕНИЕМ ЗАДАЧИ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ НА ГУСЕНИЧНУЮ И КОЛЕСНУЮ МАШИНУ

На большинстве пневмоколесных машин различного назначения устанавливаются механические трансмиссии.

Механические трансмиссии отличаются относительной простотой конструкции, стабильным коэффициентом полезного действия вследствие передачи энергии от первичного двигателя к колесам без преобразования в другие виды энергии, а также сравнительно небольшим весом и стоимостью. В транспортных и строительно-дорожных пневмоколесных машинах вес механических трансмиссий обычно не превышает 15-20% грузоподъемности шин. В свою очередь основными недостатками механических трансмиссий являются ступенчатое регулирование скорости и зависимость конструкции трансмиссии от особенностей машин: мощности двигателя, диапазона регулирования скорости, числа ведущих осей (колес), конфигурации рамы, конструктивной схемы шасси.

Вследствие первого недостатка не удается полностью использовать мощность двигателя, что ухудшает производительность машин. Применение турботрансформатора существенно снижает воздействие динамических нагрузок на машину во время работы, вследствие чего уменьшается износ двигателя и узлов трансмиссии. Вес трансмиссии с турботрансформатором несколько больше, а коэффициент полезного действия в среднем на 10-15% ниже по сравнению с весом коэффициентом полезного действия механической трансмиссии.

Кинематические схемы машин с электрическими трансмиссиями значительно проще, особенно при встраивании электродвигателей в колеса.

В книге Н. А. Погарского [6] рассматриваются особенности конструкций трансмиссий с индивидуальным электроприводом колес, возможные схемы соединения главной цепи электрических машин и схемы автоматизированных узлов управления, схемы трансмиссий постоянного тока при статическом и динамическом режимах работы.

Вопросы дальнейшего развития и совершенствования пневмоколесных транспортных средств, связанные с повышением их производительности и проходимости, приобретают все большую актуальность.

На машинах грузоподъемностью до 30-40 т. наибольшее распространение получили механическая и гидромеханическая трансмиссии. С повышением грузоподъемности и числа ведущих осей их использование становится затруднительным. Наиболее перспективной, а для определенного класса машин единственно приемлемой системой передачи является электрическая трансмиссия и особенно ее конструктивная модификация – индивидуальная - мотор - колесный привод.

В книге Ефремова И. С., Пролыгина А.П., Андреева Ю. М., Миндлина А.Б. рассмотрены вопросы теории и проектирования электрических трансмиссий постоянного и переменного тока для пневмоколесных транспортных средств с автономным источником энергии. Изложена методика расчета характеристик регулирования генераторов и двигателей мотор-колес в тяговом и тормозном

режимах. Особое внимание уделено частотному управлению тяговыми асинхронными двигателями. Приведены специфические особенности работы тиристорных преобразователей частоты и электрических трансмиссий переменного тока. Рассмотрены принципы построения систем автоматического регулирования электрических трансмиссий [7].

В связи с различными колебаниями нагрузки промышленного трактора важное значение для него приобретает возможность автоматического регулирования тяговых усилий и скоростей движения в широком диапазоне при относительной стабилизации нагрузки теплового двигателя за счет его работы в режимах высокой экономичности работы трактора независимо от квалификации и опыта водителя. Решение этой задачи достигается применением непрерывных многоступенчатых электромеханических трансмиссий.

В книге Исакова П.П., Иванченко П.М., Егорова А.Д. изложены вопросы выбора схем непрерывных электромеханических трансмиссий промышленных гусеничных тракторов и вопросы оптимизации схем управления. Рассмотрены алгоритмы исследования на ЭВМ сложных тягово-динамических процессов, протекающих в силовой установке при работе трактора [8].

Электрические трансмиссии привлекали внимание по двум причинам. Одна из них заключалась в том, что генераторы и электродвигатели постоянного тока при их сочетании обеспечивали удобный способ передачи мощности от двигателя к гусеницам. Электрическая трансмиссия также обеспечивала требуемые бесступенчатые характеристики изменения моментов на ведущих колесах в зависимости от скорости движения.

В книге В. Н. Богоявленского дан анализ автоматических схем электрических трансмиссий и методики их расчета. Работа является первым опытом по обобщению теории и расчета электрических трансмиссий. В книге автором сделана попытка на базе экспериментального и теоретического материала дать углубленную и систематическую методику необходимую при анализе электротрансмиссий различных систем [9].

В книге Е.Е. Александрова, В. В. Елифанова «Электрические и электромеханические трансмиссии самоходных гусеничных машин» рассмотрены основы теории и расчета различных типов электрических трансмиссий, используемых на самоходных гусеничных машинах. Приведены математические модели потерь мощности в полно- и двухпоточных электрических трансмиссиях. Изложены алгоритмы тягового расчета самоходных гусеничных машин с электрическими трансмиссиями [10].

В сборнике И. Б. Свещинского «Тяговые электрические трансмиссии переменного тока строительных, дорожных и транспортных машин» приведено краткое описание различных типов тяговых электрических трансмиссий переменного тока применяемых на строительных, дорожных и транспортных самоходных машинах с колесными и гусеничными движителями, рассмотрены основные методы регулирования скорости тяговых электроприводов переменного тока, а также некоторые перспективные схемы тягового электропривода переменного тока [11].

В книге О.А. Ставрова «Электромобили» рассматриваются аккумуляторные электромобили, электромобили на топливных элементах, их преимущества и перспективность. Приводятся сведения о применении аккумуляторных электромобилей, подробно рассматриваются технические параметры, конструкция и эксплуатационные свойства электромобилей [12]. В приложении А1 приведен проект лабораторной работы «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий».



Рисунок 1 – Вредное воздействие электромагнитных полей.

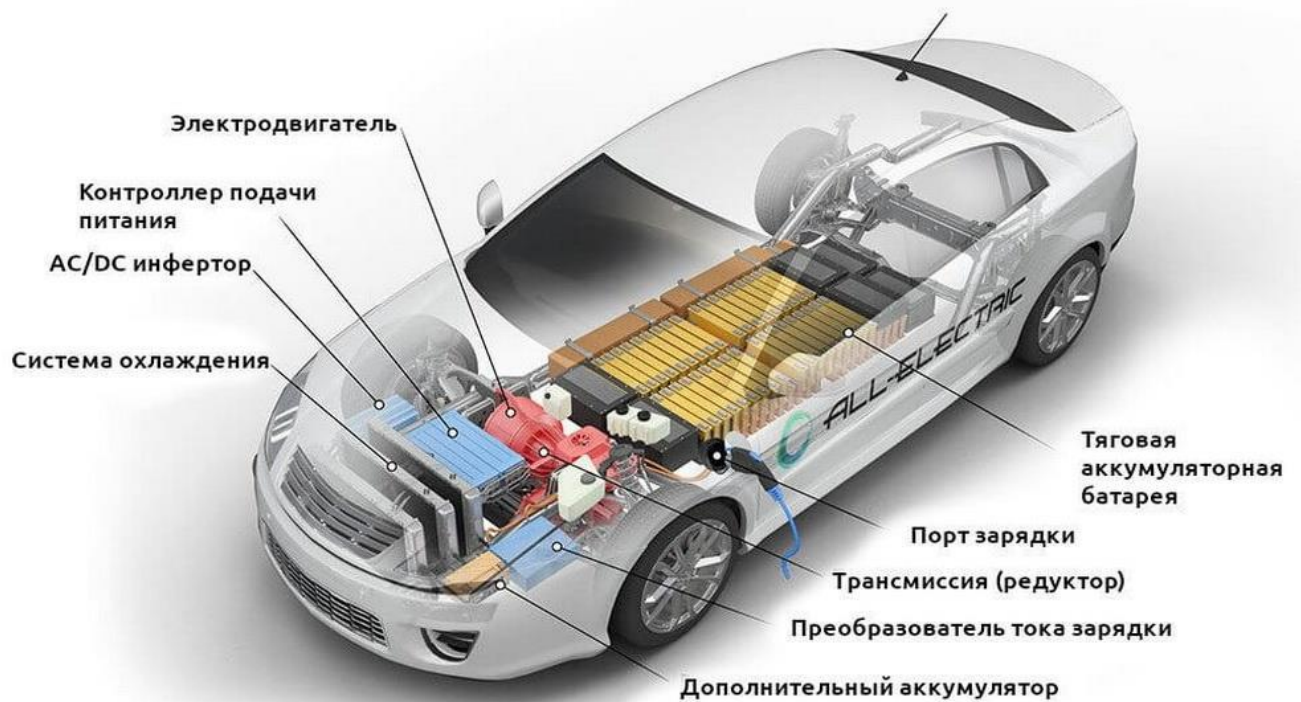
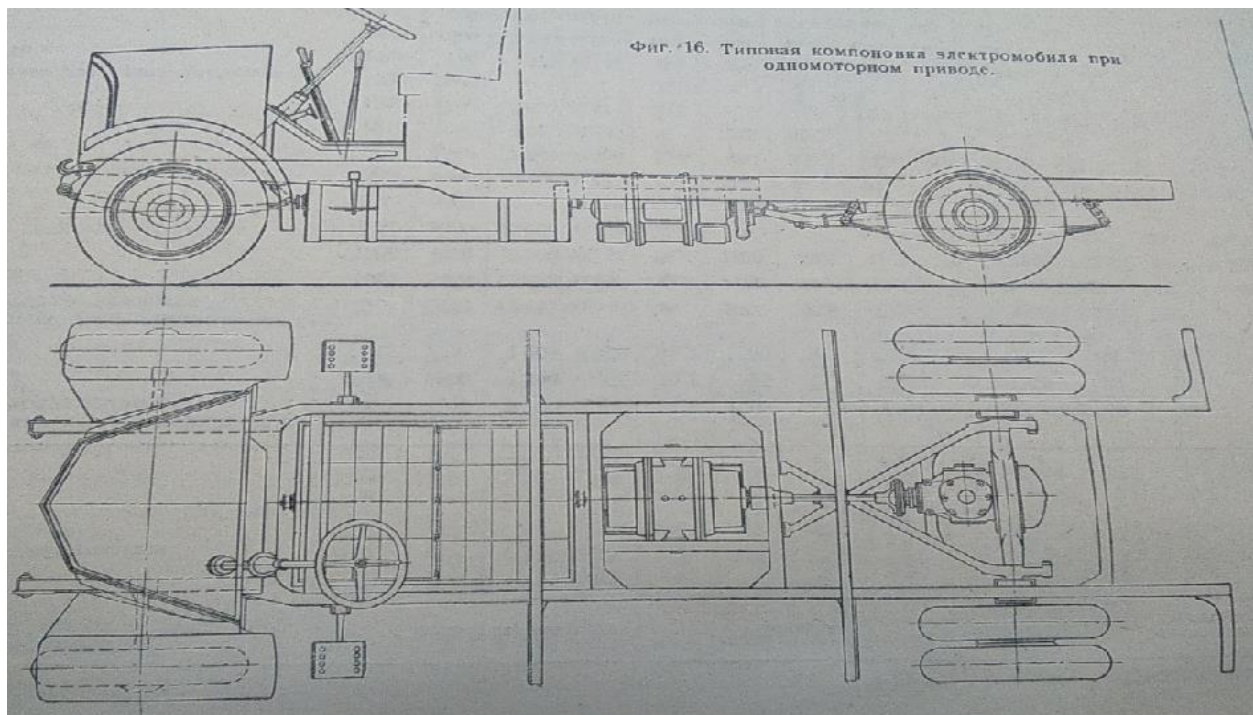


Рисунок 2 – Типовая компоновка электромобиля [13]

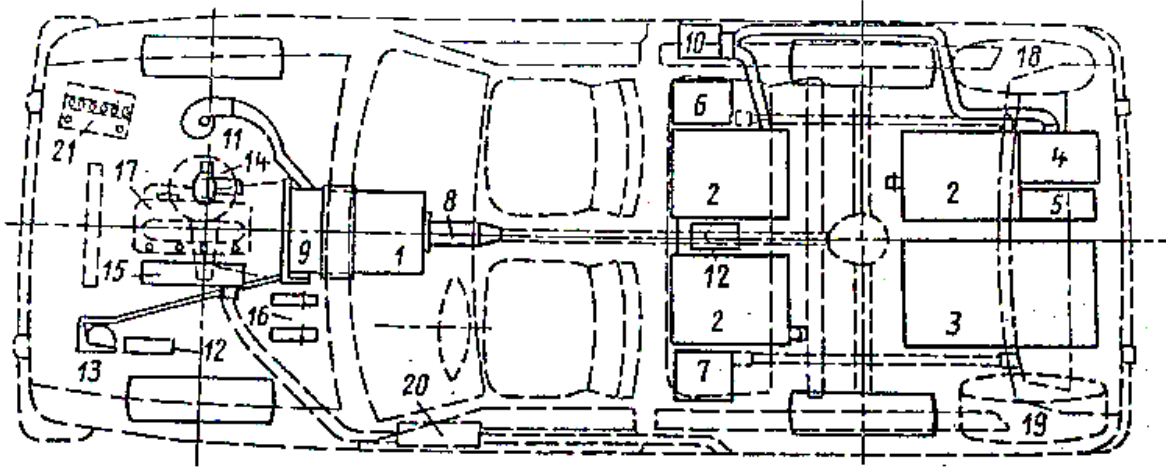
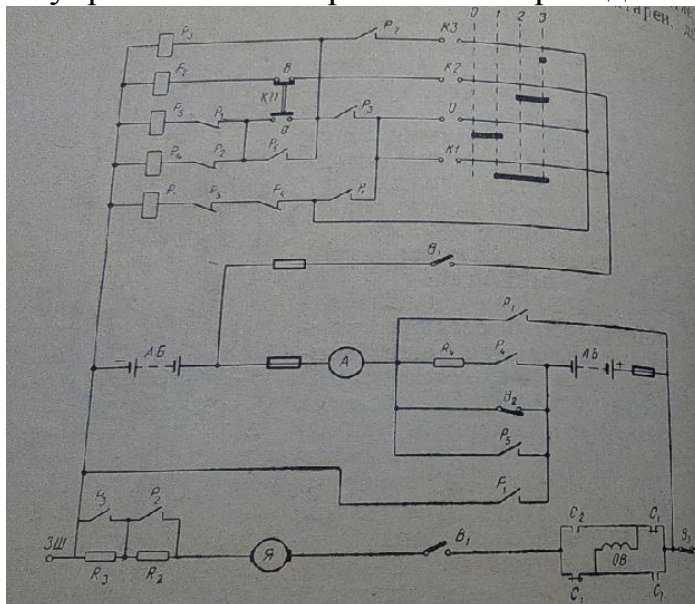


Рисунок 3 – Размещение основных агрегатов на электромобиле фирмы Bosch: 1- электродвигатель, 2- батареи, 3- электроника управления, 4 - преобразователь для заряда батареи 12В, 5- дроссельная катушка, 6- предохранитель, 7- главный выключатель, 8 – сцепление, 9 – фрикционное сцепление, 10 - вентилятор охлаждения батарей, 11 – вентилятор охлаждения электродвигателя, 12 – переключатель, 13- механизм выключения сцепления, 14 – карбюратор, 15 – термический дожигатель, 16- педали дроссельной заслонки и тормоза, 17- бензиновый двигатель, 18 – бензобак, 19 – запасное колесо, 20- глушитель, 21- аккумуляторная батарея 12 В [14].

Из рисунков 3, 4 видно, что батарея помещается под водителем, а ток течет фактически по всему автомобилю, превращая машину в заряженный контур. Схемы управления электромобилем приведены на рисунке 5.



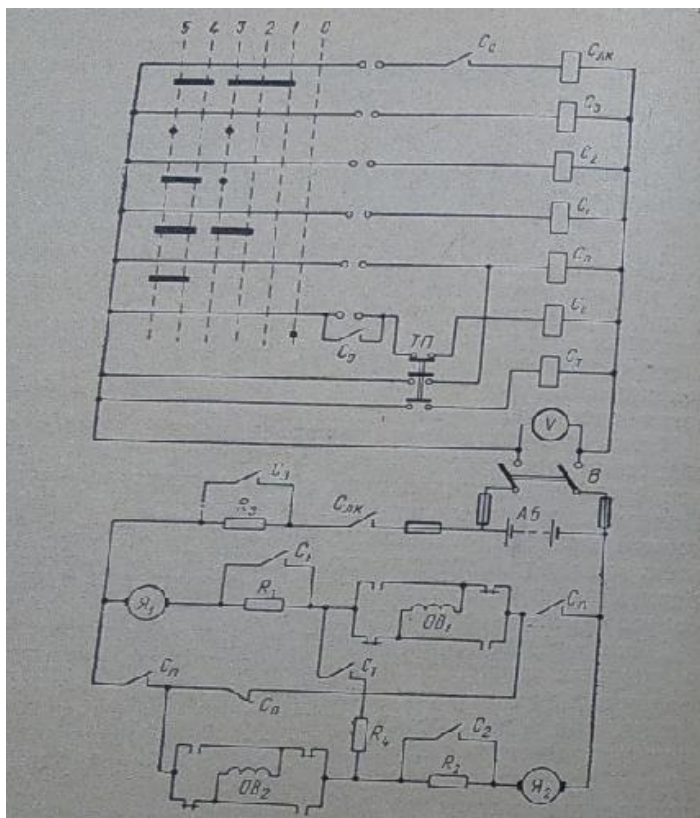


Рисунок 4 – Схемы управления электромобилем.

Из рисунка 4 видно, что в схемах управления электромобилем [15] присутствует значительное количество контакторов, при работе которых могут появляться условия для возникновения внутри автомобиля магнитных полей, влияющих на электромагнитную безопасность водителей и пассажиров, так как в технике автоматического контроля широкое применение получило двоично-десятичное представление числа, которое технически реализуется контакторами [16].

На рисунке 5 представлено оборудование, которое создает условия для возникновения внутри электромобиля магнитных полей.

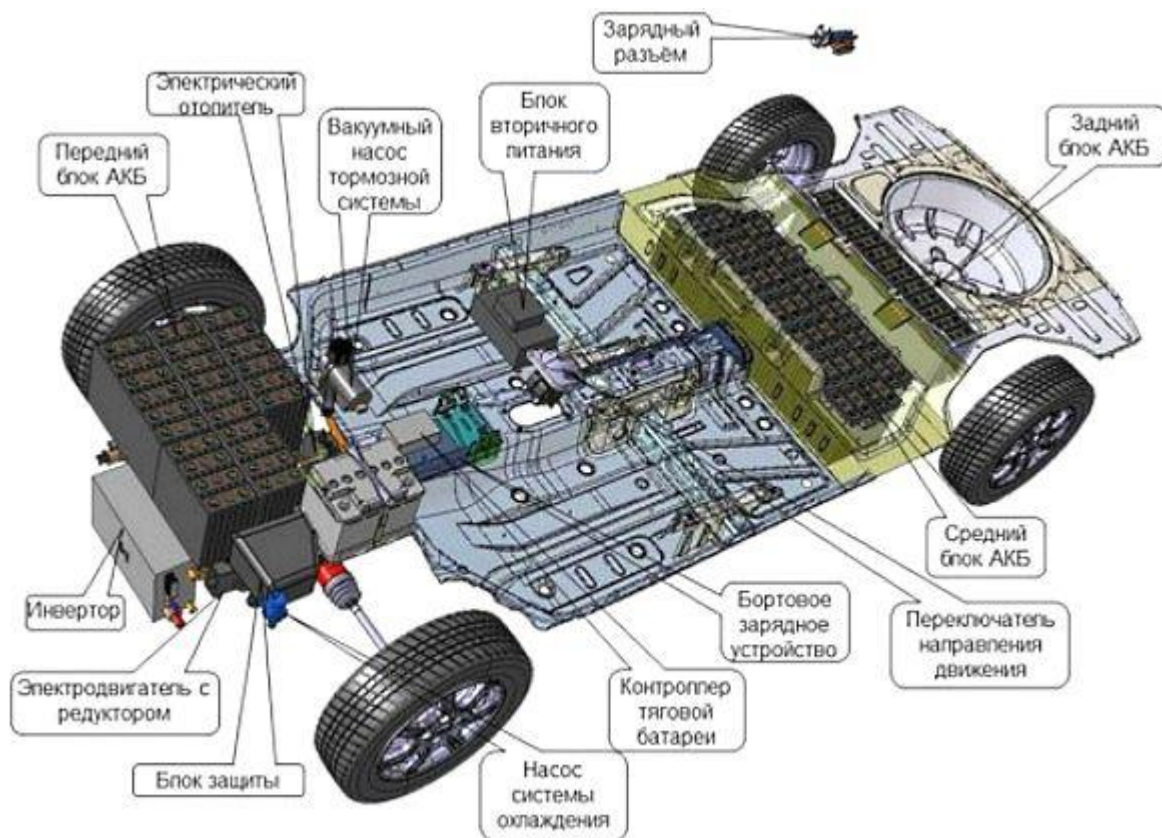


Рисунок 5 – Оборудование, которое создает условия для возникновения внутри электромобиля магнитных полей.

В электромобилях, как правило, отсутствует коробка передач, поэтому регулирование общей мощности и крутящего момента должно обеспечиваться электроприводом, притом в широких диапазонах. В последнее десятилетие для привода электромобилей используются синхронные машины с постоянными магнитами, что само по себе создает условия для появления слабых магнитных полей, опасное действие которых наименее изучено биофизикой.

В приложении А2 приведена диагностическая карта транспортного средства, являющейся обязательным документом при проведении технического осмотра после истечения гарантийного срока на автомобиль, в которой отражаются параметры автомобиля такие как параметры тормозной системы, параметры рулевого управления, параметры внешних световых приборов, параметры стеклоочистителей, параметры колес и шин, параметры двигателя и его систем, параметры других элементов конструкции автомобиля, но не указаны особенности конструкции силовых элементов подлежащих обязательной проверке, которые приводят автомобиль в движение, таких как электродвигатель, применительно к электромотобилу и агрегата дизельный или бензиновый двигатель с генератором, обеспечивающим работу мотор колес и собственно мотор колес.

Рекомендации по включению параметров проверки электромобилей и особенно гибридов в диагностическую карту транспортного средства, может быть объектом данного исследования в части характеристик и параметров технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии гусеничной и колесной машины, которые подлежат обязательному документированию. В том числе выявление проблем,

полученных по опыту эксплуатации электромобилей, таких как обеспечение электромагнитной безопасности водителя и пассажиров; влияние электромагнитного поля на область, где находится водитель применительно к электромобилям, что может влиять на скорость реакции водителя; влияние электромобиля на водителя на клеточном уровне, где низкочастотные электромагнитные колебания приводят к тому, что клетки организма получают ионный заряд, в результате химические процессы в организме нарушаются, ткани перестают получать в должном объеме кислород для питания, водитель становится вялым, плохо ориентируется в пространстве, проявляет раздражительность, что естественно может влиять на скорость его реакции; ситуация, когда сильное действие электромагнитных полей проявляется в электрокарах гибридного типа, в которых аккумуляторная батарея помещается под задним сидением или в багажном отделении, а ток течёт фактически по всему автомобилю, превращая машину в заряженный контур.

Исследование Национальной Академии безопасности дорожного движения выявило потенциальную опасность одновременного нарушения изоляции высоковольтной шины обособленных ограждений, при котором водитель электромобиля может получить опасные уровни поражения электрическим током при прямом контакте с ограждениями. На рисунке 6 изображен сценарий непрямого контакта.

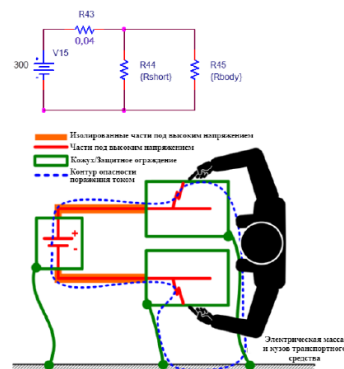


Рисунок 6 – Сценарий непрямого контакта.

Из рисунка 6 видно, что при нарушении изоляции и выходе на корпус электромобиля возможны негативные последствия для водителя электромобиля и пассажиров.

В Государственном стандарте Республики Беларусь [17] введено понятие электрическая изоляция высоковольтного источника в транспортном средстве, поддержание надлежащего уровня электрической изоляции обеспечивает положение, при котором высоковольтная система не использует непосредственно массу, чтобы закольцевать (или замкнуть) цепь. Иными словами, при нарушении изоляции и выходе на корпус электромобиля возможны негативные последствия для водителя электромобиля и пассажиров. В стандарте TS 60479-1:2005МЭК представлены данные по физиологической реакции человека на прохождение через его тело тока в разбивке по временным интервалам.

Интересен эксперимент, изложенный в книге Н. Винера «Кибернетика» [18] при помощи методов, применяемых в теории сервомеханизмов для определения частоты колебаний получены частоты, при появлении которых,

возникают клинические судороги в мышцах, что может оказать влияние на физиологическое состояние водителя автотранспортного средства. Эти частоты от 7 до 30 Гц с явными результатами в пределах 12-17 Гц.

На рисунке 7 представлены допустимые по показателю время/ток зоны воздействия переменных токов (15-100 Гц) на тело человека при прохождении тока по петле «левая рука – нога».

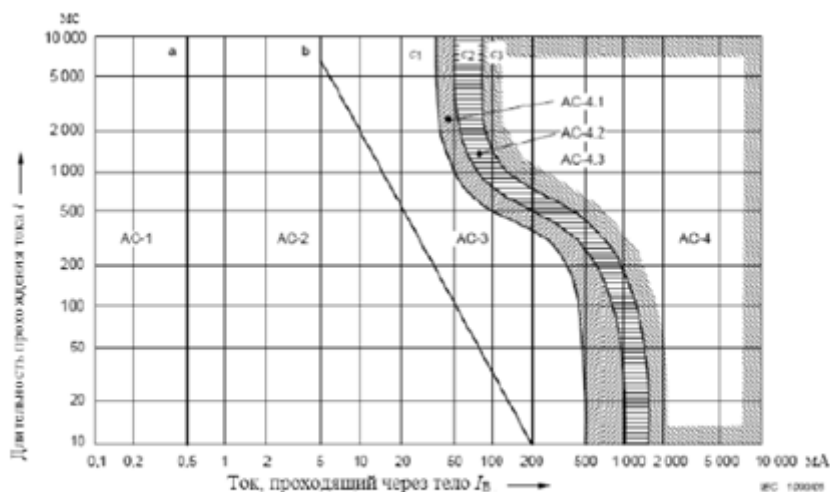


Рисунок 7 – Допустимые по показателю время/ток зоны воздействия переменных токов (15-100 Гц) на тело человека при прохождении тока по петле «левая рука – нога».

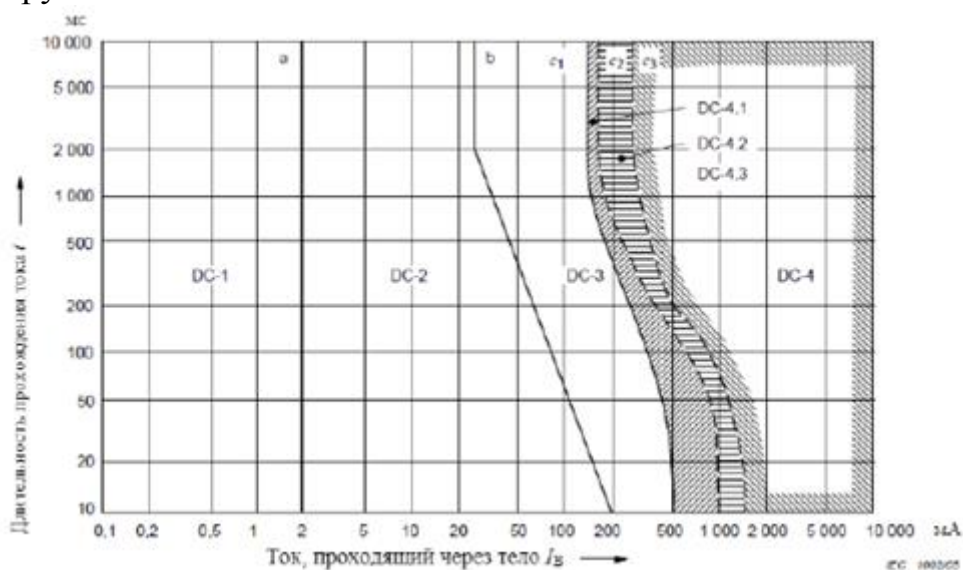


Рисунок 8 – Допустимые по показателю время/ток зоны воздействия постоянных токов на тело человека при прохождении тока по петле «левая рука – нога».

Если допустить, что зоны AC-2 и DC -2 отражают аналогичные виды физиологической реакции, то логично ожидать одинаковую реакцию на верхней и нижней границах. Если впоследствии свести анализ к оценке наиболее опасной длительности (10 с), тогда точки вдоль линии 10-секундной длительности в зоне 2 будут представлять собой градиацию физиологической реакции между двумя границами. Таким образом, соответствующие точки

вдоль этих линий в зонах АС-2 и DC – 2 могут быть картированы и представлять собой наилучшую оценку вероятной физиологической ответной реакции.

Можно провести параллель между показателем время/ток зоны воздействия постоянных токов на тело человека при прохождении тока по петле «левая рука – нога» наиболее опасной длительности (10 с), когда линия 10-секундной длительности дает физиологическую реакцию водителя подобную реакции водителя находящегося под влиянием алкоголя или импульсного магнитного поля с увеличением физиологической реакции до 18 с, соответственно тормозной путь составит минимум 70 и более метров.

Машины с электротрансмиссией обладают лучшими характеристиками подвижности и управляемости за счёт бесступенчатой передачи мощности на движители, а также гибкого распределения мощности между электродвигателями левого и правого борта. К примеру, во время разворота снижение мощности на электродвигателе отстающего борта компенсируется увеличением мощности электродвигателя забегающего борта.

Одним из важнейших преимуществ электротрансмиссии это возможность обеспечения электропитанием оборудования и сенсоров при появлении новых аккумуляторов с увеличенной ёмкостью, высокой скоростью зарядки и расширенным температурным диапазоном применения, более эффективные и компактные электродвигатели, с интегрированными коробками передач, которые могут быть размещены в мотор колёсах с малой неподрессоренной массой и другие разработки.

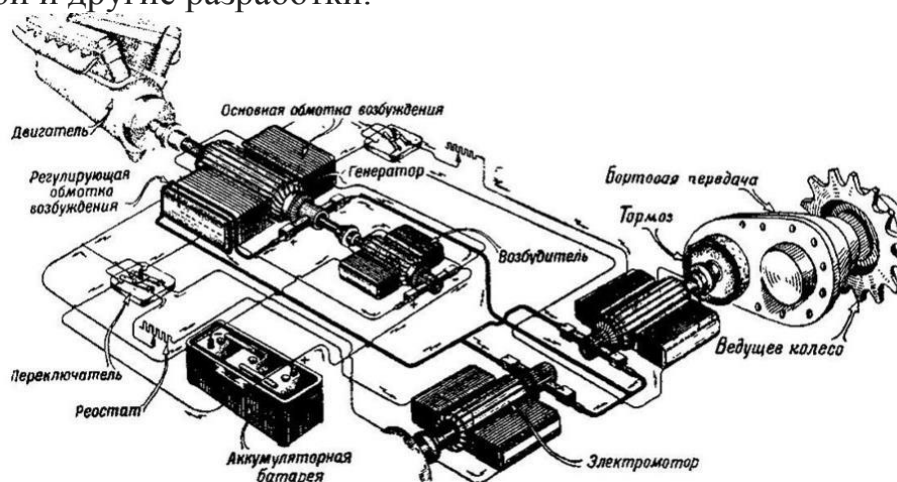


Рисунок 9 - Электромеханическая трансмиссия ИС-6 (Объект 253).

На рисунке 9 представлена электромеханическая трансмиссия танка ИС -6, которая состоит дизельного двигателя, передающего момент от вращения коленчатого вала на генератор питающий электромоторы, установленные на ведущих колесах. Технология 1950 года. Перспективные электродвигатели на постоянных магнитах и асинхронные электродвигатели, генераторы электрического тока с высоким КПД, системы распределения энергии, аккумуляторы, обеспечивающие возможность быстрой зарядки, кабель-каналы размещённые в кожухах по периметру внутренней части корпуса, обеспечивают многократное резервирование электропитания и передачи данных.

Пространственное разнесение источников энергии, каналов снабжения и коммуникации, а также двигателей и движителей с повышенной вероятностью позволит машине сохранить подвижность и ситуационную осведомлённость при получении повреждений, что обеспечит возможность эвакуации.

Отказ от гидравлических приводов в пользу электрических также будет способствовать повышению живучести машин как из-за меньшей пожароопасности последних, так и из-за их большей надёжности. Наличие буферных аккумуляторных батарей позволит сохранять подвижность без включения основного двигателя, пусть и на достаточно ограниченном отрезке.

Аккумуляторные батареи также могут обеспечить возможность движения при отказе основной силовой установки, что позволит машинам самостоятельно добраться до ближайшей станции обслуживания и ремонта. В ряде случаев для эвакуации машины с электротрансмиссией достаточно будет просто подключить её к внешнему источнику энергии. К примеру, эвакуатор таким способом может одновременно эвакуировать две других машины с частично повреждённой электротрансмиссией, просто перебросив им кабели питания. В машинах с электротрансмиссией может осуществляться рекуперация энергии при торможении.

Перспективными могут быть «пульсирующие электрогенераторы и системы движения на их основе». Главное преимущество электрификации машин в дополнительном функционале. На современном уровне абсолютно все эл. машины являются не эффективными, чтобы строить на них перспективы. Ключевая причина состоит в том, что используются индукционные витковые обмотки в которых паразитные процессы самоиндукции растут эквивалентно повышению напряжения и тока в них. О постоянных магнитах вообще не идёт речь - они низко потенциальные и неуправляемые. А поэтому вся проблема сводится к новой индукционной катушке, в которой линейный и доминирующий вектор трансформируется во вращающееся магнитное поле. Тогда конструкции эл. машины превращается в процесс сопряженных обкаточных моментов вращающихся магнитных потоков.

На рисунке 10 представлена функциональная схема электромеханической трансмиссии.

Нужна максимальная мощность - работают и аккумуляторы и генератор. Не нужна высокая скорость, а максимальная дистанция - комбинируется движение от двух источников по очереди в оптимальных режимах.

Основные преимущества электротрансмиссии:

- компоновка: возможность размещать МТО как в передней, так и в задней части корпуса (очень актуально при создании единой платформы);
- надежность: возможность дублирования силовых линий от генератора к тяговым ЭД. Более простой ремонт по сравнению с мех. трансмиссией;
- возможность питания от внешних источников;
- возможность использования наиболее простой схемы рекуперации энергии.
- возможность замены гидравлических приводов с горючим маслом на электрические.

Гибридные машины уже существуют. У двигателя внутреннего сгорания высокая акустическая и ужасная тепловая сигнатура. Несмотря на все преимущества электродвигателей, технику будут делать по гибридной схеме. То есть к стандартному двигателю внутреннего сгорания с передачей энергии на ведущие колеса добавят электродвигатели в опорных катках или/и направляющих колесах (примерно как в гибридных автомобилях двигателя внутреннего сгорания работает на передние колеса, а электродвигатели на задние и наоборот), что позволит ввести малозумный режим работы, сократить расход топлива и повысить коэффициент полезного действия использования двигателя. Полностью электрические большегрузные машины при нынешних литиевых батареях маловероятны. Кроме того, скорее всего первыми электродвигатели (в любой конфигурации, гибридной или полностью электрической) получат военные машины (БРМ, БТР и БМП). Исключительно из за своего меньшего веса.

Электро-механическая трансмиссия вместо чистой механики вполне реальные перспективы. Несмотря на все преимущества электродвигателей, вначале большегрузную технику будут делать по гибридной схеме. То есть к стандартному двигателю внутреннего сгорания с передачей энергии на ведущие колеса добавят электродвигатели в опорных катках или/и направляющих колесах (примерно как в гибридных автомобилях двигатель внутреннего сгорания работает на передние колеса, а электродвигатели на задние и наоборот), что позволит ввести малозумный режим ходы, сократить расход топлива и повысить коэффициент полезного действия использования двигателя.

Имеет смысл лишь газотурбинный двигатель с высокоскоростным электрогенератором прямого привода в сочетании с высокоскоростными электродвигателями с планетарными редукторами, что позволит снизить массу силовой установки по сравнению с дизелем и гидромеханической коробкой передач (плюс электродвижение от аккумулятора на небольшое расстояние).

Наличие буферного аккумулятора позволит проехать ограниченное расстояние - несколько километров, без включения ГТД.

Газотурбоэлектрическая установка имеет смысл только для экономии массы по сравнению с дизелем + гидромеханической коробкой передач в

сочетании с высокоскоростными электродвигателями с планетарными редукторами.

В то же время современные успехи в области электротехники обеспечили создание новых узлов и систем трансмиссии, которые очень отличаются от тех, что испытывались и терпели неудачу в прошлом.

БТР «Кобра» не был первой в мире бронированной машиной с электрической трансмиссией, как заявляли. Но он был первой такой машиной, произведенной после второй мировой войны.



Рисунок 11 - Один из опытных образцов гусеничного БТР «Кобра» фирмы АСЕС, демонстрирующий преимущества установки электрических трансмиссий.

На рисунке 11 представлен один из опытных образцов гусеничного БТР «Кобра» фирмы АСЕС, демонстрирующий преимущества установки электрических трансмиссий. Электрическая трансмиссия выполнена в виде компактного модуля двигателя и плоского генератора переменного тока в передней части машины и тяговых электродвигателей в кормовой части под сиденьями десанта. Однако хорошая компоновка генератора и электродвигателей достигнута за счет частичного использования регенерированного управления, то есть для облегчения поворота используются фрикционные и тормозные устройства. Если бы электродвигатели использовались в генераторном режиме (тормозном), то их размеры были бы большими.

Фактически габариты электродвигателей, которые при повороте работают в генераторном (тормозном) режиме и передают генерированную мощность на электродвигатель забегающего борта, имеют большие размеры. Поэтому в настоящее время сложилось мнение, что трансмиссия будущего должна быть не полнопоточной электрической, а электромеханической. Предлагается добавление поперечного вала между бортовыми передачами для передачи

рекуперированной мощности от отстающей гусеницы на забегающую механическим способом, что позволит снизить объем электродвигателей и потери энергии, преобразуемой из механической в электрическую и обратно в механическую.

В БТР «Кобра» при крутых поворотах вся мощность от генератора переменного тока передается на электродвигатель забегающего борта, а отстающая гусеница тормозится механическим путем. Это значит, что БТР «Кобра» управляется при малых радиусах поворота за счет фрикционов и тормозов. Поворот за счет фрикционов и тормозов в настоящее время еще используется на некоторых легких машинах. Однако на более тяжелых машинах от такого способа управления отказались как от не отвечающего современным требованиям. Следует считать, что электрическая трансмиссия переменного - постоянного тока по типу той, что выполнена на БТР «Кобра», может быть заменена более перспективной электрической трансмиссией на переменном токе. Она состоит из генератора переменного тока, выпрямителя, преобразователей и асинхронных электродвигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором.

Фирма FMC изготовила также другую электрическую трансмиссию, которая была испытана на сочлененной колесной машине. В ней выпрямитель и преобразователи были заменены твердотельными преобразователями частоты или понижающими преобразователями частоты переменного напряжения. Ни одна из этих двух трансмиссий не была принята, но примерно в 1980 г, были предложены новые электрические трансмиссии переменного тока, в которых должны были использоваться разработки электродвигателей на редкоземельных элементах с постоянным магнитом.

В частности, фирма «Гаррет» предложила электрическую трансмиссию, в которой использовались выпрямитель, преобразователи и электродвигатели с постоянными магнитами на основе самария и кобальта, а фирма «Дженерал электрик» предложила трансмиссию, в которой сочетаются синхронные двигатели с постоянным магнитом с понижающими преобразователями частоты переменного напряжения.

В последнее время появились другие генераторы переменного тока и двигатели с постоянными магнитами, в некоторых из этих двигателей используются неодимово-железные магниты.

На рисунке 4 изображен общий вид электромеханической трансмиссии. Это двигатель, вращающий генератор, а тот в свою очередь питает пару асинхронных электродвигателей.

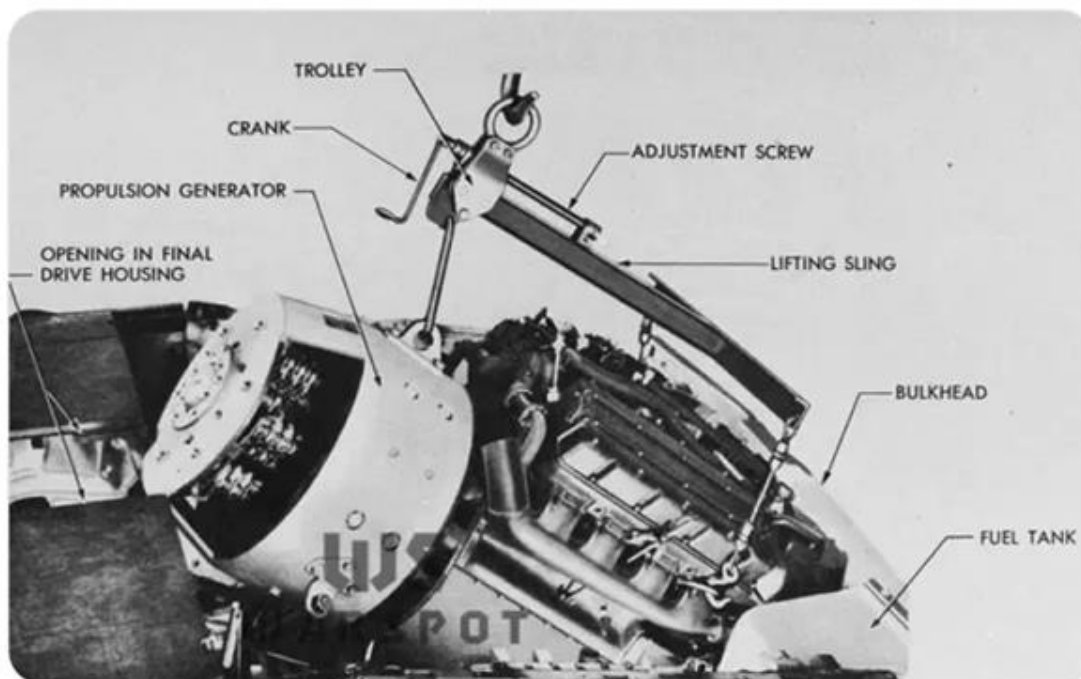


Рисунок 12 - Общий вид электромеханической трансмиссии.
 На рисунке 12 изображен общий вид карьерного самосвала БЕЛАЗ-75710 грузоподъемностью 450 тонн.



Рисунок 12 - Общий вид карьерного самосвала БЕЛАЗ-75710 грузоподъёмностью 450 тонн.

Силовая установка включает в себя два электрогенератора, каждый из которых подсоединён к V-образному шестнадцатицилиндровому дизельному двигателю MTU Detroit Diesel 16V4000 мощностью 1715 кВт (2330 л. с.), выработанный ток подаётся на четыре мотор-колеса мощностью по 1200 кВт.

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ:

Недостаток в виде аналогового управления электрическими машинами, также при перегрузках электродвигатели и инверторы нагреваются и требуют дополнительного охлаждения.

К недостаткам прототипа трактора «БЕЛАРУС» 1502Э относится проблема, связанная с совместной работой электрических машин (генератора и электродвигателей), вызывающая скачки напряжения на выходе инверторов и соответственно в преобразователе постоянного тока, что влияет на неточность получаемых параметров, что приводит к нарушению алгоритмов управления электродвигателями. Данный недостаток решается разработкой блока управления на базе микроконтроллера и реализацией широтно-импульсной модуляции сигнала.

Электрическая непрерывная автоматическая трансмиссия, так же как и гидротрансформатор, имеет внутренние потери, причем эти потери тем больше, чем больше отличается режим движения машины — его скорость от той скорости, на которую, как на самую употребительную, была рассчитана электротрансмиссия. Применение электротрансмиссии в большегрузных машинах до настоящего времени было ограничено вследствие ее сложности и относительно большого веса ее механизмов по сравнению с механизмами обычной шестеренчатой трансмиссии.

Одна из основных проблем электромеханических трансмиссий, по крайней мере в прошлом — необходимость использования дефицитной меди. Для катушек электродвигателей, тем более достаточно мощных, чтобы передвигать большегрузную машину, требовалось очень много медной проволоки. Её изготовление стоило очень дорого. Другой немаловажный нюанс — надёжность, простота конструкции с одной стороны поддерживает высокую надёжность, но с другой стороны, электромеханическая трансмиссия греется сильнее обычной,

что приводит к частым выходам из строя с необходимостью полной замены агрегата.

Надёжность американских образцов, согласно открытым источникам была выше, но сказались вопросы стоимости и производства конечного серийного изделия. Главная проблема перехода на электромеханические трансмиссии состоит, во-первых, в отработанности классических схем, а во-вторых, в расходе электроэнергии. На большегрузных машинах и так устанавливают генераторы, будь то вспомогательные дизельные или газотурбинные установки для обеспечения работы всех электронных систем без запуска основного двигателя. Если в машине будет генератор, идущий сразу за двигателем внутреннего сгорания, то можно будет генерировать больше энергии.

Современные электромоторы могут быть сильно компактнее. Кроме того, использование электромеханической трансмиссии может положительно сказаться на запасе хода. Последний аспект пока не подтверждён, ведь коэффициент полезного действия электромотора ниже механических трансмиссий. Следовательно, больше потери мощности от двигателя к движителю и повышенное тепловыделение, влекущее за собой повышенные требования к системам охлаждения. Собственно, последний аспект и выступает противовесом простой и «надёжной» конструкции электромеханических трансмиссий.

В качестве таковых можно отметить большую сложность и стоимость по сравнению с силовыми установками классической конструкции, а также необходимость использования значительного количества дефицитной меди.

Ничего не будет, пока удельная мощность электродвигательных установок (вместе с источниками питания, разумеется) меньше, чем у двигателя внутреннего сгорания, ещё плюс вес электродвигателей. Если взять питающую дизель генераторную установку, то вес будет не маленький, в дизель-генераторной установке электродвигатели, грубо говоря, заменяют коробку передач, поскольку их мощность не так зависит от оборотов. Если взять вес генератора и электродвигателей, то коробка будет в несколько раз легче. Все компоненты для создания имеются. От компактных газовых турбин до производства электромоторов. Основным ограничением для электромобилей является не малая удельная мощность, а низкий запас хода.

Низкая энергоёмкость источников питания, плюс их серьёзный вес, который приходится возить с собой. Обычное топливо расходуется, вес снижается, а у электродвигательных установок - нет. Объём и вес что обычного топлива, по сравнению с батареями не такой уж и большой. Плюс проблемы зарядки по сравнению с заправкой. Перекачка пару сотен литров из цистерны в баки происходит за считанные минуты. Перекачка электрического заряда сравнимой энергии в батареи на порядок больше. Низкая плотность хранения энергии в аккумуляторных батареях. Огромный ток для запуска инверторного двигателя чтобы повернуть остановленный вал с нагрузкой. А ведь есть ещё разогрев обмоток электродвигателя, который устранить гораздо труднее, чем нагрев двигателя внутреннего сгорания. Ничего не будет, пока удельная мощность электродвигательных установок (вместе с источниками питания,

разумеется) меньше, чем у двигателя внутреннего сгорания. Оборвался провод или исчезло питание и этот транспорт встал.

Если электродвигатели разместить в катках, то нагрев в ходовой части уменьшится, при этом освободится место внутри корпуса. Катки - опорные элементы гусеничного движителя, приводными элементами являются колеса - кормовая пара, получающая вращение от трансмиссии и входящая в зацепление с траками гусеницы. Объем колес слишком мал (даже с учетом использования лобовой пары пассивных колес - ленивцев), чтобы разместить электродвигатели и планетарные редукторы. Газотурбинная силовая установка, включающая газотурбинный двигатель со встроенным генератором и пару электродвигателей со встроенными редукторами, занимает меньше места в моторном отсеке, чем дизель с системой охлаждения и гидромеханической коробкой передач.

Ключевая причина состоит в том, что используются индукционные витковые обмотки, в которых паразитные процессы самоиндукции растут эквивалентно повышению напряжения и тока в них. О постоянных магнитах вообще не идёт речь - они низко потенциальные и не управляемые. А поэтому вся проблема сводится к новой индукционной катушке, в которой линейный и доминирующий вектор трансформируется во вращающееся магнитное поле. Тогда конструкции электромашины превращается в процесс сопряженных обкаточных моментов вращающихся магнитных потоков.

На современном уровне абсолютно все электромашины являются не эффективными, чтобы строить на них перспективы. Низкая удельная энергоёмкость такой связки, топливо + батареи больше и тяжелее чем только топливо, в то время как реально вся получаемая энергия хранится только в топливе для достижения сравнимых с двигателем внутреннего сгорания показателей дальности хода нужно будет примерно столько-же топлива. Невозможность быстро и главное просто зарядиться. Потребуется специальная станция, в то время как для двигателя внутреннего сгорания можно подвезти пару бочек горючего.

Машина на гусеницах и с бронёй на электроприводе это довольно неконструктивная идея и в аккумуляторном, и в гибридных вариантах. Для многоколёсных полноприводных машин со средним бронированием типа БМП возможно.

Новейшая электрическая трансмиссия довольно быстро продемонстрировала свою сложность и невысокую надежность. Одной из главных проблем предлагаемой электротрансмиссии был перегрев агрегатов во время работы. По этой причине в ходе последующего ремонта опытный образец получил крышу моторного отделения с дополнительным вентилятором для охлаждения электрических агрегатов. Электрическая трансмиссия с несколькими генераторами, аккумуляторной батареей и двумя тяговыми электродвигателями оказалась слишком сложной и тяжелой. Кроме того, надежность систем оставляла желать лучшего и не позволяла использовать их на серийной технике. Основная проблема в охлаждении мотор колес.

В конце 30-х в Военной академии механизации и моторизации им. Сталина был создан экспериментальный образец танка с электротрансмиссией на основе танка Т-26 и троллейбусных агрегатов.

Это был не опытный образец перспективного танка а «ездящий стенд», на котором проверялась сами принципы такой конструкции и ее преимущества и недостатки, выводы тогда были такие, что сама идея перспективная, но при том уровне развития техники не конкурентоспособная с классическими схемами.

Вся проблема в установке электротрансмиссии на большегрузную машину в том, чтобы крутить основной генератор нужен дизель такой же мощности как для механической или гидромеханической трансмиссии.

А это дополнительная масса. Кроме того установка всей остальной аппаратуры управления работой генератора и тяговых эл. моторов, «съедает» очень значительную часть полезного внутреннего объёма корпуса.

Это сильно влияет на внешние габаритные размеры машины, которые ограничены рядом требований. В сумме все эти негативные факторы и препятствуют установке на большегрузную технику электрической трансмиссии.

Основные задокументированные недостатки электротрансмиссии.

Большая масса и габариты электрооборудования (главным образом тяговых электрических машин), обусловленные в основном тем, что электрический привод трансмиссии проектируется на новую мощность теплового двигателя. Следствием большой массы является большой расход цветного металла – меди, составляющий примерно 20 % по отношению к общей массе электрооборудования трансмиссии. В последовательных электромеханических трансмиссиях масса и габариты тягового электрооборудования значительно снижены за счет повышения быстроходности генераторов и применения ступенчатого редуктора для тягового электродвигателя. Введение в трансмиссию наряду с электрооборудованием дополнительных механических узлов усложняет силовую схему трансмиссии и несколько снижает экономию в массе, получаемую по электрическим машинам. Благодаря высоким значениям коэффициентов заполнения объема в электрических машинах, достигающим $k_z = 0,5 - 0,6$ и выше, возможны малогабаритные варианты последовательных электромеханических трансмиссий, приближающиеся к механическим трансмиссиям.

Более низкий к.п.д. электротрансмиссии и последовательных электромеханических трансмиссий в режимах длительной работы (на 5 – 10 %), чем механических трансмиссий, в связи с чем должны быть предусмотрены средства охлаждения электротрансмиссии и электромеханической трансмиссии с более высокой производительностью, чем в механических трансмиссиях. Электропривод, состоящий из крупных электрических машин мощностью свыше 100 кВт., обладает более низким к. п. д. чем чисто гидродинамическая передача, занимая по к. п. д. промежуточное между механической и гидродинамической передачами положение (механическая передача с 1 – 2 полюсами зацепления к. п. д. $\eta = 0,97 \div 0,94$ электропривод - $\eta_{\max} = 0,93 \div 0,87$, гидродинамическая передача (гидротрансформатор) - $\eta_{\max} = 0,90 \div 0,851$,

причем диапазоны регулирования, соответствующие максимальному к. п. д., у электропривода значительно шире, чем у гидротрансформатора. Реальным средством улучшения к. п. д. электротрансмиссии является применение вариантов схем с разделением потоков мощности между механическими и электрическими ветвями. Улучшение общего к. п. д. при этом достигается благодаря тому, что через электрическую ветвь трансмиссии, обладающим меньшим к. п. д. проходит только часть передаваемой мощности. Наличие диапазона скоростей машины от 0 до некоторой скорости $v_{\min} = v_{\max} / y$, когда электрические машины в тепловом отношении особенно перенапряжены и допускают в указанном диапазоне кратковременную работу различной продолжительности (от 5 – 10 мин до неограниченного времени).

Ограничение максимальной скорости движения машины и соответственно диапазона у длительного регулирования передаточного отношения по условиям разноса ротора (якоря) тягового электродвигателя. Расширение диапазона регулирования требует повышения максимальных частот вращения тягового электродвигателя. Это может быть достигнуто в системе трансмиссии электропривода переменного тока с асинхронным короткозамкнутым двигателем, а также применением машин постоянного тока специальной конструкции.

Реальным направлением усовершенствования электротрансмиссии следует считать применение электропривода в системе механической трансмиссии как узла, преобразующего небольшую часть полной мощности теплового двигателя и сообщаящего трансмиссии в целом свои гибкие механические свойства. Это направление предусматривает создание электромеханической трансмиссии с параллельными потоками мощности, причем применение машин двойного вращения может быть весьма эффективным средством уменьшения массы и габаритов электрических машин.

Таким образом в прогрессивных трансмиссиях используют элементы с непрозрачными характеристиками (электрические генераторы с гиперболической внешней характеристикой, турботрансформаторы) обеспечивающие наряду с защитой дизеля от колебаний нагрузки полное использование мощности дизеля во всех режимах работы. При этом дизель эксплуатируется в режиме постоянной скорости вращения и постоянного момента, что обеспечивает максимальный срок службы. Наиболее подходящим типом дизеля для применения в дизель-электрических приводах самоходных машин является быстроходный транспортный четырехтактный дизель, эксплуатируемый в режиме постоянной скорости вращения.

Рекомендации по включению параметров проверки электромобилей и особенно гибридов в диагностическую карту транспортного средства, может быть объектом исследования в части параметров технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторного и гибридного транспортного средства, которые подлежат обязательному документированию.

ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕРКИ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.

Системам специального назначения дан новый импульс в развитии трансмиссий специального назначения [19]. В настоящее время окончательно не определены не только кинематическая схема и компоновка, но и тип электрической машины. Трансмиссия транспортного средства – это совокупность сборочных единиц, соединяющих двигатель внутреннего сгорания с ведущими колесами. Она предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к колесам, изменения тяговых усилий, скорости и направления движения. Возможны три варианта трансмиссий – механическая, гидромеханическая, электрическая. Электротрансмиссия включает электрический генератор, тяговый электродвигатель, электрическую систему управления.

Основное достоинство электротрансмиссии - обеспечение наиболее широкого диапазона автоматического изменения крутящего момента и силы тяги, а также отсутствие жесткой кинематической связи между агрегатами. К таким машинам можно отнести: асинхронную частотно-регулируемую; вентильно - индукционную; синхронную частотно - регулируемую с постоянными магнитами; вентильную магнитоэлектрическую постоянного тока.

Асинхронная машина проигрывает по габаритным размерам вариантам с использованием мощных постоянных магнитов. Она не имеет внутренних источников для создания возбуждения в виде обмотки возбуждения или постоянных магнитов возбуждения в виде обмотки возбуждения и вынуждена забирать эту энергию из внешней цепи через якорную обмотку. Якорь, для выполнения этой функции, должен иметь габариты на 5-15% больше по сравнению с синхронной и вентильной машинами. Аналогичные недостатки касаются и вентильно-индукционной машины.

Синхронный частотно - регулируемый привод имеет преимущества по размерам электрической машины, но широкое применение ограничивает сложность организации векторного управления. Вентильная машина постоянного тока с дискретной коммутацией выглядит наиболее предпочтительно. Сама электрическая машина с применением мощных магнитов имеет компактное исполнение. Силовая электроника, реализующая дискретную коммутацию достаточно проста. Практика показала, что возможности регулирования частоты вращения ограничены, поэтому приходится применять в двигателе две якорные обмотки: одну для работы на низких частотах, другую на высоких частотах вращения и малом значении момента. В связи с этим возникла задача разработки вентильной машины постоянного тока с дискретной коммутацией комбинированного возбуждения, которая имела бы преимущества вентильной магнитоэлектрической машины.

Применение вентильных машин комбинированного возбуждения позволяет уменьшить габариты и стоимость привода за счет использования

мощных постоянных магнитов для двигателей и генераторов слаботочной электроники для регулирования по цепям возбуждения.

В настоящее время получена реализация электропривода тягового двигателя и мотор - генератора гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л. с. Реализована функциональная схема комплекта тягового электрооборудования и особенности двигателей и преобразовательного блока, где получен вывод о необходимости пятикратного регулирования скорости ротора и частоты напряжения статора вверх от номинальной, требуемое регулирование тока намагничивания от 8 до 80 А, широкий диапазон изменения индуктивности, активного сопротивления статора и ротора, постоянной времени ротора, выявлены существенные потери в стали. В результате погрешность датчиков тока статора внизу диапазона снижена с 12-18 % до 1% в том числе на уровнях напряжения в единицы вольт. Решена проблема влияния коммутаций в инверторах тяговых приводов на измерение и регулирование приводом мотор - генератора напряжения в общем звене постоянного тока [20]. В сотрудничестве концерна РУС ЭЛПРОМ с Минским тракторным заводом реализован проект ЭТ -160Г по созданию макета гусеничного промышленного трактора БЕЛАРУС 1502Э мощностью 160 л.с. и тягой на крюке до 10 тонн.

В тракторе реализована последовательная кинематическая схема силовой установки, когда двигатель внутреннего сгорания не имеет механической связи с колесами и обеспечивает только вращение асинхронного мотор – генератора, регулирующего напряжение в звене постоянного тока. Вращение приводных шестерен гусениц левого и правого борта обеспечивают приводы тяговых асинхронных двигателей, инверторы которых питаются от звена постоянного тока мотор - генератора. В качестве базовой, выбрана оптимальная по потерям векторная система управления тяговым электроприводом с идентификатором параметров.

Возможные перспективы вентильно - индукторного двигателя с независимым возбуждением для тягового электропривода заключаются в возможности регулирования возбуждения, что позволяет приводу работать в широком диапазоне частот вращения при постоянстве мощности, при этом присутствует технологичность и простота изготовления, а для управления подходит классический трехфазный инвертор [21].

Для тягового применения в настоящее время используются различные двигатели переменного тока с соответствующими силовыми преобразователями. Классические двигатели постоянного тока также все еще имеют свою нишу, но уже большей частью по историческим причинам, а не из-за технической целесообразности. Сравнивая различные электродвигатели переменного тока с точки зрения применения в электротяге, можно выделить следующие преимущества и недостатки каждого из типов двигателей.

Асинхронный двигатель относительно прост, надежен, дешев, очень хорошо исследован и освоен в производстве. Имеет проблемы с отводом тепла от ротора, обладает не лучшими массогабаритными показателями.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами имеет лучшие массогабаритные показатели, КПД, хорошо исследован, дорог и сложен в производстве, существует проблема надежного крепления магнитов при

больших частотах вращения, малая зона постоянства мощности, существует риск перенапряжений при отключении преобразователя в зоне искусственного ослабления поля.

Вентильно - индукторный двигатель с самовозбуждением самый простой, дешевый, технологичный в изготовлении, имеет хорошие массогабаритные показатели, большую зону постоянства мощности, хорошо изучен. Так как у него однополярное питание, требует специализированного силового преобразователя, имеет заметные пульсации момента и вибрацию.

Вентильно - индукторный двигатель с самовозбуждением дешев, имеет хорошие массогабаритные показатели, большую зону постоянной мощности, малые пульсации момента, относительно сложен в изготовлении. Интересен в качестве недорогого тягового электропривода. Большая зона постоянства мощности за счет независимого возбуждения, отсутствие пульсаций момента при векторном управлении и распределенной обмотке статора.

Вентильно - индукторный двигатель с независимым возбуждением также известен как одноименнополюсный индукторный двигатель с аксиальным возбуждением. Он обладает следующими преимуществами:

- отсутствие скользящего контакта;
- простота и технологичность конструкции;
- управляемое возбуждение;
- отсутствие перемагничивания ротора;
- возможность применения для управления машиной классического векторного управления;
- использование стандартного трехфазного инвертора в управляющем преобразователе;
- отсутствие риска повреждения инвертора из-за возникновения повышенной ЭДС двигателя при работе в зоне ослабленного поля (в синхронной машине с постоянными магнитами такой риск есть).

В данном типе двигателя следует применять специальные меры для предотвращения замыкания магнитного потока возбуждения по подшипниковым щитам в обход магнитопровода статора.

Для проведения испытаний тяговых вентильно - индукторных двигателей с независимым возбуждением и электротансмиссии были изготовлены несколько экземпляров двигателей мощностью 35 кВт. При лабораторных исследованиях была экспериментально подтверждена теоретическая зависимость момента от токов стартера и возбуждения, получено практически полное совпадение с теоретическим расчетом.

Восемь образцов двигателей были установлены на макетный образец транспортного средства для комплексного испытания электротансмиссии на их основе. Параметры макетного образца: масса 22 т., индивидуальный привод колес (восемь вентильно - индукторных двигателей с независимым возбуждением по 35 кВт каждый, двигатель внутреннего сгорания мощностью 300 кВт), приводящий во вращение генератор вентильно - индукторного двигателя с сосредоточенными обмотками, молекулярным накопителем энергии, служебными источниками питания. Двигатели установлены в корпусе

транспортного средства, вращение на колеса передается через карданную передачу.

Макетный образец достиг максимальной скорости 97 км/ч: преодолен подъем 30° на бетонном покрытии; успешно проверены все специальные режимы – движение «от молекулярного накопителя» с заглушенным двигателем внутреннего сгорания, запуск двигателя внутреннего сгорания от генератора, режим «торможение дизелем», накопление энергии торможения в молекулярный накопитель.

На рисунке 13 представлена одна из осциллограмм, в которой комплексно продемонстрирована работа всей электротрансмиссии.

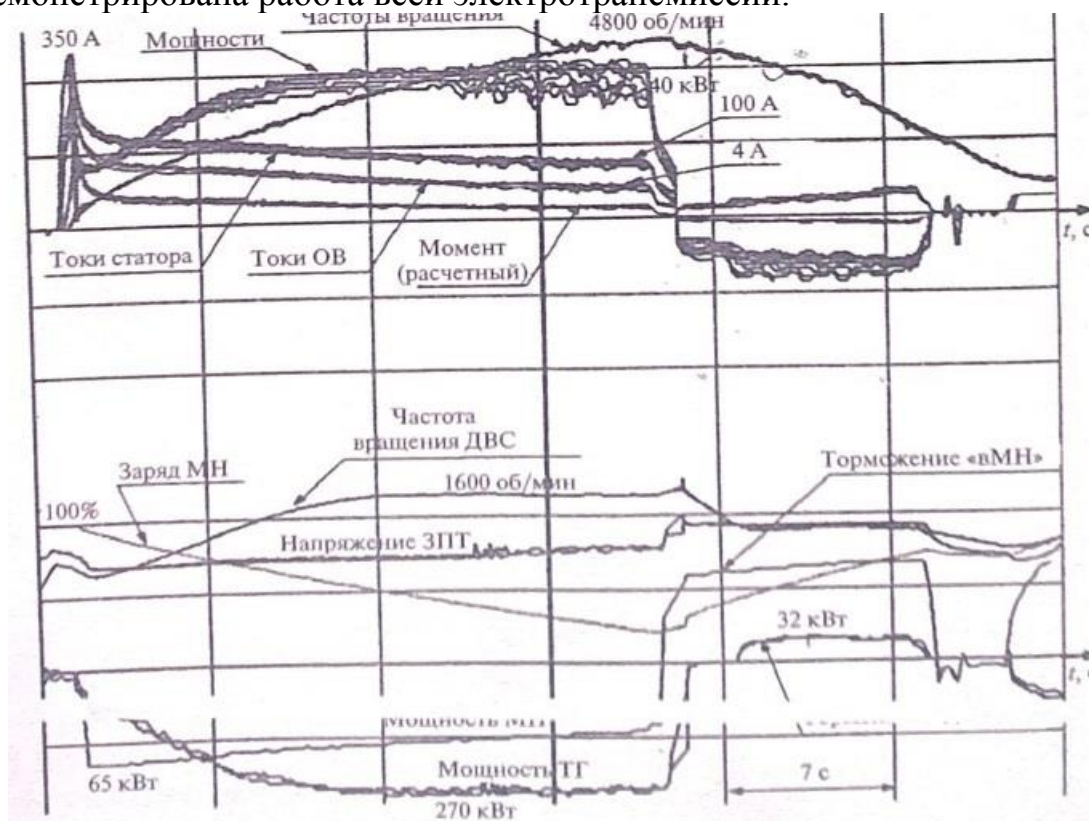


Рисунок 13 – Осциллограмма разгона макетного образца и последующее торможение.

Из рисунка 13 видно, что макетный образец разгоняется до 60 км/ч и происходит последующее электрическое и механическое торможение. В верхней части рисунка приведены частоты вращения тяговых двигателей, мощности, тока статора и возбуждения, текущий момент. При этом графики 8-ми двигателей наложены друг на друга. На нижней части осциллограммы приведена частота вращения двигателя внутреннего сгорания, заряд молекулярного накопителя в процентах, напряжение на звене постоянного тока, мощность молекулярного накопителя, мощность тягового генератора.

При разгоне мощности накопителя и генератора отрицательны, что говорит об отдаче ими энергии, а мощность двигателей положительна, что говорит о потреблении энергии. Мощность накопителя составляла 60-70 кВт, генератора 265-270 кВт. При торможении знаки мощности меняются –

двигатели отдают энергию, накопитель и генератор принимают энергию. При этом мощность приема энергии накопителем составляет 65 кВт, а генератора 32 кВт рассеиваемой в двигателе внутреннего сгорания мощности.

Следует особо отметить, что преодоление 30° подъема не было бы возможно без качественной противобуксочной системы, реализованной в контролере верхнего уровня. Частоту цикла опроса скорости/ задания момента между контроллером верхнего уровня и всеми приводами колес удалось поднять до 500 Гц при использовании выделенного интерфейса связи RS 485 для этой задачи. Вместе с векторной системой управления, оперативно обрабатывающей заданный момент, это позволило реализовать специальные алгоритмы управления проскальзывающими колесами, удерживая их на границе проскальзывания и используя для создания тяги все, что может дать сцепление с дорогой конкретного колеса.

Вследствие мягкой внешней характеристики генератора при резком сбросе нагрузки (водитель резко отпустил педаль газа) напряжение в звене постоянного тока продолжает расти на 30 – 40% выше по напряжению, чем номинальная точка под нагрузкой. При этом рост напряжения, продолжающийся около 20 мс, нельзя остановить ни управлением током возбуждения из-за инерционности изменения потока машины, ни тем более, изменением частоты вращения двигателя внутреннего сгорания. Решением проблемы является использование тормозных резисторов или молекулярного накопителя, которые примут на себя избытки энергии генератора при сбросе нагрузки.

Таким образом вентильно - индукторные двигатели с независимым возбуждением позволили макетному образцу реализовать все требования, обеспечивая заданную тяговую характеристику. Вентильно - индукторный двигатель с независимым возбуждением с разработанной системой управления показывает себя как перспективный тяговый электропривод переменного тока.

Современное состояние транспортных машин характеризуется очередным этапом модернизации электропривода. Ключевым моментом внедрения новых бесколлекторных вентильных электромашин в состав электромеханической трансмиссии является создание алгоритма управления, отражающего особенности конкретного транспортного средства, например быстроходной гусеничной машины [22].

Реализация этого алгоритма управления придаст гусеничной машине новые свойства при прямолинейном движении (идеальная тяговая характеристика), при повороте (рекуперативное торможение одним бортом) и при рекуперативном торможении обеими бортами (преобразование высвобождающейся кинетической энергии корпуса при торможении в потенциальную электрическую энергию аккумуляторной батареи).

На основании проведенных исследований различных режимов работы моторно-трансмиссионной установки сформулирована гипотеза о возможности одновременного эффективного управления двигателем внутреннего сгорания и вентильным двигателем при разгоне быстроходной гусеничной машины.

Исследование разгона быстроходной гусеничной машины показало, что при одновременном управлении двигателем внутреннего сгорания и

вентильным двигателем обеспечивается работа двигателя внутреннего сгорания по экономической характеристике при любом положении педали подачи топлива. Результат - снижение расхода топлива быстроходной гусеничной машины до 6%.

На рисунке 14 приведена структурная схема моторно-трансмиссионной установки.

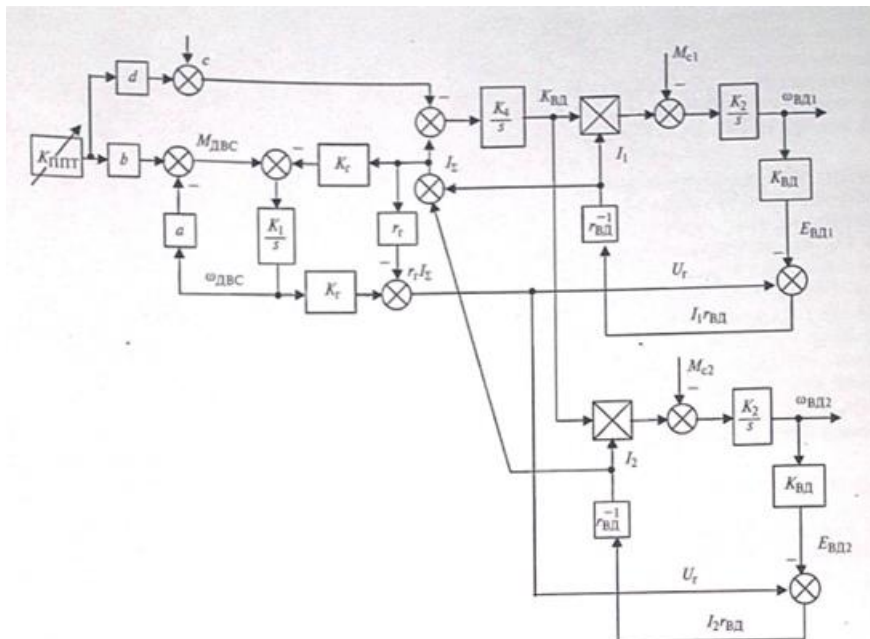


Рисунок 14 - Схема моторно-трансмиссионной установки.

Где K_2 , K_4 – коэффициенты усиления, s – оператор Лапласа, $E_{ВД1}$, $E_{ВД2}$ – ЭДС вентильных двигателей, M_{C1} , M_{C2} – моменты сопротивления на ведущих звездочках, a , b – коэффициенты аппроксимации двигателя внутреннего сгорания, c , d – коэффициенты аппроксимации силы опорного тока.

На рисунке 15 приведена комбинированная характеристика двигателя: зависимость момента $M_{ДВС}$ двигателя от газовых сил при различных удельных расходах топлива.

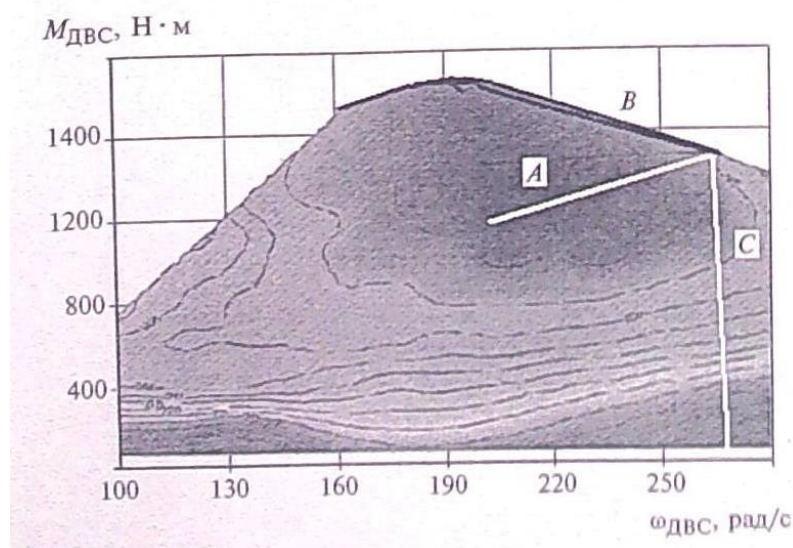


Рисунок 15 - Комбинированная характеристика двигателя: зависимость момента $M_{двс}$ двигателя от газовых сил при различных удельных расходах топлива.

Из рисунков 14, 15 видно, что интеллектуальная бесступенчатая трансмиссия может регулировать двигатель внутреннего сгорания и заставить его работать по экономической характеристике А на любом заданном водителем энергетическом (мощностном) уровне.

Таким образом, разработаны два алгоритма одновременного управления двигателем внутреннего сгорания и электрической трансмиссией при разгоне быстроходной гусеничной машины: первый обеспечивает работу двигателя внутреннего сгорания по экономической характеристике только на установившихся режимах работы двигателя внутреннего сгорания, второй и на переходных тоже. Обнаружение наличия дополнительных затрат энергии двигателя внутреннего сгорания на «саморазгон» позволило изменить архитектуру автоматической системы, зарезервировать момент для «саморазгона» в пределах экономической характеристики и сформулировать второй алгоритм, обеспечивающий экономичную работу двигателя внутреннего сгорания на переходных режимах.

С развитием движения электрического транспорта обострилась проблема обеспечения безопасности движения. На улицах города электротранспорт работает в режиме «разгон-торможение», двигаясь в общем транспортном потоке. Такие условия эксплуатации предъявляют повышенные требования как к пассивной, так и активной безопасности транспортного средства с электрической силовой установкой. Согласно Правил ЕЭК ООН R 13-10 установка антиблокировочных тормозных систем является обязательной.

На рисунке 16 изображена схема предлагаемой двухосной мобильной машины с электрической трансмиссией и транспортных средств с гибридным приводом [23].

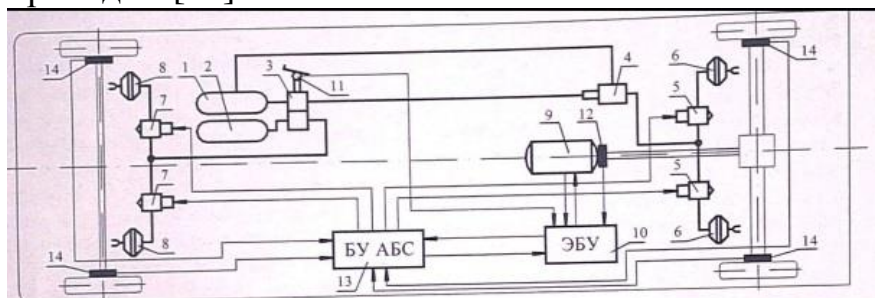


Рисунок 16 - Схема двухосной мобильной машины с электрической трансмиссией.

Предлагаемая тормозная система повышает устойчивость, управляемость, а следовательно, и безопасность движения на дорогах с низким коэффициентом сцепления при совместном использовании в процессе торможения тягового электродвигателя и пневматической тормозной системы с антиблокировочной тормозной системой.

Существенное влияние на тяговые и технико-экономические показатели машин оказывает выбор режима работы дизеля. Дизель является наиболее дорогостоящим элементом трансмиссии, а надежность и долговечность его меньше, чем у электрических машин тяговой трансмиссии. Рациональная

трансмиссия это трансмиссия, в которой обеспечивается наибольший срок работы дизеля. Основным фактором, определяющим долговечность дизелей, является характер нагрузки. В прогрессивных трансмиссиях используют элементы с непрозрачными характеристиками (электрические генераторы с гиперболической внешней характеристикой, турботрансформаторы) обеспечивающие наряду с защитой дизеля от колебаний нагрузки полное использование мощности дизеля во всех режимах работы. При этом дизель эксплуатируется в режиме постоянной скорости вращения и постоянного момента, что обеспечивает его максимальный срок службы [24].

Технические данные некоторых гусеничных машин с электрическими тяговыми трансмиссиями переменного тока. Землеройно-фрезерная машина ЗФМ-3000 трансмиссия с электрическим приводом постоянного действия. Одноковшовый экскаватор Э-506 с электрическим приводом постоянного действия, с регулированием при помощи электромагнитных муфт. Стреловой строительный кран СКГ - 30 с электрическим приводом постоянного действия, с регулированием за счет изменения активного сопротивления в цепи ротора. Лесовалочная машина G-40 с электрическим приводом постоянного действия, с бесступенчатым частотным управлением. Особенностью электрических трансмиссий строительно-дорожных и транспортных машин является наличие в конструкции мотор колес. На рисунке 17 показан разрез мотор - колеса по патенту США №2729298.

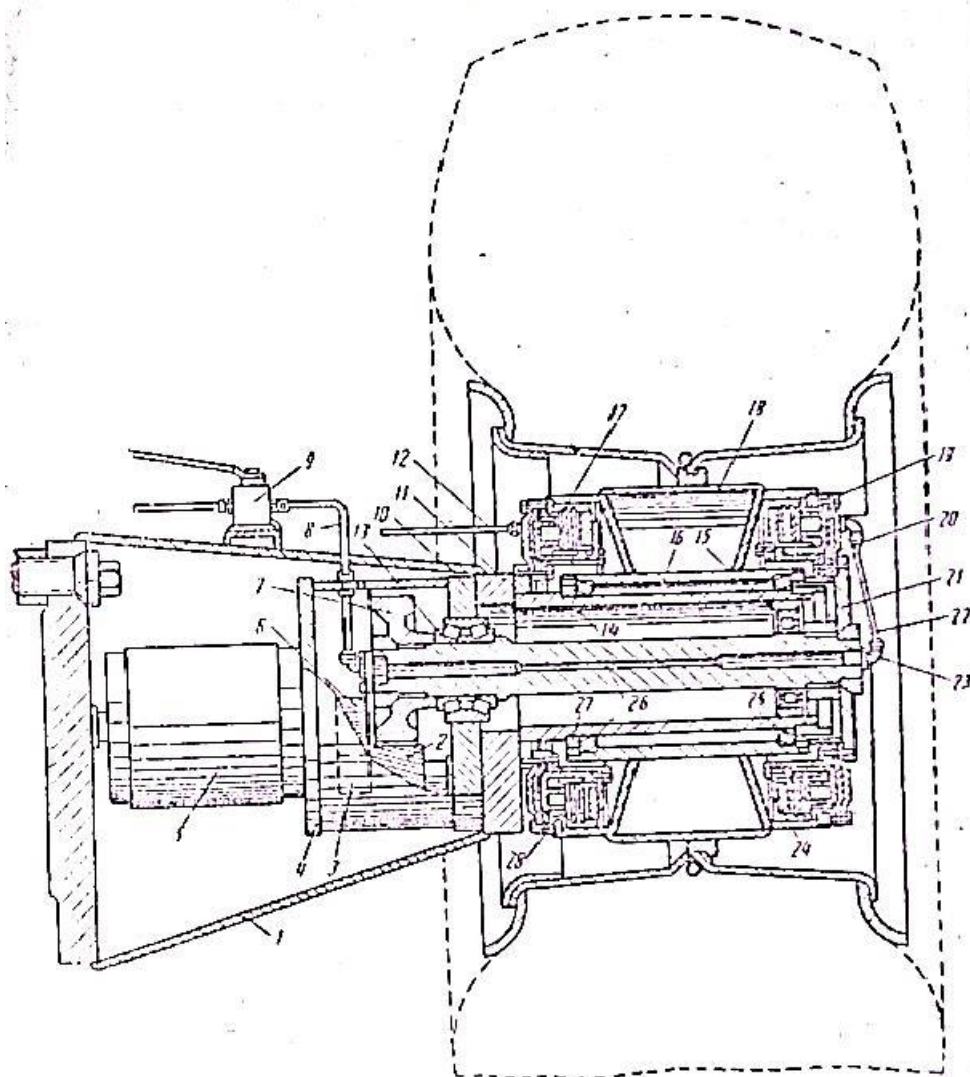


Рисунок 17 - Разрез мотор - колеса по патенту США №2729298

Где: 1 – крепежная конструкция; 2, 7, 6 – шестерня; 4 – неподвижная конструкция; 5 – асинхронный электродвигатель; 8, 12, 22 – трубки; 9 – вентиль; 10, 11, 14 – детали неподвижной конструкции; 13, 15, 25, 27 – подшипники; 16 – цилиндр; 17 – подвижная часть пневмокамерного тормоза; 18 – коробчатая конструкция; 19 – пневмокамерная муфта; 20 – ведущая часть муфты; 21 – фланец; 23 – полный вал; 21 – ведомая часть пневмокамерной муфты; 25 – внутренняя полость вала; 28 – пневмокамерный тормоз.

Из рисунка 17 видно, что наличие в конструкции мотор – колеса асинхронного электродвигателя подразумевает его проверку при обслуживании в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок. Перспективными инновационными составляющими [25], использующиеся в разработке комплектного тягового-энергетического оборудования гибридных транспортных средств и средств с электромеханической трансмиссией относятся: методики оптимизации активных частей асинхронных тяговых электродвигателей; методика экспериментального определения параметров тяговых электродвигателей и определения зависимостей значений этих параметров от режима работы двигателя; алгоритмы автоматического

согласования мощностей двигателя внутреннего сгорания - мотор - генератора – тягового двигателя.

Транспортные средства с комбинированной энергоустановкой, представляют собой среднее между автомобилем, приводимым в движение тепловым электродвигателем и электромобилем, приводимым в движение электродвигателем, питаемым от бортового источника энергии.

Транспортные средства с комбинированной энергоустановкой состоят из двух и более источников энергии: двигатель внутреннего сгорания, генератор, аккумулятор, буферный накопитель, батарея топливных элементов. Электромеханические устройства являются относительно новыми в транспортной технике, принципы их проектирования с учетом специфики применения пока не устоялись. Отсутствуют общепринятые и обоснованные процедуры выбора основных параметров электромеханических устройств, при проектировании гибридной транспортной техники, таких как коэффициентов редукции, число передач, частот вращения, частота питания электрических машин, число пар полюсов, тип электродвигателя, отсутствие критериев качества проектирования.

Развитием кинематических схем является последовательная схема, в которой кинематические связи между двигателем внутреннего сгорания и ведущими колесами принципиально исключаются. Последовательная схема открывает простор для новых конструкторских решений, новых компоновок. В последовательной схеме существует возможность исключения коробки передач, сцепления, карданного вала, что существенно снижает общую массу силового оборудования; появляется возможность исключения такой механической передачи, как дифференциал. Основным инструментом разработчиков приводов является тягово-динамический расчет, при этом учитываются трение качения, аэродинамическое сопротивление, скатывающая сила при движении на подъеме, трение, т.е. потери в трансмиссии.

Основы теории и расчета различных типов электрических трансмиссий, используемых на самоходных гусеничных машинах включают математические модели потерь мощности в полно - и двухпоточных электрических трансмиссиях, а также алгоритмы тягового расчета электрических трансмиссий, самоходных гусеничных машина с помощью которых рассчитываются основные показатели подвижности гусеничной машины: средняя и максимальная скорость движения, маневренность и управляемость, которые представляют собой совокупность свойств, характеризующих возможность изменять или сохранять направление и скорость движения машины в соответствии с дорожными условиями при минимальных нервно - физических затратах [26].

Значительное развитие электрических трансмиссий в применении в тепловозном, гусеничном и колесным машинам требует углубленной экспериментальной и теоретической проработки вопросов таких как методика расчета электротрансмиссии; графо-аналитический метод исследования тяговых характеристик, анализ работы автоматических схем управления при их применении к генератору, работающему совместно с двигателем внутреннего

сгорания; теория поворота; тяговый расчет электротрансмиссии; элементы конструкции электрической трансмиссии [9].

На рисунке 18 приведен пример определения максимальных значений тока при различных частотах генератора.

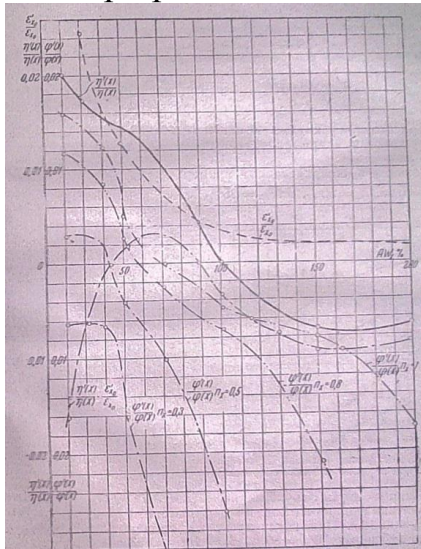


Рисунок 18 – Пример определения максимальных значений тока при различных частотах генератора.

Из рисунка 18 видно, что внешние характеристики в диапазоне изменения тока от короткого замыкания до холостого хода не имеют максимального значения и, следовательно имеют устойчивый характер протекания.

На рисунках 19, 20 приведены рабочий режим электродвигателя артустановки «Фердинанд» при движении машины перед (а) и назад (б) с постоянным внешним моментом сопротивления ($M = \text{const}$),

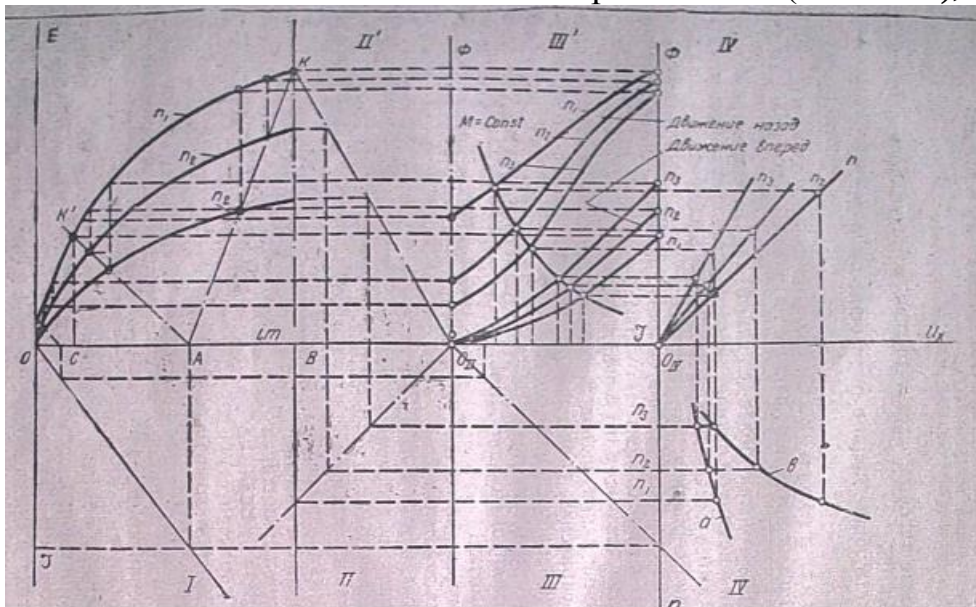


Рисунок 19 – Рабочий режим электродвигателя артустановки «Фердинанд» при движении машины перед (а) и назад (б) с постоянным внешним моментом сопротивления ($M = \text{const}$).

1 – характеристика холостого хода; АК – линия сопротивления при компаудном возбуждении; AK^1 – линия сопротивления при противокомпаудном возбуждении; II – О II К – вспомогательная линия сопротивления; III' – характеристика магнитного потока при движении танка вперед и назад; IV' –

характеристика магнитного потока в зависимости от напряжения при постоянных оборотах; I – II – III – вспомогательные линии построения; IV – изменение напряжения на клеммах электродвигателя в зависимости от оборотов при движении танка вперед и назад.

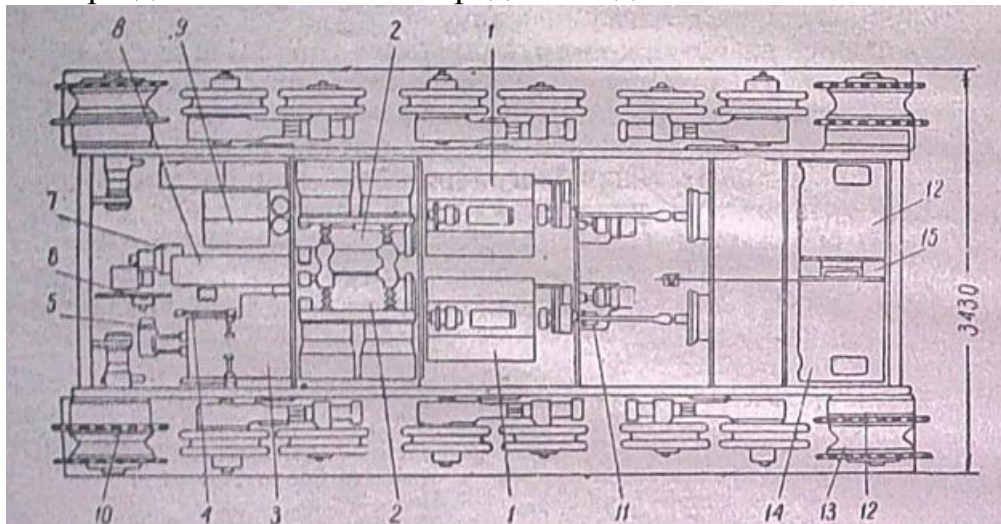


Рисунок 20 – Расположение агрегатов трансмиссии артустановки «Фердинанд». 1 – двигатели; 2 – генераторы; 3 – контроллеры; 4- рычаги контроллеров; 5 – педаль привода пневмо-гидравлических тормозов; 6 – педаль акселератора; 7 – баллоны пневмо – тормозной системы; 8 – ящик с коммутационной аппаратурой; 9 – стартерные аккумуляторы – от них же питание цепи независимого возбуждения трансмиссии; 10 – передние зубчатые ленивцы с. у. пневмо – тормозов; 11 – компрессор пневмо – тормозной системы; 12 – электродвигатели; 13- редуктор; 14 – ведущие колеса гусениц; 15 – стояночный тормоз на электродвигателях.

Из рисунков 19, 20 видно, что электрическая трансмиссия гусеничной машины была отработана еще в период сороковых годов двадцатого века и нашла практическую реализацию в военных машинах.

По публикациям известна силовая установка танка «Объект 253» его дизельный двигатель В-12У мощностью 700 л.с. Мотор предлагалось соединять с главным генератором ДК-305А. Агрегат массой 1740 кг должен был вырабатывать до 370 кВт. В состав электрических систем перспективного танка вошел еще один генератор, СГ-1А. Задачей этого трехфазного генератора была выработка тока для питания вентиляторов охлаждения дизеля и тяговых электродвигателей, а также для питания агрегата подзарядки аккумуляторов. Для питания цепей возбуждения генераторов СГ-1А и ДК-305А, а также для энергоснабжения иных агрегатов танк получил два генератора постоянного тока Г-73.

Для передвижения танк «Объект 253» должен был использовать тяговые электродвигатели ДК-302А и ДК-302Б мощностью по 164 кВт, передающие крутящий момент на ведущие колеса через бортовые редукторы. Мощность двигателей предлагалось менять путем регулирования силы тока в обмотке возбуждения главного генератора. По расчетам, максимальная сила тока, вырабатываемого генератором ДК-305А, должна была достигать 960А.

Двигаться по шоссе можно было при силе тока порядка 490А, по пересеченной местности – при 740А.

Электрическая трансмиссия для нового танка получилась крупной и тяжелой. Так, общая масса всех агрегатов трансмиссии достигла 3850 кг и в несколько раз превысила аналогичный параметр агрегатов танка ИС-2, трансмиссия которого весила лишь 980 кг. Сложность и большой вес электротрансмиссии стали одним из основных недостатков, сказавшихся на дальнейшей судьбе проекта. Ввиду использования сложного и тяжелого электрического оборудования перспективный танк должен был иметь боевую массу на уровне 54 тонн.

Таким образом вентильно - индукторные двигатели с независимым возбуждением позволили макетному образцу реализовать все требования, обеспечивая заданную тяговую характеристику. Вентильно - индукторный двигатель с независимым возбуждением с разработанной системой управления показывает себя как перспективный тяговый электропривод переменного тока. Применение вентильных машин комбинированного возбуждения позволяет уменьшить габариты и стоимость привода за счет использования мощных постоянных магнитов для двигателей и генераторов слаботочной электроники для регулирования по цепям возбуждения.

Разработаны два алгоритма одновременного управления двигателем внутреннего сгорания и электрической трансмиссией при разгоне быстроходной гусеничной машины: первый обеспечивает работу двигателя внутреннего сгорания по экономической характеристике только на установившихся режимах работы двигателя внутреннего сгорания, второй и на переходных тоже. Обнаружение наличия дополнительных затрат энергии двигателя внутреннего сгорания на «саморазгон» позволило изменить архитектуру автоматической системы, зарезервировать момент для «саморазгона» в пределах экономической характеристики и сформулировать второй алгоритм, обеспечивающий экономичную работу двигателя внутреннего сгорания на переходных режимах.

В настоящее время реализован проект ЭТ – 160 Г по созданию макета гусеничного промышленного трактора БЕЛАРУС 1502Э мощностью 160 л.с. и тягой на крюке до 10 тонн. В тракторе реализована последовательная кинематическая схема силовой установки, когда двигатель внутреннего сгорания не имеет механической связи с колесами и обеспечивает только вращение асинхронного мотор - генератора, регулирующего напряжение в звене постоянного тока. Вращение приводных шестерен гусениц левого и правого борта обеспечивают приводы тяговых асинхронных двигателей, инверторы которых питаются от звена постоянного тока мотор - генератора. В качестве базовой выбрана оптимальная по потерям векторная система управления тяговым электроприводом с идентификатором параметров.

В результате опубликованных результатов исследований [21 - 26] по выявленным проблемам, обнаруженным на опытных моделях гусеничных и колесных машин с электрическими тяговыми двигателями сформирована таблица с перечнем операций, которые необходимо провести при

обслуживании в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (аккумуляторных и гибридных транспортных средств).

Таблица 1 - Перечень операций, которые необходимо провести при обслуживании в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (аккумуляторных и гибридных транспортных средств).

Название	Что проверяется	Примечание
Аккумуляторные автомобили Батарейные с питанием от аккумуляторов или супер конденсаторов, заряжаемые преимущественно от розетки.		
Гибридные транспортные средства		
Тяговый привод	Максимальный момент и мощность на валу привода.	
Силовая электроника	Максимальный ток силового преобразователя	
Буферный накопитель, двигатель внутреннего сгорания	Ограничение момента гиперболой мощности. В режиме торможения рекуперация, возврат кинетической энергии движения транспортного средства. Поступление энергии в буферный накопитель, или сброс энергии в тормозной резистор. Сброс энергии торможения в двигатель внутреннего сгорания через обратимый мотор-генератор без подачи топлива.	
В диапазоне мощностей 20 -70 кВт	Идентификация конструкции: асинхронный электропривод, электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов, вентильно - индукционный привод, синхронно-реактивный привод.	
Асинхронный электропривод	Проверка режима ограничения мощности при ограничении напряжения питания двигателя за счет ослабления поля.	
Электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов	Поле не регулируется, что требует завышения установленной мощности в 3 – 10 раз. Для легких транспортных средств это приемлемо, для средних и тяжелых транспортных средств неприемлемо.	
Мотор - генератор	Проверка соответствия максимального момента максимальной частоте вращения.	
Тяговый электродвигатель	Снижение электромагнитного момента при неизменных максимальной частоте вращения и мощности в два раза уменьшит его массу вдвое, соответственно снижается стоимость. Использование коробки передач в тяговом электроприводе увеличивает момент инерции вращающихся масс на низших передачах и снижает момент инерции на высших передачах. Для тяговых приводов учитывается критерий максимального использования имеющихся ресурсов, прежде всего максимальных напряжений питания и тока, которые ограничиваются установленной мощностью силового преобразователя.	

	Наиболее перспективным типом силового преобразователя для питания тягового электродвигателя является автономный инвертор напряжения, работающий в режиме высокочастотной широтно-импульсной модуляции. Векторные алгоритмы позволяют снизить коммутационные потери энергии, повысить использование напряжения звена постоянного тока, сократить число переключений, увеличить максимальную длительность импульсов управления.	
Буферный накопитель	Супермаховик, аккумуляторная батарея, супер-конденсатор, гибридный накопитель.	
Активные части асинхронных тяговых электродвигателей	Основные критерии оценки качества: отношение «электромагнитный момент/ масса», отношение «электромагнитный момент/ потери». Основные факторы, влияющие на формирование электромагнитного момента и качество электромеханического преобразования: насыщение стали, частотные потери, геометрия активной зоны, коэффициенты заполнения паза, температура обмоток. Исходные данные: частота вращения ротора, электромагнитный момент, величина зазора, габаритный диаметр статора, обмоточные данные – число параллельных/последовательных ветвей, марка стали разная для статора и ротора, материал проводника ротора – медь, алюминий. Выходными данными являются: длина активной части, число пар полюсов, число пазов статора на полюсном делении, потери и коэффициент полезного действия в том числе зависимости этих показателей от частоты вращения и электромагнитного момента.	
	Основные показатели коэффициента полезного действия: потери с разбивкой потерь в стали и проводниках статора и ротора, индукция в зазоре, плотность тока в обмотках статора и ротора, масса активных материалов. Оптимизируемые параметры - отношение ширины зубца к зубцовому делению, отношение величины ярма к полюсному делению, размеры шлица пазов ротора и статора.	
Тяговый двигатель трактора БЕЛАРУС 3023 с электромеханической трансмиссией переменного-переменного тока	Мощность двигателя 183 кВт при номинальной частоте вращения – 1450 об/ мин, максимальный момент 1200 Нм.	

Экспериментальное определение параметров асинхронного двигателя	Системы частотного управления не теряют устойчивости. В частотном приводе экспериментально определяется зависимость скольжения, оптимального по потреблению тока, от развиваемого двигателем момента, зависимость момента от потребляемого тока при оптимальном скольжении. Системы векторного управления без экспериментальной настройки параметров не только не позволяют обеспечить требуемый высокий коэффициент полезного действия, но и теряют устойчивость. Ошибки в определении параметров асинхронного двигателя особенно критичны при работе двигателя с ослабленным полем – вторая зона регулирования, при существенно большем активном токе, по сравнению с током намагничивания.	
Частотное управление	Изменяется частота и амплитуда питающего напряжения. Предлагается реализовать частотное управление с жесткой привязкой не частот, а фаз питающего напряжения и углового положения ротора двигателя.	
Недостатки, подлежащие проверке при обслуживании в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (гусеничных и колесных машин с электрической силовой установкой)	проблема надежного крепления магнитов при больших частотах вращения, малая зона постоянства мощности, существует риск перенапряжений при отключении преобразователя в зоне искусственного ослабления поля	
	проблемы с отводом тепла от ротора, влияния коммутаций в инверторах тяговых приводов на измерение и регулирование приводом мотор-генератора напряжения в общем звене постоянного тока	
	соответствие заявленным параметрам регулирования скорости ротора и частоты напряжения статора вверх от номинальной	
	требуемое регулирование тока намагничивания	
	возможности регулирования частоты вращения на низких частотах, на высоких частотах вращения и малом значении момента	
при проверке двигателя с однополярным питанием	проверяется специализированный силовой преобразователь на заметные пульсации момента и вибрацию, зону постоянной мощности, пульсации момента	
	отсутствие скользящего момента	
	управляемое возбуждение	
	отсутствие перемagnetивания ротора	

	использование стандартного трёхфазного инвертора в управляющем преобразователе	
	риск повреждения инвертора из-за возникновения повышенной ЭДС двигателя при работе в зоне ослабленного поля (в синхронной машине с постоянными магнитами такой риск есть)	
	применение специальных мер для предотвращения замыкания магнитного потока возбуждения по подшипниковым щитам в обход магнитопровода статора	
	движение «от молекулярного накопителя» с заглушенным двигателем внутреннего сгорания	
	запуск двигателя внутреннего сгорания от генератора	
	режим «торможение дизелем»	
	накопление энергии торможения в молекулярный накопитель	
	при резком сбросе нагрузки (водитель резко отпустил педаль газа) напряжение в звене постоянного тока продолжает расти на 30 – 40% выше по напряжению, чем номинальная точка под нагрузкой	
	рост напряжения, продолжающийся около 20 мс, нельзя остановить ни управлением током возбуждения из-за инерционности изменения потока машины, ни тем более, изменением частоты вращения двигателя внутреннего сгорания	
Мотор – колесо с асинхронным или другим электродвигателем	оптимизация активных частей асинхронных тяговых электродвигателей	
Тягово-энергетического оборудование и его проверка в системе автосервиса гибридных транспортных средств и средств	Экспериментальное определения параметров тяговых электродвигателей и определения зависимостей значений этих параметров от режима работы двигателя	
	автоматическое согласования мощностей двигателя внутреннего сгорания- мотор-генератора – тягового двигателя	
	Основные показатели подвижности машины: средняя и максимальная скорость движения, маневренность и управляемость.	

Таким образом при обслуживании в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (гусеничных и колесных машин с электрической силовой установкой); аккумуляторных автомобилей (батарейные с питанием от аккумуляторов или супер конденсаторов, заряжаемые преимущественно от розетки), автомобилей с топливными элементами, система водород – воздух, гибридных транспортных средств подлежат проверке тяговый привод, силовая электроника, буферный накопитель, двигатель

внутреннего сгорания, асинхронный электропривод, электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов, мотор – генератор, активные части асинхронных тяговых электродвигателей.

Результатом обслуживания в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок автомобилей (аккумуляторных и гибридных транспортных средств) может являться выявление и устранение мест генерации электромагнитных полей, которые могут нарушить электромагнитную безопасность.

При общем облучении сверхвысокочастотным полем возникающие изменения физиологических функций являются отражением теплового стресса, как и при других видах электромагнитной энергии. Необходимо строго различать эффекты, вызванные электромагнитными излучениями с большой интенсивностью и малым временем облучения и низкой плотностью потока энергии и длительным временем облучения от которых зависит тепловое распределение в организме поглощенной энергии. Критерием переносимости электромагнитных излучений по тепловому эффекту следует считать уровень накопления метаболического тепла при физической работе. Удельная поглощенная мощность 4 Вт/кг может быть принята в качестве критического значения, оно соответствует 100 мВт/см² (2,45 ГГц) и уровню риска 0,1 %.

Оценку интенсивности электромагнитного поля низких и высоких частот чаще всего приходится проводить в зоне индукции. Для этих условий разработан прибор ИЭМП -1, представленный на рисунке, который позволяет измерять электрическую и магнитную составляющую электромагнитного поля (ЭМП) в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц.

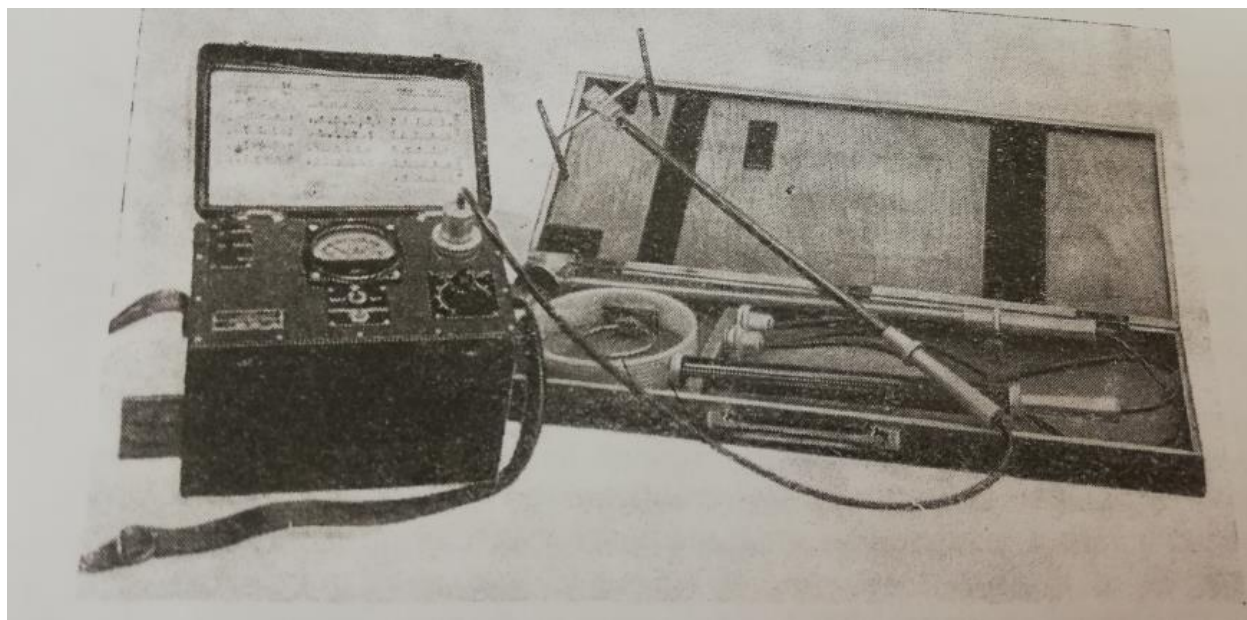


Рисунок 21 - Прибор ИЭМП -1, который позволяет измерять электрическую и магнитную составляющую электромагнитного поля (ЭМП) в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц.

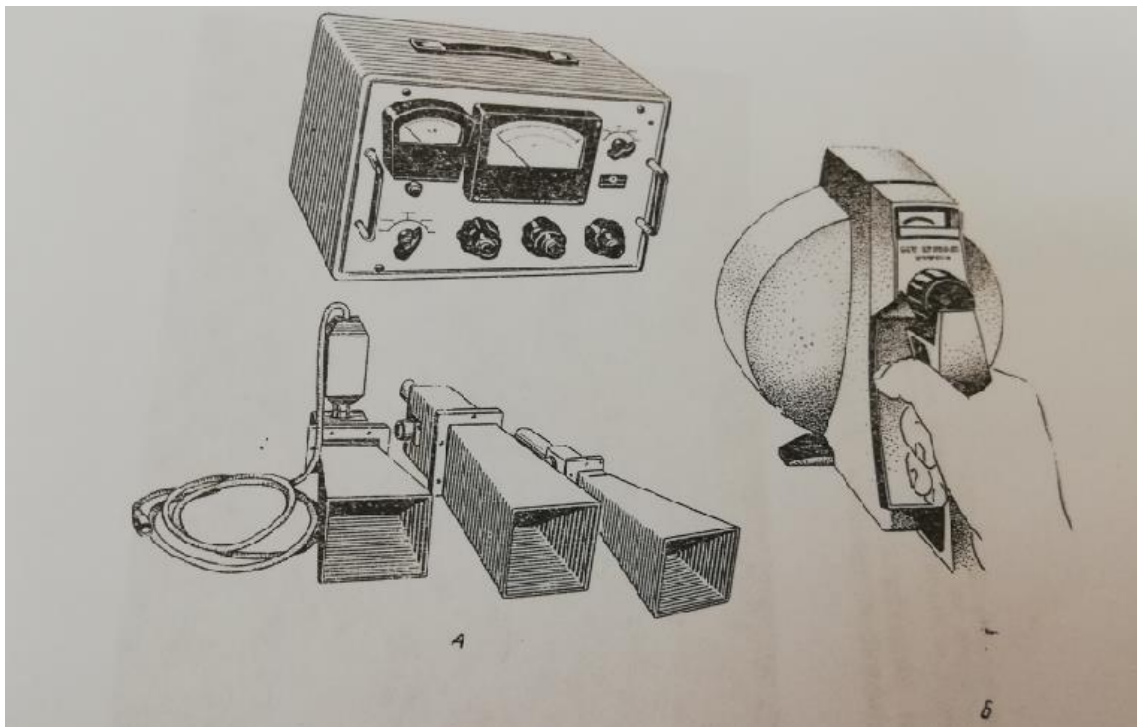


Рисунок 22 – Приборы для измерения интенсивности облучения в СВЧ диапазоне А) – «Медик» 150 – 16700 МГц. Б) - Б86Е1 (200-10000 МГц.)



Рисунок 23 – Прибор для измерения интенсивности облучения в СВЧ диапазоне.

Значения излучения электромагнитного поля [27].

Значения электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м)

Значения магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT или в милли Гауссах - mG), eme54.by

Рассмотрим на каких значениях электромагнитное поле оказывает влияние на человека.

Значения электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м)

0-10 В/м – Безопасно;

10-25 В/м - Немного фонит;

25- 40 В/м - Предельно допустимое;

40-100 В/м - Есть влияние;

100-200 В/м - Влияет на здоровье человека;

200 В/м и более - Опасно для здоровья человека.

Значения магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT или в миллиГауссах - mG)

Измерение магнитного поля в Микро Тесла:

0,0-0,15 μT - Безопасно;

0,15-0,25 μT - Немного фонит;

0,25-0,4 μT - Предельно допустимое

0,4-1,0 μT - Влияет на здоровье человека;

1,0-2,0 μT - Сильное влияние на здоровье человека;

2,0 μT и более - Опасно для здоровья человека.

Измерение магнитного поля в миллиГауссах:

0-1,5 mG - Безопасно (зеленый уровень)

1,5-2,5 mG -Предельно допустимое (желтый уровень)

2,5-10 mG - Влияет на здоровье человека (оранжевый уровень)

10 mG и более - Опасно для здоровья человека (красный уровень)

Результат замеров электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м), магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT или в миллиГауссах - mG) представлено в таблице, где желтым выделен предельно допустимый уровень, красным выделены значения опасные для здоровья [4, 28, Приложение 1].

Таким образом, результатом обслуживания в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (гусеничных и колесных машин с электрической силовой установкой) может являться выявление и устранение мест генерации электромагнитных полей, которые могут нарушить электромагнитную безопасность, это у аккумуляторных автомобилей (батарейные с питанием от аккумуляторов или супер конденсаторов, заряжаемые преимущественно от розетки), гибридных транспортных средств подлежат проверке тяговый привод, силовая электроника, буферный накопитель, двигатель внутреннего сгорания, асинхронный электропривод, электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов, мотор – генератор, активные части асинхронных тяговых электродвигателей, что требует корректировки диагностической карты автомобиля [Приложение 2].

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ И ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.

Современный транспортный сектор активно трансформируется в сторону электрификации, что обусловлено стремлением к снижению выбросов парниковых газов и загрязнения окружающей среды. Электромобили, как ключевые представители этого тренда, характеризуются наличием энерговооруженных тяговых батарей, силовой электроники (инверторов, преобразователей), мощных электродвигателей и протяженных высоковольтных кабельных систем [29]. Эти компоненты, в процессе своей работы, неизбежно генерируют электромагнитные поля как промышленной частоты (от бортовой сети 12/48В), так и более высоких частот (от ШИМ-управления двигателем и преобразователями). Воздействие электромагнитных полей на биологические объекты, включая человека, является предметом интенсивных научных исследований на протяжении десятилетий. Установлено, что выраженность потенциально негативных эффектов (как тепловых, так и нетепловых) зависит от ключевых параметров полей: интенсивности (величины напряженности электрического (Е) и магнитного (Н) полей или плотности потока мощности), частоты, продолжительности воздействия, а также индивидуальных особенностей организма.

В контексте автотранспорта, вопрос воздействия электромагнитного поля на водителя и пассажиров традиционно не являлся центральным, поскольку основные источники электромагнитных полей в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания – система зажигания, генератор, некоторые датчики – обычно характеризуются относительно низкими уровнями излучения и/или локализованы в моторном отсеке, удаленном от салона. Однако ситуация кардинально меняется с распространением гибридных электромобилей (HEV) и, особенно, полностью электрических транспортных средств (BEV). Их конструктивные особенности – концентрация значительного количества мощной электроники и высокоэнергетических компонентов (батарей с напряжением 400-800В и выше, силовых кабелей с токами в сотни ампер) в пределах компактного кузова – создают принципиально иную электромагнитную обстановку внутри салона. Более того, силовые кабели и батареи зачастую располагаются в непосредственной близости от зон размещения пассажиров (под полом, в тоннеле, в задней части салона). Это вызывает обоснованную озабоченность в отношении возможного повышенного воздействия электромагнитного поля на людей в салоне, особенно при длительных поездках.

Особое внимание уделяется магнитным полям низкой частоты (ПНЧ, 3-3000 Гц), генерируемым протеканием больших токов по силовым цепям при движении и зарядке электромобиля. Эпидемиологические исследования, хотя и не всегда однозначные, указывают на возможную связь хронического воздействия повышенных уровней магнитных полей ПНЧ с определенными рисками для здоровья. Хотя механизмы таких воздействий активно изучаются,

международные организации (такие как Международная комиссия по защите от неионизирующих излучений - ICNIRP) и национальные регуляторы (например, СанПиН, директивы ЕС) разработали нормативы, устанавливающие предельно допустимые уровни (ПДУ) воздействия ЭМП для населения и профессионалов. В электронных учебно-методических материалах приведена экспериментальная оценка соответствия интенсивности электромагнитных полей (с акцентом на электрическое (E) и магнитное (H) поля в диапазоне от ПНЧ до десятков кГц), измеренных внутри салона современных электромобилей в различных режимах эксплуатации (стоянка, движение на разных скоростях, зарядка), нормам безопасности, установленным международными (ICNIRP) и/или национальными стандартами. Актуальность разработки данных материалов обусловлена стремительным ростом парка электромобилей и отсутствием широко представленных в научной литературе комплексных измерений реальных уровней ЭМП в салонах серийных электромобилей с их сопоставлением с действующими гигиеническими нормативами.

Кроме рисков, связанных непосредственно с ЭМП, важно учитывать и динамический характер эксплуатации транспортного средства. Нагрузки (механические, термические, электрические), возникающие при работе электромобиля, воздействуют на его конструктивные элементы, приводя к их постепенному изменению (старению, износу). Помимо ожидаемых эксплуатационных неисправностей, всегда существует вероятность внезапных отказов компонентов электросистемы вследствие изменения их технического состояния, внешних факторов (вибрация, удары, перепады температур) или дорожных условий. Такие отказы потенциально могут привести к кратковременным, но значительным всплескам уровней ЭМП или изменению их пространственного распределения в салоне, что также требует рассмотрения в контексте электромагнитной безопасности. Данное исследование вносит вклад в понимание реальных уровней ЭМП внутри электромобиля и их соответствия установленным порогам безопасности, что является важным фактором для оценки экологической составляющей эксплуатации электромобиля в части воздействия на человека.

Материал и методы

Объектом исследования являлся автомобиль Nissan Leaf 2013 года выпуска с электродвигателем мощностью 90 кВт и батареей 24 кВт*ч.

Методы измерения. Измерения электрических и магнитных полей осуществлялось с использованием универсального прибора NENG CN902 (производитель: Shenzhen Nengjian Technology Co., Китай). Общий вид прибора показан на рисунке .



Рисунок 24 – . Общий вид прибора NENG CN902

Прибор обладает следующими техническими характеристиками (таблица 2):

Таблица 2 – Технические характеристики прибора NENG CN902

Параметр	Характеристики
Измеряемые поля	• Электрическое поле (E) в диапазоне 10–1999 В/м • Магнитное поле (H) в диапазоне 0.01–99.99 мкТл
Частотные диапазоны	• Электрическое поле: 50 МГц – 3.5 ГГц (СВЧ-диапазон) • Магнитное поле: 30 Гц – 300 Гц (НЧ диапазон)
Точность измерений	• ± 7 дБ (для E-поля в диапазоне 100 МГц–3.5 ГГц) • $\pm 10\%$ (для H-поля на частоте 50/60 Гц)
Разрешение	• 1 В/м (электрическое поле) • 0.01 мкТл (магнитное поле)
Датчики	• Встроенный трехосевой датчик E-поля • Катушечный датчик H-поля
Дополнительные функции	• Звуковая сигнализация • Фиксация пиковых показаний (MAX HOLD) • ЖК-дисплей с подсветкой
Сертификация	Соответствует стандартам CE, RoHS

Выбор прибора был обоснован следующими критериями:

– способность измерять как низкочастотные магнитные поля (от силовых кабелей и батарей), так и высокочастотные электрические поля (от ШИМ-контроллеров и преобразователей);

– портативность и возможность оперативного замера в стесненных условиях салона автомобиля;

– диапазоны измерений охватывают характерные частоты работы силовых компонентов ЭМ (50 Гц – 20 кГц для H-поля; до 3.5 ГГц для E-поля от ШИМ-систем).

Погрешности измерений. Погрешность измерений учитывалась согласно технической документации:

– для магнитного поля: $\pm(10\% + 5 \text{ ед. младшего разряда})$

– для электрического поля: ± 7 дБ в рабочем диапазоне

Обработка данных. Проводилось трехкратное измерение в каждой точке с вычислением среднего.

Методика оценки результатов. Полученные значения сравнивались с международными и национальными нормативами:

- ICNIRP. Рекомендации по ограничению воздействия переменных электрических и магнитных полей (1 Гц – 100 кГц). 2010 [8];
- СанПиН 2.1.2.1003-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»;
- Директива 2013/35/ЕС о минимальных требованиях к охране здоровья и безопасности в отношении воздействия электромагнитных полей на работников;
- ICNIRP. Рекомендации по ограничению воздействия переменных электрических и магнитных полей (100 кГц – 300 ГГц). 2020;
- Постановление министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 июня 2013 г. № 59.

Также учитывались требования стандарта ТР РБ 020-2020.

Особенности ЭМП, возникающих в ЭМ, и их измерения

Конструктивные особенности электромобиля делают их источником электромагнитных полей. Современные электромобили представляют собой сложные технические системы, чья архитектура принципиально отличается от традиционных транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания. Ключевыми компонентами, определяющими их функциональность, являются:

1. Высокоемкие тяговые батареи – обеспечивающие запас энергии, но характеризующиеся значительной массой и габаритами. Их размещение (часто под полом салона или в багажном отсеке) создает протяженные источники постоянного тока и низкочастотных магнитных полей вблизи зон пассажиров.

2. Многоуровневые силовые преобразователи (инверторы DC/AC, преобразователи DC/DC) – необходимые для управления электродвигателем и питания бортовой сети 12/48В. Их работа основана на широтно-импульсной модуляции (ШИМ), генерирующей высокочастотные гармоники (от единиц до десятков кГц и выше).

3. Распределенные электронные системы управления – глубоко интегрированные не только в управление силовыми агрегатами (регуляция момента двигателя, рекуперативное торможение), но и во вспомогательные системы (климат-контроль, информационно-развлекательный комплекс) и, что критически важно, в системы активной и пассивной безопасности (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems, диагностика неисправностей). Эта всепроникающая электроника формирует сложную электромагнитную обстановку внутри салона.

При работе электромобиля – как в статическом режиме (зарядка, «готовность»), так и в динамическом (движение, разгон/торможение) – его силовые компоненты неизбежно генерируют электромагнитные поля в широком спектре частот:

1. Низкочастотные (LF) магнитные поля (ПНЧ, 30 Гц – 2 кГц) обусловлены протеканием больших токов (сотни ампер) по силовым кабелям, соединяющим батарею, инвертор и двигатель, а также работой двигателя. Интенсивность этих полей максимальна вблизи токонесущих элементов и зависит от мгновенной мощности.

2. Высокочастотные (HF) электрические и магнитные поля (2 кГц – 20 МГц и выше) возникают из-за быстрого переключения ключевых элементов

(IGBT, MOSFET) в инверторах и преобразователях (высокие значения dV/dt , dI/dt). Основные составляющие сосредоточены на частоте ШИМ и ее гармониках.

Концентрация мощных источников ЭМП в непосредственной близости от пассажирского салона (расположение батарей под полом, силовых кабелей в центральном тоннеле и инверторов в моторном отсеке/салоне) создает потенциальные риски, требующие системного подхода. Необходимо проведение инструментальных измерений напряженности электрического и магнитного полей в ключевых точках салона (зоны размещения водителя и пассажиров) при различных режимах эксплуатации ТС (стоянка, зажигание, движение на разных скоростях, зарядка). Полученные данные должны сравниваться с ПДУ, установленными международными (ICNIRP 2010, 2020) и национальными (СанПиН 2.1.2.1003-00, ТР РБ 020-2020) стандартами для защиты населения от установленных вредных эффектов электромагнитного поля.

На рисунке 25 показана схема принципиальной компоновки ЭМ Nissan Leaf Gen1.

Протокол измерений включал калибровку прибора с верификацией нулевых показаний в зоне с фоновым уровнем ЭМП (>50 м от электрооборудования).

Точки измерения были выбраны в соответствии с распределением зон риска возникновения опасных уровней электромагнитных полей были выбраны следующие точки измерения: ноги, руки на руле, руки возле консоли, тело в области кресла, голова.

Режимы работы транспортного средства были выбраны в соответствии с их предположительным влиянием на интенсивность электромагнитных полей:

Режим 0: Все системы выключены

Режим 1: Зажигание включено (двигатель в режиме готовности)

Режим 2: Движение на малой скорости (5-10 км/ч)

Режим 3: Движение на крейсерской скорости (40-60 км/ч)

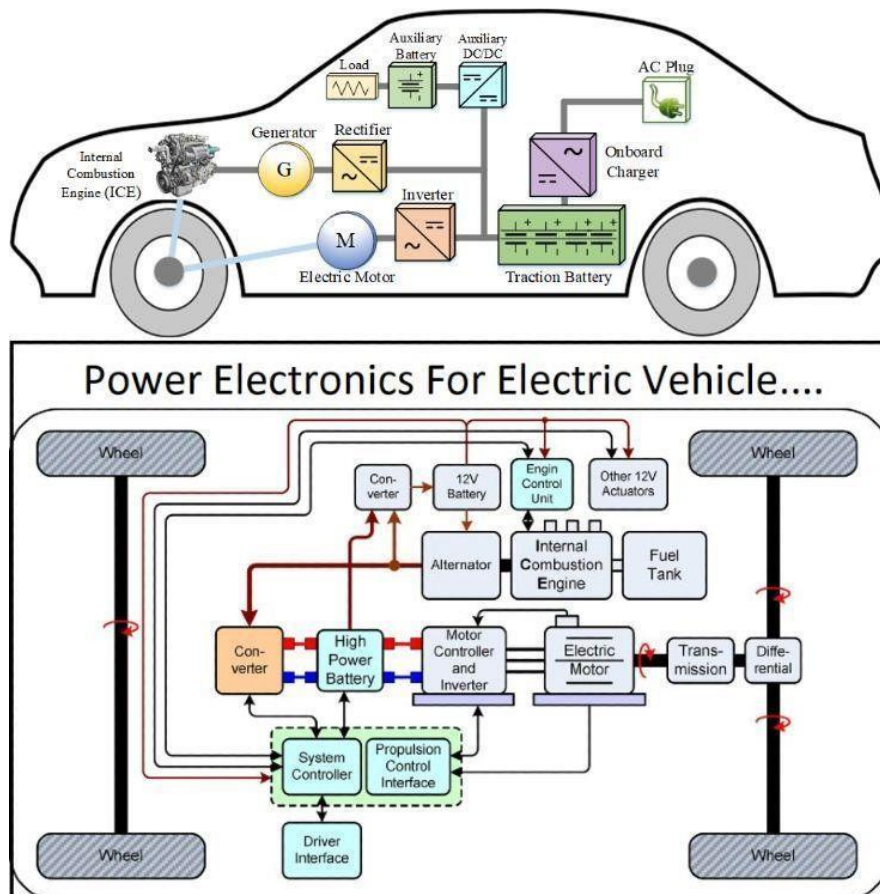


Рисунок 25. – Принципиальная схема компоновки ЭМ Nissan Leaf Gen1

На рисунке 26 показана процедура замера интенсивности электромагнитных полей.



Рисунок 26. - Процедура замера интенсивности электромагнитных полей.

Длительность замера составляла 3 минуты на точку с фиксацией среднего значения (AVG) и максимального значения (MAX HOLD) и повторялась для каждого режима три раза.

Обработка результатов состояла в вычислении среднего значения по трем измерениям.

Результаты измерений

Измерение электромагнитного поля в подкапотном пространстве и багажнике.

ПДУ трактуются в различных нормативных документах различным образом для помещений, для населения и для профессионалов. Есть снования считать, что для подкапотного пространства и багажного отделения целесообразно применять ПДУ для профессионалов. Результаты замеров электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м), магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT) в указанных пространствах представлены в таблице .

Таблица 3. – Результаты замеров электрического и магнитного поля в подкапотном пространстве и багажном отделении.

Точка замера	Режим	B, $\mu\text{Tл}$	E, В/м	Превышени е ПДУ
На инверторе	Без зажигания	0,54	0	-
	Зажигание включено	0,86	24	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	65,21	28	-
	На полном ходу (20-40 км/ч)	78,21	28	-
На электродвигателе	Без зажигания	0,0	0	-
	Зажигание включено	0,83	24	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	63,25	24	-
	На полном ходу (20-40 км/ч)	75,18	29	-
Между двигателем и инвертором	Без зажигания	0,16	0	-
	Зажигание включено	0,83	24	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	26,70	24	-
	На полном ходу (20-40 км/ч)	35,15	24	-
В багажном отсеке	Без зажигания	0,28	0	-
	Зажигание включено	0,51	0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	7,80	22	-
	На полном ходу (20-40 км/ч)	28,38	30	-

Следует констатировать, что ни в одной из точек не были превышены значения ПДУ для профессионалов.

Измерение электромагнитного поля в салоне.

Анализируя величины электрических и магнитных полей в салоне автомобиля следует ориентироваться на национальные нормативы для населения, а также предполагать, что в любом месте салона может оказаться ребенок, поэтому целесообразно соотносить полученные данные с нормативами для детей. В постановлении Минздрава РБ № 59 от 28 июня 2013 указано, что при длительном нахождении рядом с электронными приборами не должно быть электрического поля с произвольными частотами более 25 В/м и магнитного поля с индукцией более 0,25 $\mu\text{Tл}$

В таблицах и приводятся результаты замеров электрического и магнитного поля на месте водителя и местах пассажиров соответственно.

Таблица 4. – Результаты замеров электрического и магнитного поля на месте водителя.

Точка замера	Режим	В, $\mu\text{Тл}$	Е, В/м	Превышение ПДУ
Ноги	Без зажигания	0,1	0,0	-
	Зажигание включено	0,1	31	по Е
	На малом ходу (до 10 км/ч)	1,40*	41*	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	1,58*	49*	по В; по Е
Руки на руле	Без зажигания	0,0	0,0	-
	Зажигание включено	0,0	29	по Е
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,30	25	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,49	27	по В; по Е
Руки возле консоли	Без зажигания	0,11	24	-
	Зажигание включено	0,0	39*	по Е
	На малом ходу (до 10 км/ч)	1,72*	45*	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	1,83*	40*	по В; по Е
Тело (кресло)	Без зажигания	0,0	0,0	-
	Зажигание включено	0,0	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,64	37	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,42	37	по В; по Е
Голова	Без зажигания	0,0	0,0	-
	Зажигание включено	0,0	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,32	29	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,40	29	по В; по Е

Таблица 5. – Результаты замеров электрического и магнитного поля на месте пассажира.

Точка замера	Режим	В, $\mu\text{Тл}$	Е, В/м	Превышение ПДУ
Ноги	Без зажигания	0,0	71	-
	Зажигание включено	0,0	104	по Е
	На малом ходу (до 10 км/ч)	1,19	110	по В; по Е
	На полном ходу (20-40 км/ч)	12,47	107	по В; по Е
Тело (кресло)	Без зажигания	0,0	0,0	-
	Зажигание включено	0,0	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,86	0,0	по В
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,90	0,0	по В
Голова	Без зажигания	0,0	0,0	-
	Зажигание включено	0,0	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,90	0,0	по В
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,97	0,0	по В

Таблица 6. – Результаты замеров электрического и магнитного поля на месте пассажира заднего ряда

Точка замера	Режим	В, $\mu\text{Тл}$	Е, В/м	Превышение ПДУ
Ноги	Без зажигания	0,26	41	по В; по Е
	Зажигание включено	0,15	63	по В; по Е
	На малом ходу (до 10 км/ч)	5,49	67	по В; по Е

	На полном ходу (20-40 км/ч)	28,77	67	по В; по Е
Тело (кресло)	Без зажигания	0,11	0,0	-
	Зажигание включено	0,11	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,36	0,0	по В
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,48	0,0	по В
Голова	Без зажигания	0,11	0,0	-
	Зажигание включено	0,11	0,0	-
	На малом ходу (до 10 км/ч)	0,25	0,0	
	На полном ходу (20-40 км/ч)	0,32	0,0	по В

Установлено, что в различных местах салона значения электрического и магнитного полей значительно превышают нормы, установленные Минздравом РБ для условий длительного пребывания. На месте водителя на полном ходу электрическое поле достигает 49 В/м в области ног, а магнитное поле 1,83 μT в области консоли. На месте пассажира эти величины достигают соответственно 110 В/м и 12,47 μT , а на месте пассажира в заднем ряду – 67 В/м и 28,8 μT .

Таким образом, показано, что фактические величины электромагнитных полей в электромобиле могут кратно превышать установленные Минздравом нормативы. Из чего следует либо повышение требований к экранированию полей, либо пересмотра рекомендованных норм в соответствии с новой реальностью.

Полученные результаты также могут быть оценены с точки зрения влияния на здоровье человека по результатам различных биомедицинских исследований. Так в работе приводятся следующие градации электромагнитных полей и их влияния на здоровье. Значения электрического поля:

- 0-10 В/м – Безопасно;
- 10-25 В/м – Незначительный фон;
- 25- 40 В/м – Предельно допустимое значение;
- 40-100 В/м – Есть влияние на здоровье человека;
- 100-200 В/м – Существенно влияет на здоровье человека;
- 200 В/м и более – Опасно для здоровья человека.

Значения магнитного поля;

- 0,0-0,15 μT – Безопасно
- 0,15-0,25 μT – Незначительный фон;
- 0,25-0,4 μT – Предельно допустимое значение;
- 0,4-1,0 μT – Есть влияние на здоровье человека;
- 1,0-2,0 μT – Сильное влияние на здоровье человека;
- 2,0 μT и более – Опасно для здоровья человека.

С точки зрения данного классификатора максимальные величины зафиксированных нами значения электрического поля попадают в диапазон «Существенно влияет на здоровье человека», а магнитного поля – в диапазон «Опасно для здоровья человека».

Проведенное экспериментальное исследование интенсивности электромагнитных полей в салоне современного электромобиля позволяет сформулировать следующие основные выводы:

1. Конструктивные особенности электромобилей, связанные с размещением мощных источников электромагнитного поля (тяговой батареи, силовых кабелей, инверторов) в непосредственной близости от пассажирского салона, формируют в нем принципиально иную электромагнитную обстановку по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания.

2. Результаты инструментальных измерений убедительно демонстрируют, что во время движения электромобиля уровни как электрического, так и магнитного поля в зонах нахождения людей (водителя и пассажиров) значительно превышают предельно допустимые уровни, установленные санитарными нормами Республики Беларусь (Постановление Минздрава № 59) для условий длительного пребывания (25 В/м и 0,25 мкТл). Наиболее высокие уровни зафиксированы в области ног пассажиров, где магнитное поле достигало 28,77 мкТл (превышение в 115 раз), а электрическое поле — 110 В/м (превышение в 4,4 раза).

3. Сравнительный анализ с международными нормативами ICNIRP, которые устанавливают менее строгие ограничения для профессионального и общего облучения, показал, что в салоне превышений не зафиксировано. Однако данный факт не снимает вопрос о безопасности, так как стандарты ICNIRP основаны на острых, кратковременных тепловых эффектах, в то время как национальные нормативы РБ ориентированы на профилактику потенциальных долгосрочных нетепловых эффектов при хроническом воздействии.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о существующем разрыве между действующими техническими решениями в области электромобилестроения и строгими гигиеническими нормативами, предназначенными для защиты здоровья населения от хронического воздействия электромагнитного поля. На основании изложенного можно утверждать, что для обеспечения электромагнитной безопасности пассажиров необходимы:

1. Со стороны производителей: разработка и внедрение более эффективных методов экранирования высоковольтных компонентов и кабельных трасс.

2. Со стороны регуляторов и научного сообщества: проведение дальнейших масштабных исследований на различных моделях электромобилей для накопления репрезентативной статистики и, возможно, пересмотр и унификация нормативной базы, учитывающей новые реалии транспорта и последние научные данные о нетепловых эффектах ЭМП.

Допустим, что напряжение генератора при постоянных (рабочих) оборотах двигателя равно 200 в, а сила тока, идущего к электромоторам, 100 а; при этом машина развивает определенную скорость. Пусть сопротивление движению машины увеличилось. Обороты электромоторов упадут, и скорость уменьшится. Уменьшение числа оборотов якоря электромотора вызовет увеличение силы тока вследствие уменьшения противоэлектродвижущей силы. С увеличением силы тока сила тяги также увеличится. Однако поскольку увеличивается сила тока, проходящего по регулирующей обмотке генератора, его полюсы будут размагничиваться, и напряжение генератора уменьшится.

Таким образом, при увеличении сопротивления движению автоматически снизится скорость машины, а крутящий момент на ведущих колесах и сила тяги увеличатся; вместе с тем из-за увеличения силы тока, проходящего по регулирующей обмотке генератора, его напряжение уменьшится.

Обмотки генератора рассчитаны так, что мощность его останется примерно прежней. Допустим, что сила тока увеличится до 200 а , а напряжение упадет до 100 в ; мощность будет та же самая, так как $200\text{ в} \times 100\text{ а} = 100\text{ в} \times 200\text{ а} = 20\,000\text{ вт}$, или 20 кВт .

Таким образом, электропередача, подобно гидравлической передаче потоком, является непрерывной и автоматической: скорость движения машины и сила тяги устанавливаются автоматически в зависимости от сопротивления движению.

Если уменьшить обороты двигателя, напряжение генератора упадет вследствие снижения числа оборотов якоря и уменьшения магнитного потока полюсов, так как уменьшится сила тока, вырабатываемого возбуждателем. Это приведет к снижению скорости машины. Когда по условиям движения машина не может двигаться с высшей скоростью, допускаемой сопротивлением дороги, водитель может при помощи реостатов увеличить силу тока в обмотках возбуждения электромоторов. При увеличении силы тока в обмотках возбуждения обороты электромоторов снизятся, вследствие чего скорость машины также станет меньше. Кроме того, можно регулировать силу тока в обмотках возбуждения дополнительного генератора.

Электрическая непрерывная автоматическая трансмиссия, так же как и гидротрансформатор, имеет внутренние потери, причем эти потери тем больше, чем больше отличается режим движения машины — его скорость от той скорости, на которую, как на самую употребительную, была рассчитана электротрансмиссия. Так, например, если при расчете была принята скорость 30 км/час , то работа на других скоростях (20 или 40 км/час) будет сопровождаться потерями, тем большими, чем больше отличается скорость движения от расчетной скорости. Поэтому диапазон скоростей электротрансмиссии обычно ограничивают величиной $4\text{—}5$; в этом диапазоне электрическая трансмиссия может работать экономично. Для увеличения общего диапазона к электрической трансмиссии добавляют обычный демультипликатор на две передачи. Это позволяет расширить диапазон до 10 , что для машины вполне достаточно.

На рисунке 27 представлена характеристика идеализированного электропривода [30].

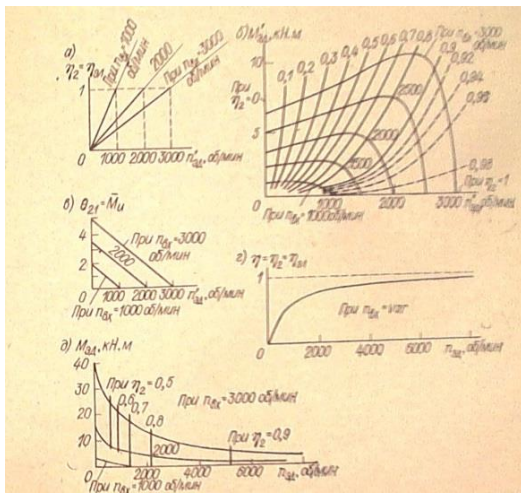


Рисунок 27 – Характеристика идеализированного электропривода.

Из рисунка 27 видно, что в рассматриваемом идеализированном электроприводе коэффициент полезного действия в рассматриваемом электроприводе пропорционален абсолютному скольжению, при этом было применено упрощающее предположение о прямолинейных магнитных характеристиках и об отсутствии магнитных и механических потерь.

В качестве примера рассмотрим трансмиссию трактора ДЭМТ-350, общая масса которой составляет 2150 кг. Многоступенчатая трансмиссия трактора ДЭМТ-350 состоит из непрерывной электромеханической передачи (электромеханического привода) с параллельными потоками мощности в ветвях и из механической ступенчатой передачи на ее входе. На рисунке 28 показана механическая схема трансмиссии трактора ДЭМТ-350.

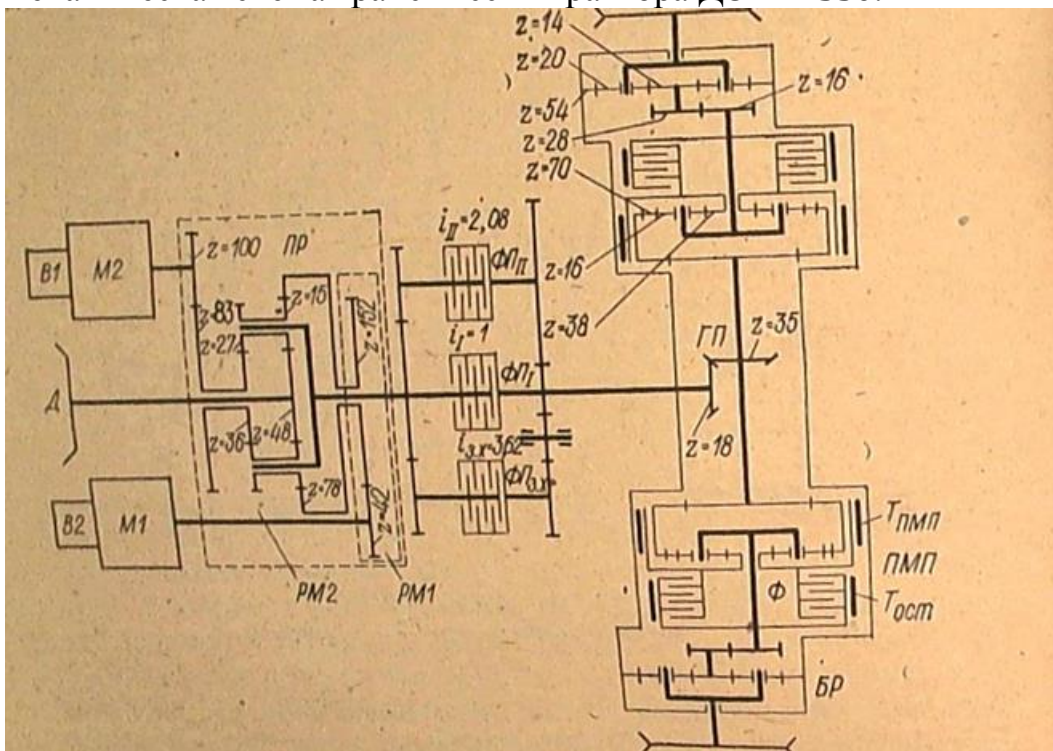


Рисунок 28 - Механическая схема трансмиссии трактора ДЭМТ-350.

Где Д – тепловой двигатель (дизель); М1 -1-я электрическая машина; РМ 1 – редуктор М1; М 2 – 2-я электрическая машина; РМ 2 – редуктор М2; В 1 - возбуждатель машины М1; В2 - возбуждатель машины М2; ПР – планетарный ряд ФН_I, ФН_{II}, ФП з.х. – фрикционные передачи соответственно I и II второй

ступеней переднего и заднего хода: ГП – главная передача; ПМП – планетарный механизм поворота; Тмп – тормоз ПМП; Ф – муфта; Тост – остановочный тормоз; БР – бортовой редуктор; z – число зубьев шестерен.

Электромеханическая передача состоит из четырехзвенного планетарного ряда, согласующих передач машин РМ1, РМ2 и самих машин М1 и М2. Электропривод М1-М2 при его работе совместно с механизмом может обеспечить характеристику с двукратным обращением режима работы электропривода. Электрические машины присоединены к основному механизму через постоянные согласующие передачи М1 и М2.

На рисунке 29 показана электрическая схема трансмиссии трактора ДЭМТ-350.

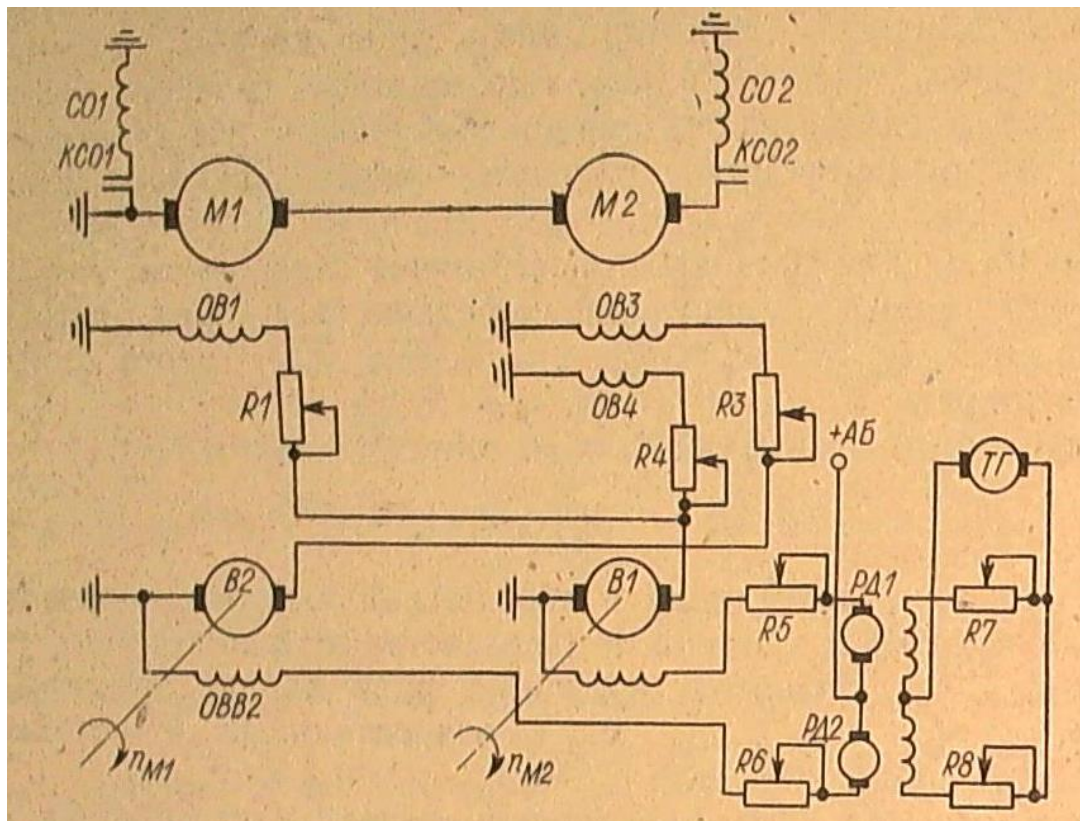


Рисунок 29 - Электрическая схема трансмиссии трактора ДЭМТ-350.

Где М1, М2 – основные тяговые электрические машины ЭМТ; ОВ1, ОВ3 – обмотки возбуждения машин М1, М2; ОВ4 – дополнительная независимая обмотка возбуждения машины М2; В1, В2 – возбудители машин М1, М2; ОВВ1, ОВВ2 – обмотки возбуждения возбудителей В1, В2; РД1, РД2 – регулировочные моторчики регулятора ЭМТ; ТГ – тахогенератор; R1, R3, R4 – регулируемые сопротивления (от контроллера); R5, R6, R7, R8 – регулируемые сопротивления для настройки режима регулирующих моторчиков; CO1, CO2, KCO1, KCO2 – обмотки последовательного возбуждения (пусковые) машин М1, М2 и их контакты включения; АБ – аккумуляторная батарея.

Технические характеристики машин М1 и М2:

Мощность, к Вт – 103;

Частота вращения, об/мин – 2850;

Момент, Н * м – 490;

Э.д. с., В – 535:

Сила тока, А – 200;
Сопротивление обмотки якоря при 75°C, Ом – 0,068;
Сопротивление обмоток последовательного возбуждения при 75°C, Ом – 0,0073;
Сопротивление обмоток добавочных полюсов при 75°C, Ом – 0,0351;
Диаметр якоря, мм – 275;
Диаметр якоря, мм – 310;
Диаметр машины, мм – 515;
Длина машины, мм – 800;
Масса машины (без лап и вентилятора), кг – 690;
Габаритный объем, дм³ - 156

Эти показатели обязательны при проверке в автосервисе электроустановок, которые используются в качестве силового двигателя в электромеханической трансмиссии с параметрами, заявленными для автомобиля конкретной марки.

На базе машины ДК-509-А были изготовлены машина М1 и М2 для трактора ДЭМТ – 350, причем в машинах переделаны только обмотки возбуждения. Машина ДК – 509 – А – М1 имеет одну обмотку независимого возбуждения с 75 витками на полюс и сопротивлением катушки 0, 476 Ом, а машина ДК – 509 – А – М2 – две обмотки независимого возбуждения; одну основную, такую же как и обмотка независимого возбуждения машины М1, и другую дополнительную с 15 витками на полюс и сопротивлением катушки 0,0768 Ом. Кроме того, в машинах различны и обмотки последовательного возбуждения: М1 с четырьмя витками на полюс (СО1) и М2 с 4,5 витками на полюс (СО2). Эти обмотки используются только при пуске дизеля.

Магнитные характеристики машины ДК-509-А (М1 и М2) пропорциональны магнитному потоку. В качестве возбудителей В1 и В2 применены генераторы Г-732, а в качестве тахогенераторов – тахогенераторы МЭТ8/55 в морском исполнении. В электромеханической трансмиссии трактора ДЭМТ – 350 используется только один нулевой режим (одно обращение режима электропривода). Это получается вследствие того, что дополнительная обмотка возбуждения ОВ4 имеется только в машине М2, предназначенной для обращения своего режима в процессе регулирования передачи. Основные обмотки возбуждения машин М1 и М2 (ОВ1 и ОВ3) питаются от возбудителей В1 и В2, включенных в механическую схему перекрестно. Обмотки возбуждения возбудителей ОВВ1 и ОВВ2 получают питание от источника постоянного напряжения бортовой сети, стабилизированного регулятором напряжения. В цепи этих обмоток включены якоря регулирующих моторчиков РД1 и РД2.

На рисунке 30 показана полная схема трансмиссии машины с мотор – колесами [6].

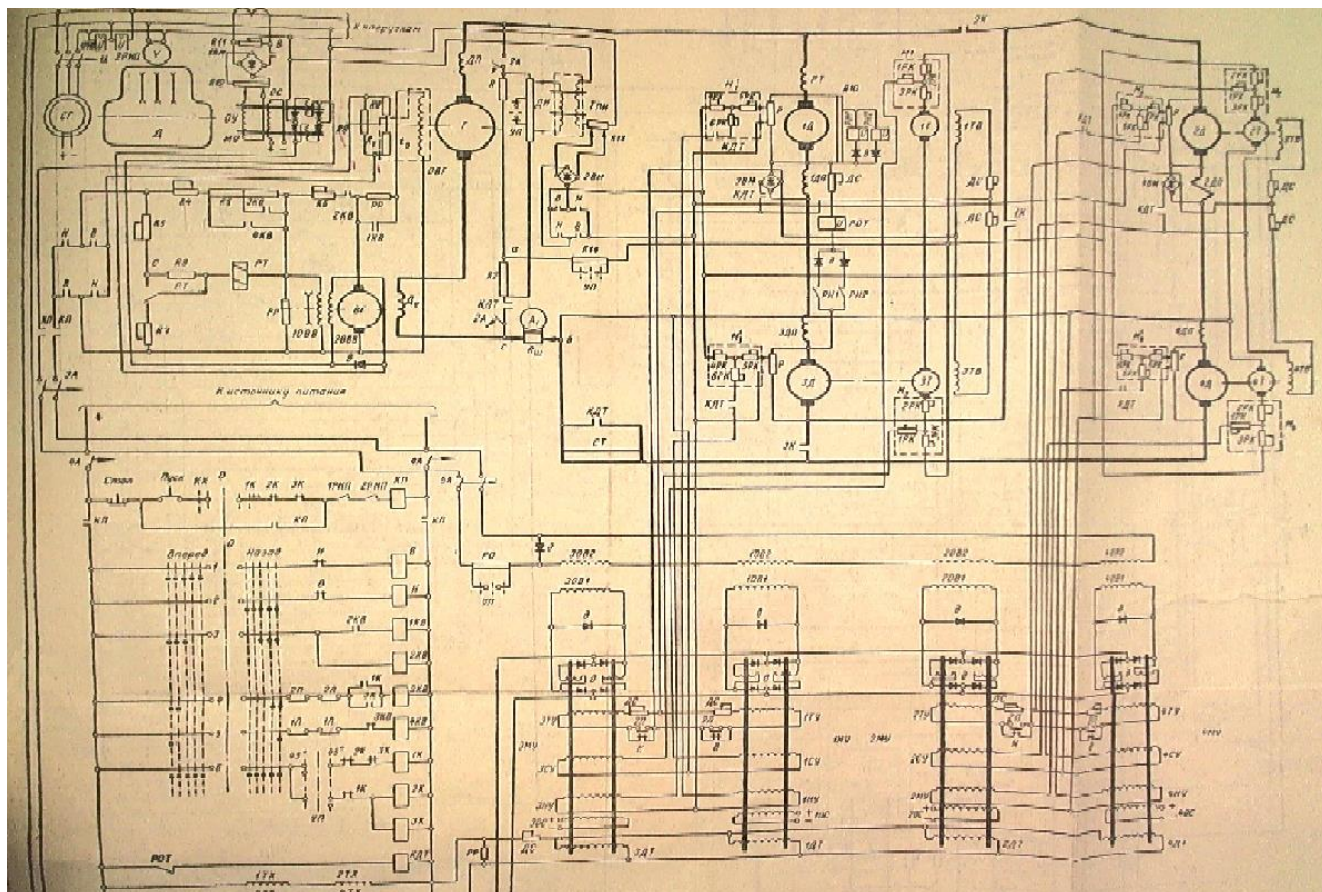


Рисунок 30 – Полная схема трансмиссии машины с мотор - колесами.

Из рисунка 30 видно, что один из возможных вариантов полной схемы дизель – электрической трансмиссии машины с четырьмя мотор-колесами представляет собой работу дизеля с постоянной скоростью вращения. Регулирование скорости движения машины осуществляется путем управления генератором и двигателями мотор – колес.

Основные особенности в следующем. Дизель Д приводит во вращение валы главного генератора Г, его возбuditеля ВГ и синхронного генератора повышенной частоты СГ, предназначенного для питания цепей возбуждения двигателей мотор-колес 1Д, 2Д, 3Д, 4Д, вспомогательных цепей схемы и вспомогательных агрегатов (вентиляторов, компрессора). Двигатель 1Д встроен в первое левое колесо, 2Д – в переднее правое, 3Д – в заднее правое, 4Д – в заднее левое. Такое расположение двигателей, составляющих последовательную цепь, уменьшает вероятность одновременного буксования колес. В схеме узла возбуждения присутствуют цепи температурной компенсации и корректировки мощности генератора Г по мощности генератора СГ, что необходимо для стабилизации мощности дизеля. Взаимное корректирование мощностей генераторов отпадает, если вспомогательные нагрузки невелики и стабильны по мощности (описание принципа работы дизель – электрической трансмиссии машины с четырьмя мотор-колесами представлено в источнике [6] с. 98 – 104).

На пневмоколесных машинах целесообразно использовать дизель в компрессорном режиме при торможении, поскольку в этом случае относительные мощности дизелей по сравнению с тепловозами значительно больше, а запасы кинетической энергии во много раз меньше. Вследствие

рекуперации части энергии при торможении на дизель и потерь ее в генераторе удастся существенно уменьшить величину и объемную мощность сопротивления СТ, вводимого в главную цепь электрических машин при торможении.

Условный теоретический график напряжений и тока при процессе комбинированного торможения с какой-либо скорости до полной остановки представлен на рисунке 31.

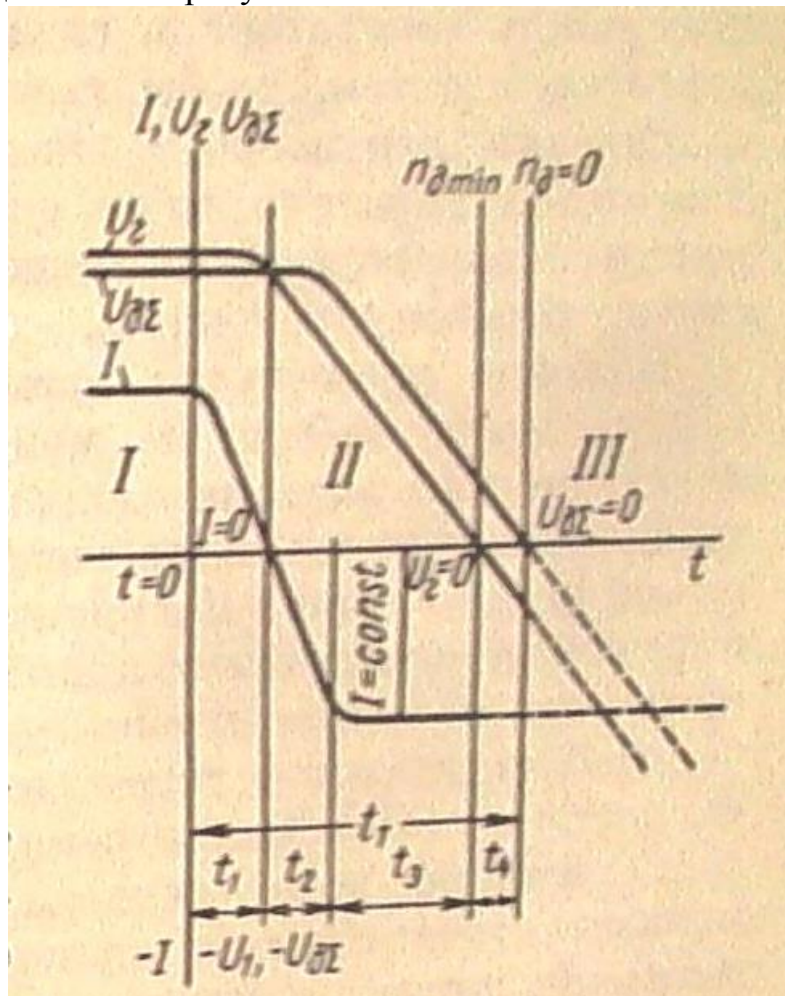


Рисунок 31– График тока и напряжения при торможении. I – режим тяги; II – режим торможения, III – режим разгона назад.

График соответствует последовательному соединению двигателей мотор-колес и генератора. До момента начала торможения ($t=0$) трансмиссия работает в режиме тяги, при котором напряжение генератора $U_{\text{г}}$ больше суммарного напряжения двигателей $U_{\text{д}\Sigma}$ на величину падения напряжения в соединительных проводах. При этом в якорной цепи электрических машин протекал ток I положительного направления. Скорость вращения двигателей имела максимальное значение.

В электромобилях, как правило, отсутствует коробка передач, поэтому регулирование общей мощности и крутящего момента должно обеспечиваться электроприводом, притом в широких диапазонах. В последнее десятилетие для привода электромобилей используются синхронные машины с постоянными магнитами, что само по себе создает условия для появления слабых магнитных полей, опасное действие которых наименее изучено биофизикой. На рисунке

представлена лабораторная установка для исследования работы синхронной машины с постоянными магнитами [31].

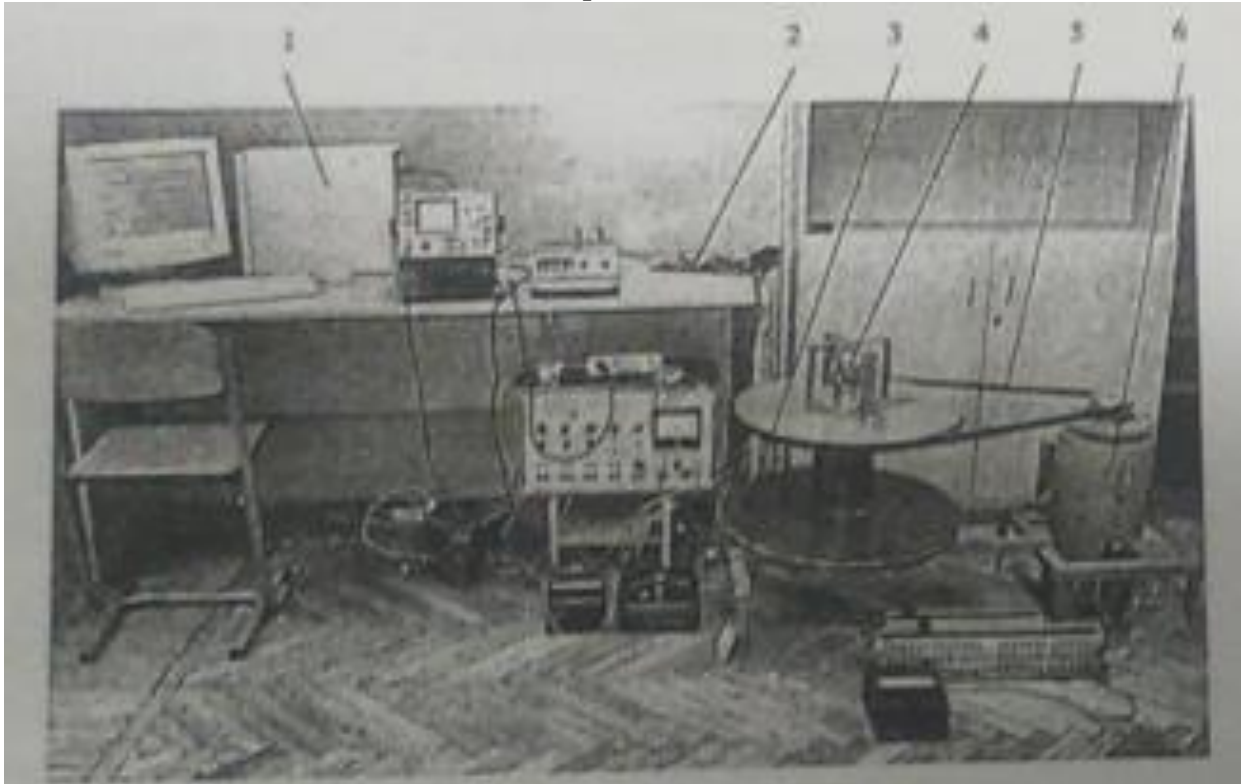


Рисунок 32 - Лабораторная установка для исследования работы синхронной машины с постоянными магнитами.

1 – компьютер, 2 – плата микроконтроллера для силовых ключей, 3 – экспериментальная синхронная машина с постоянными магнитами аксиальной конструкции, 4 – многоточечный абсолютный декодер, 5 – ременная передача, 6 – нагруженная машина постоянного тока.

Коэффициент полезного действия звена силовых потерь, представляющий собой коэффициент полезного действия электродвигателя по механическим и магнитным потерям представлен на рисунке 33 [30].

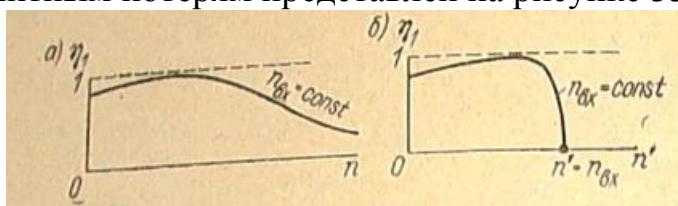


Рисунок 33 - Коэффициент полезного действия электродвигателя по механическим и магнитным потерям.

Сила тока $I = 0$ в реальных условиях это режим холостого хода генератора в электроприводе на тяговых его режимах не может быть достигнуто. В любом установившемся тяговом режиме генератор выдает со своих зажимов электрическую мощность, поскольку электродвигатель на этом режиме должен развивать момент, что видно из рисунка 34.

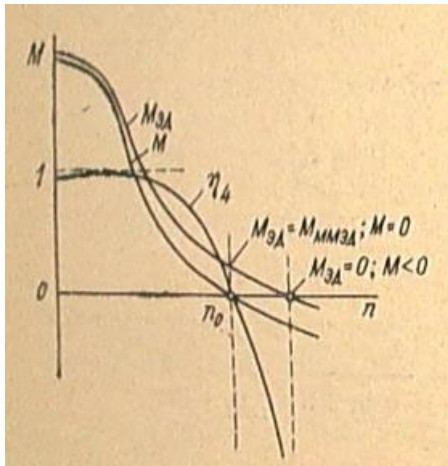


Рисунок 34— Коэффициент полезного действия.

Следовательно, на тяговых режимах электропривода практически всегда существует ограничение момента электродвигателя $M_{эд}$. Возрастание частоты вращения электродвигателя n ограничивается наличием механических и магнитных потерь, если на валу отсутствует полезная нагрузка $M=0$ то режим является холостым ходом электродвигателя. Это происходит при достижении электродвигателем некоторой предельной частоты вращения $n = n_0$, когда развиваемый им электромагнитный момент $M_{эд}$ полностью расходуется на преодоление его механических и магнитных потерь $M = 0$, $M_{эд} = M_{мм\ эд}$.

Генератор в этот момент работает с минимальны коэффициентом полезного действия. Режим $M_{эд} = 0$ идеального холостого режима электродвигателя в тяговых режимах достигается на пределе. При $n > n_0$ строго говоря уже не является коэффициентом полезного действия, у электродвигателя $M_{эд} < M_{мм\ эд}$ и недостающий момент для преодоления момента потерь сообщается ему со стороны рабочего механизма. $M_{эд} \leq 0$ электродвигатель переходит в режим генератора.

При полной силовой загрузке электропривода (при больших тяговых моментах и малой частоте вращения выходного вала коэффициент полезного действия относительно велик, и он тем выше, чем выше скоростная нагрузка электропривода, тем меньше тяговый момент и выше скорость вращения выходного вала привода. Комплектование полного коэффициента полезного действия электропривода представлено на рисунке 35.

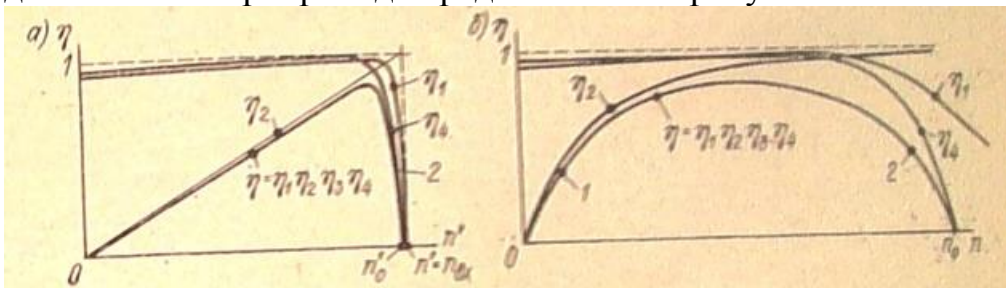


Рисунок 35 - Комплектование полного коэффициента полезного действия электропривода.

В реальном электроприводе частота вращения условно меньше бесконечности, $n_0 < \infty$; $n'_0 < n_{вх}$; $\xi = n'_0/n_{вх} < 1$ в идеализированном электроприводе без звеньев силовых потерь $n_0 = 0$; $n'_0 = n_{вх}$; $\xi = n'_0/n_{вх} = 1$. Здесь величина ξ – так называемый коэффициент отображения предельного режима. В приводе с

высоким значением максимального коэффициента полезного действия ξ со значением близким к единице. На рисунке 36 приведен коэффициент полезного действия при $n_{вх} = \text{const}$ для реального электропривода.

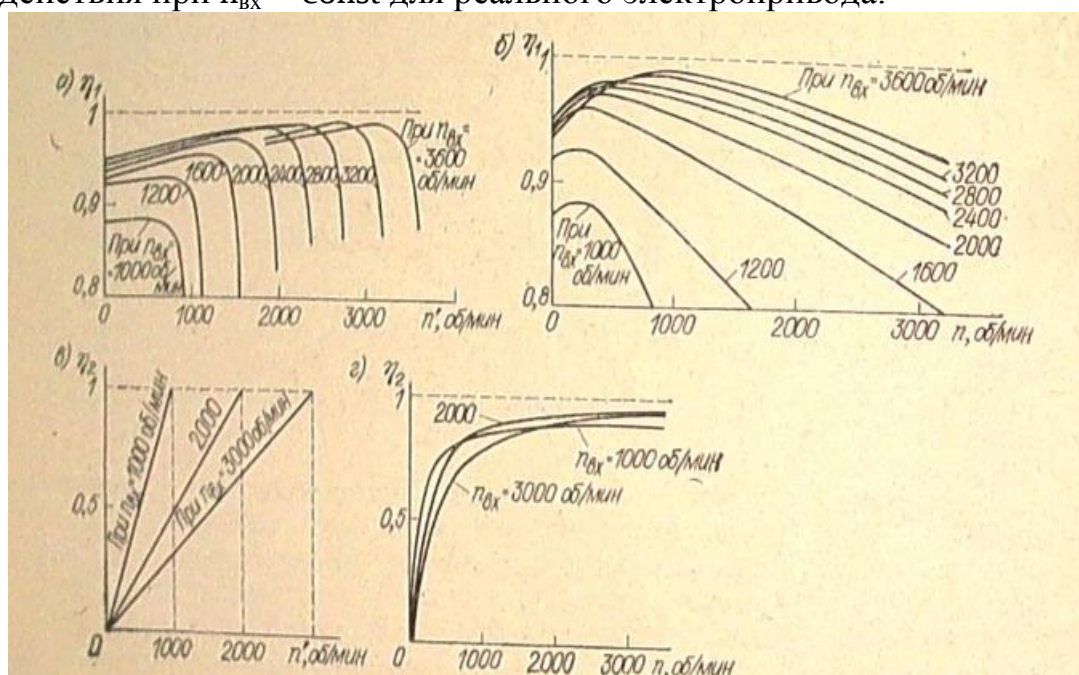


Рисунок 36 - Коэффициент полезного действия при $n_{вх} = \text{const}$ для реального электропривода.

Для перевода двигателей в генераторный режим, а генератора – в двигательный необходимо осуществить условие $U_{д\Sigma} > U_{г}$. В момент начала торможения $t=0$ путем уменьшения тока возбуждения снижается напряжение генератора, а потоки возбуждения двигателей остаются неизменными. При этом ток главной цепи уменьшится и становится равным нулю при $U_{г} = U_{д\Sigma}$. В этот момент в главную цепь электрических машин необходимо ввести сопротивление динамического торможения во избежание недопустимой рекуперации на дизель всей кинетической энергии машины. При $U_{г} < U_{д\Sigma}$ ток изменяет направление, что соответствует переходу двигателей в генераторный режим, а генератора в двигательный. Момент времени t_1 является началом комбинированного торможения.

Из рассмотренных схем следует, что на пневмоколесных машинах с дизель – электрическими трансмиссиями может быть два вида электрооборудования: постоянного тока (электрические машины и аппараты главных и вспомогательных цепей) и переменного тока (машины и аппараты возбуждения и вспомогательных нагрузок).

Одной из основных характеристик регулирования тягового двигателя постоянного тока в двигательном режиме является зависимость $\mu(n_*)$, определяемая тяговой характеристикой автомобиля. Действительно,

$$\mu(n_*) = \frac{M(n_*)}{M_H}$$

$$\mu(n_*) = \frac{M(n_*)}{M_H} = \frac{R_K}{M_H m_{м-к} i_{р.к} \eta_{р.к} \eta_{ш} \eta_{д} \eta_{г}} F_a(v),$$

Где R_k – радиус качения колеса; $i_{р.к}$, $пр.к$ – передаточное отношение и к.п.д. редуктора мото-колеса; $\eta_{ш}$, $\eta_{д}$, $\eta_{б}$ – к.п.д. шины и к.п.д. буксования.

Для тяговой характеристики первого вида (кривая ACDEGKL на рисунке) предельная характеристика $\mu(n_*)$ содержит три участка: постоянства пускового момента или тока якоря, постоянства потребляемой мощности двигателем постоянного тока (кривая BCD), ограничения частоты вращения (линия DK).

Поведение двигателя постоянного тока определяется главным образом напряжением и магнитным потоком. Поэтому характеристики регулирования $Y(n_*)$ b и $\Phi(n_*)$ являются основополагающими. Следовательно, реализовать закон регулирования двигателя постоянного тока – значит обеспечить такие зависимости магнитного потока и напряжения от частоты вращения, которые позволят для принятых условий регулирования сформировать требуемый участок тяговой характеристики.

Формирование требуемой характеристики осуществляется реализацией законов регулирования двигателя постоянного тока, что является основным требованием соблюдения параметров при осуществлении ремонта и технического обслуживания электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств.

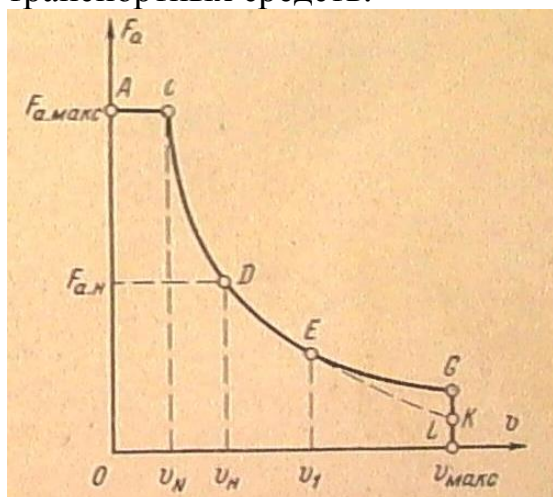


Рисунок 37. – Предельные тяговые характеристики автомобиля.

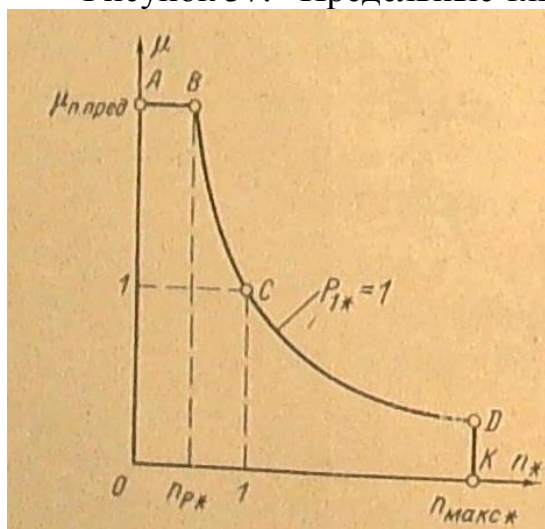


Рисунок 38. – Предельная характеристика регулирования $\mu(n_*)$ тягового двигателя постоянного тока.

Для осуществления раздельного управления необходимо контролировать токи в группах преобразователей частоты, т.е. в системе управления преобразователем должны быть предусмотрены датчики нуля тока тягового асинхронного короткозамкнутого двигателя, которые обеспечивают блокирование управляющих импульсов одной группы тиристорov при работающей другой и переключение групп только в моменты перехода тока нагрузки через нуль.

Закон изменения угла включения тиристорov должен быть выбран таким образом, чтобы обеспечить наибольшую амплитуду первой гармоники выходного напряжения преобразователя частоты минимальное содержание высших гармоник, отсутствие гармоник кратных трем, минимальное изменение гармоничного состава выходного напряжения преобразователя частоты при изменении его частоты и наименьшую загрузку синхронного генератора реактивным током.

В настоящее время нет единого мнения о том, какая форма кривой модулирующего напряжения, а значит, и какой закон изменения угла включения тиристорov является наиболее рациональным для преобразователя частоты с непосредственной связью, используемых в электротрансмиссиях. Состав кривой автономного инвертора напряжения для случая $120^\circ \leq \theta_t \leq 180^\circ$ и $\theta_d = (180^\circ - \theta_t)$ при работе на активно – индуктивную нагрузку, кривая фазного напряжения на активно - индуктивной нагрузке инвертора имеет вид показанный на рисунке 39

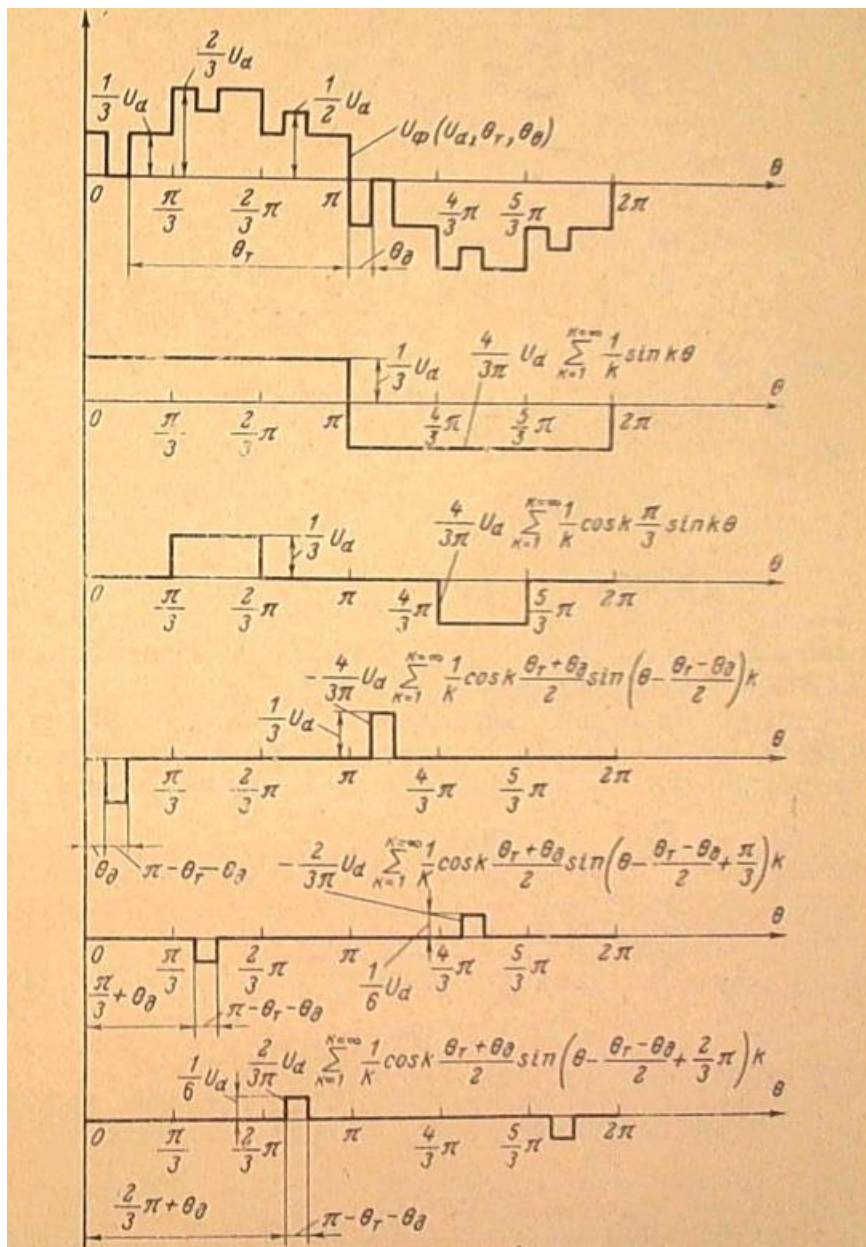


Рисунок 39 – Кривая фазного напряжения на активно – индуктивной нагрузке инвертора и ее разложение в гармонический ряд.

Таким образом, критерием оценки коммутирующих цепей автономного инвертора напряжений следует считать минимум установленной мощности коммутирующего конденсатора, так как масса и объем последнего составляет значительную часть массы и объема инвертора.

В таблице представлен перечень операций, которые осуществляются при диагностике электрооборудования в автосервисе, аккумуляторных и гибридных транспортных средств.

Таблица 4. - Перечень операций, которые осуществляются при диагностике электрооборудования в автосервисе, аккумуляторных и гибридных транспортных средств.

Конструкционная особенность	Техническое следствие исходя из конструкции	Реализуемое техническое мероприятие
Наличие пневматических шин.	Изолятор тока. Возможность заземления корпуса машины и через него всех корпусов электрических машин и аппаратов, нормально не находящихся под напряжением исключается. Защитные мероприятия выбираются исходя из невозможности использования заземления.	На пневмоколесных машинах с электрическими трансмиссиями невозможно осуществить защитные мероприятия, применяемые на электровозах и тепловозах с дизель электрическими передачами.
Невозможность осуществления защитного заземления	Защита от поражения током при повреждениях изоляции электрооборудования и проводов переменного тока может быть осуществлена надежно с помощью защитного зануления.	Применяется защитное отключение при пробое изоляции обмоток оборудования и проводов.
Пробой или повреждение изоляции машин, аппаратов и проводов вызовет однополюсное короткое замыкание, при котором отключается защитный автомат генератора, и напряжение со всех токоприемников снимается.	Вставки защиты выбираются минимально возможными с целью исключения ложных воздействий рабочих токов. При этом обеспечивается наибольшая чувствительность защиты.	Синхронный генератор (возбудитель) с трехфазной (многофазной) статорной обмоткой, нулевая точка должна быть выведена. В качестве нулевого провода используется корпус машины, с которым надежно соединяется нулевая точка обмотки генератора и корпуса всех машин и аппаратов, а также неметаллические защитные оболочки проводов переменного тока нормально не находящиеся под напряжением.
Электрооборудование постоянного тока, работающее при различных напряжениях. Высшим является напряжение тяговых электрических машин, низшим - напряжение цепей управления, защиты, сигнализации, освещения.	Для осуществления защитного отключения электрооборудования постоянного тока в системах каждого из опасных напряжений создаются искусственные нулевые точки с помощью сопротивлений и включить либо указывающий, либо отключающий аппарат в цепь между нулевой точкой и корпусом машины. Эта защита действует не только при пробое или полном повреждении изоляции какого либо элемента, но даже и при допустимом снижении сопротивления изоляции каждого из полюсов.	На практике на пневмоколесных машинах применяется система защитного отключения, осуществляемая при остановке машины. Эта защита выполняется так, что с остановкой машины возбуждение главного генератора отключается и цепи управления с опасными напряжениями также отключаются.

	При этом корпус машины постоянно находится под напряжением, величина которого может быть опасной для жизни и оно определяется разностью сопротивлений изоляции полюсов. Не исключаются случаи, когда ток в цепи между нулевой точкой и корпусом может оказаться недостаточным для срабатывания отключающего устройства, находящегося в этой цепи. Тогда корпус машины может длительно находиться под указанным напряжением и представлять собой источник опасности. Надежных систем зануления для электрооборудования постоянного тока, не разработано.	К конструкционным мероприятиям относится выбор мест прокладки проводов и защита их от механических повреждений в процессе эксплуатации и систематическому контролю технического состояния электрооборудования.
Проверка соответствия закон изменения угла включения тиристоров	Закон изменения угла включения тиристоров должен быть выбран таким образом, чтобы обеспечить наибольшую амплитуду первой гармоники выходного напряжения преобразователя частоты минимальное содержание высших гармоник, отсутствие гармоник кратных трем, минимальное изменение гармоничного состава выходного напряжения преобразователя частоты при изменении его частоты и наименьшую загрузку синхронного генератора реактивным током.	Закон изменения угла включения тиристоров является наиболее рациональным для преобразователя частоты с непосредственной связью, используемых в электротрансмиссиях. Состав кривой автономного инвертора напряжения для случая $120^\circ \leq \theta_t \leq 180^\circ$ и $\theta_d = (180^\circ - \theta_t)$ при работе на активно – индуктивную нагрузку, кривая фазного напряжения на активно - индуктивной нагрузке инвертора имеет вид показанный на рисунке 39.

Из изложенного в 3 главе можно сделать следующие выводы:

- на пневмоколесных машинах с дизель – электрическими трансмиссиями может быть два вида электрооборудования: постоянного тока (электрические машины и аппараты главных и вспомогательных цепей) и переменного тока (машины и аппараты возбуждения и вспомогательных нагрузок);
- на пневмоколесных машинах целесообразно использовать дизель в компрессорном режиме при торможении;
- показатели обязательны при проверке в автосервисе электроустановок, которые используются в качестве силового двигателя в электромеханической трансмиссии с параметрами, заявленными для автомобиля конкретной марки (мощность, кВт; частота вращения, об/мин; момент, Н * м; Э.д. с., В; сила тока, А; сопротивление обмотки якоря при 75°C, Ом; сопротивление обмоток последовательного возбуждения при 75°C, Ом ; сопротивление обмоток

добавочных полюсов при 75°C , Ом; диаметр якоря, мм; диаметр машины, мм; длина машины, мм; масса машины (без лап и вентилятора); габаритный объем, дм^3).

- в рассматриваемом идеализированном электроприводе коэффициент полезного действия в рассматриваемом электроприводе пропорционален абсолютному скольжению, при этом было применено упрощающее предположение о прямолинейных магнитных характеристиках и об отсутствии магнитных и механических потерь;

- электрическая непрерывная автоматическая трансмиссия, так же как и гидротрансформатор, имеет внутренние потери, причем эти потери тем больше, чем больше отличается режим движения машины — его скорость от той скорости, на которую, как на самую употребительную, была рассчитана электротрансмиссия;

- электропередача, подобно гидравлической передаче потоком, является непрерывной и автоматической: скорость движения машины и сила тяги устанавливаются автоматически в зависимости от сопротивления движению.

- можно утверждать, что для обеспечения электромагнитной безопасности пассажиров необходимы: со стороны производителей: разработка и внедрение более эффективных методов экранирования высоковольтных компонентов и кабельных трасс; со стороны регуляторов и научного сообщества: проведение дальнейших масштабных исследований на различных моделях электромобилей для накопления репрезентативной статистики и, возможно, пересмотр и унификация нормативной базы, учитывающей новые реалии транспорта и последние научные данные о нетепловых эффектах электромагнитного поля.

Таким образом, поведение двигателя постоянного тока определяется главным образом напряжением и магнитным потоком. Поэтому характеристики регулирования $Y(p_*)$ b и $\Phi(p_*)$ являются основополагающими. Следовательно, реализовать закон регулирования двигателя постоянного тока — значит обеспечить такие зависимости магнитного потока и напряжения от частоты вращения, которые позволят для принятых условий регулирования сформировать требуемый участок тяговой характеристики.

Формирование требуемой характеристики осуществляется реализацией законов регулирования двигателя постоянного тока, что является основным требованием соблюдения параметров при осуществлении ремонта и технического обслуживания электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В электронных учебно-методических материалах приведены исследования, в которых изложены характеристики и параметры технической эксплуатации электрической силовой установки и электротрансмиссии аккумуляторных и гибридных транспортных средств подлежащие обязательной диагностике при проведении ремонта и обслуживания.

Применение электромеханической трансмиссии не может способствовать созданию современной высокопроизводительной машины, предназначенной для выполнения широкого спектра сельскохозяйственных и промышленных работ. Наиболее перспективной является схема с использованием двух тяговых электродвигателей на каждый борт. Это позволит обеспечить плавное и бесступенчатое регулирование скорости движения в различных диапазонах, без разрыва потока мощности, что повысит маневренность, управляемость и эффективность работы.

Среди преимуществ использования электромеханической трансмиссии можно выделить обеспечение оптимального режима работы двигателя внутреннего сгорания при различных нагрузках, снижение шума и вибрации, повышение топливной эффективности, снижение выбросов в окружающую среду, отсутствие дополнительных фрикционных механизмов поворота, что упрощает конструкцию, возможность реализации рекуперации энергии, увеличенный срок службы (электрические компоненты имеют более длительный срок службы, чем механические узлы, что снижает эксплуатационные расходы).

Благодаря переходу от аналогового управления к использованию блоков управления на базе процессоров с обратной связью появляется возможность внедрения беспилотного управления. В перспективе переход от использования асинхронных тяговых электродвигателей на электродвигатели синхронного типа (бесщёточные), так как отсутствуют узлы трения, требующие обслуживания и замены в случае износа, более высокий ресурс, большой пусковой момент и перегрузочная способность по моменту, более высокий КПД (80–90 %), меньшие пусковые токи, более просты в обслуживании. Асинхронные электрические машины имеют низкий КПД на режимах частичной нагрузки.

Среди основных недостатков перед классической трансмиссией - более высокая стоимость производства и чувствительность к перегрузкам, вызывающая перегрев электрических машин. Последнее решается установкой дополнительных систем контроля температуры электродвигателей, а также использование различных систем охлаждения.

Результатом обслуживания в системе автосервиса силовых тяговых электроустановок электромобилей (гусеничных и колесных машин с электрической силовой установкой) может являться выявление и устранение мест генерации электромагнитных полей, которые могут нарушить электромагнитную безопасность, это у аккумуляторных автомобилей (батарейные с питанием от аккумуляторов или супер конденсаторов, заряжаемые преимущественно от розетки), гибридных транспортных средств подлежат проверке тяговый привод, силовая электроника, буферный

накопитель, двигатель внутреннего сгорания, асинхронный электропривод, электропривод с синхронным двигателем на основе постоянных магнитов, мотор – генератор, активные части асинхронных тяговых электродвигателей, что требует корректировки диагностической карты автомобиля [Приложение 2].

Перспективным направлением может являться патент на полезную модель. Полезная модель относится к области перспективных колесных машин и электротехники, в частности применение перспективных транспортных средств с электромеханическими трансмиссиями с оборудованием для возбуждения электрических ударов, обеспечивающих импульсное напряжение, и может быть использована в системах физической защиты объектов и военном деле [32].

ЛИТЕРАТУРА

1. Буртыль, Ю.В. , Савлучинский, В.В., Изоитко, В.М., Савик, С.А. «Оценка влияния интенсивности движения автотранспорта на возможность появления коллоидальной неустойчивости в атмосфере как составляющей задачи управления процессами конденсации при создании и применении систем влияния на погоду»/ Ю.В. Буртыль, В.В. Савлучинский, В.М. Изоитко, С.А. Савик. – Мн.: АТФ БНТУ, Отчет о НИР «ППО», 2024 г. – 139 с.
2. Гурский, А.С., Савлучинский, В.В., Изоитко, В.М., Серебряков, И.А., Климов, Ю.В. «Влияние энерго-информационного воздействия на безаварийную эксплуатацию электромобиля»/ А.С. Гурский, В.В. Савлучинский, В.М. Изоитко, И.А. Серебряков, Ю.В. Климов. - Мн.: АТФ БНТУ, Отчет о НИР «ВИВЭ», 2023 г. – 93 с.
3. Капкович, М. И., Савлучинский, В.В., Савик, С.А.«Актуализация задачи создания сигнализатора для раннего предупреждения о энерго-информационном воздействии на личный состав силовых структур»/ М. И. Капкович, В.В.Савлучинский, С.А.Савик.- Мн., ВТФ БНТУ, Отчет о НИР «Физиология», 2022 г. – 182 с.
4. Савлучинский, В.В., Изоитко, В.М., Серебряков, И.А., Куц, А.Д. «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий»/В.В. Савлучинский, В.М. Изоитко, И.А. Серебряков, А.Д. Куц - Мн., АТФ БНТУ, Электронные учебно-методические материалы, 2026 г. – 89 с.
5. Виноградов, А. Б. Особенности реализации тягового электро - оборудования гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л. с. / Виноградов А. Б., Гнездов Н. Е., Чистосердов В. Л. // Электротехника. – 2017. – № 5., Научные решения проблем развития тракторной техники, многоцелевых колесных и гусеничных машин, электрического транспорта [Электронный ресурс] : сборник научных трудов научно-практической конференции, посвященной 70-летию кафедры "Тракторы", 22-23 января 2024 / редкол.: В. П. Бойков (отв. ред.), Ч. И. Жданович, А. С. Поварехо ; сост.: В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, А. С. Поварехо. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 54-6 – С. 14–18.
6. Погарский, Н. А. «Электрические трансмиссии машин с мотор – колесами»/ Н. А. Погарский. – М.: Издательство «Машиностроение», 1965. - 134 с.
7. Ефремов, И. С., Пролыгин, А.П., Андреев, Ю. М., Миндлин, А.Б. «Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств»/ И. С.Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю. М. Андреев, А.Б. Миндлин.- М.: «Энергия», 1976 г. – 257 с.
8. Исаков, П.П., Иванченко, П.М., Егоров, А.Д. «Электро-механические трансмиссии гусеничных тракторов»./ П.П. Исаков, П.М. Иванченко, А.Д. Егоров – Л.: «Машиностроение», Ленингр., отделение, 1981 г., - 302 с.
9. Богоявленский, В. Н. «Электрические трансмиссии гусеничных и колесных машин»/ В. Н. Богоявленский. – М.: «Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы», 1946 г., - 206 с.

10. Александров, Е.Е., Епифанов, В. В., «Электрические и электромеханические трансмиссии самоходных гусеничных машин»/ Е.Е. Александров, В. В. Епифанов.- Киев, УМК ВО, 1988 г. – 46 с.
11. Свещинский, И. Б. «Тяговые электрические трансмиссии переменного тока строительных, дорожных и транспортных машин»/ И. Б. Свещинский. – М.: НИИ Информации по строительному, дорожному и коммунальному машиностроению, обзор, 1965 г., - 80 с.
12. О.А. Ставров. Электромобили. / О.А. Ставров.- М.: Издательство «Транспорт», 1968 г. – 104 с.
13. Ю.М. Галкин. Анализ развития автомобилей и перспективы их применения в СССР/ Ю.М. Галкин – 1951 – 40 с. Развитие конструкции автомобилей/ кол.авт. Министерство автомобильной и тракторной промышленности СССР. Особая автомобильная лаборатория при НАМИ – М.: Машгиз. 1949 г.
14. О.А. Ставров. Электромобили (зарубежные)/ О.А. Ставров – М.: Автомобилестроение, том 2, итогит науки и техники, 1976г., 160с.
15. Б.П. Бусыгин, Электромобили. Учебное пособие./ Б.П. Бусыгин – М.: Московский автомобильный дорожный институт, 1979 г., 71 с.
16. В.А. Афонин. Информационная техника и автоконтроль. Учебное пособие по аналоговым и цифровым преобразователям автоматизированных систем контроля./ В.А. Афонин – М.: Московский энергетический институт, 1978 г.
17. Государственный стандарт Республики Беларусь. Глобальные технические правила №20 касающиеся безопасности электромобилей. Госстандарт Минск. Введены в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 10 апреля 2020 г. № 19 в качестве государственного стандарта Республики Беларусь с 1 июля 2020г.
18. Н.Винер. Кибернетика, или управление и связь в животном мире и машине./ Н.Винер - М.: Издательство «Советское радио», 1958 г., 214 с.
19. Ганжа, С.А., Киесш И. К. «Электротрансмиссия транспортных средств на базе вентильных машин комбинированного возбуждения»/ С.А. Ганжа, И. К. Киесш.- РАН, «Электричество» №2, 2016 – с. 52-57.
20. Виноградов, А.Б., Гнездов, Н.Е., Чистосердов, В. Л. «Особенности реализации тягового электрооборудования гусеничного промышленного трактора мощностью 160 л.с.»/ А.Б. Виноградов, Н.Е. Гнездов, В. Л. Чистосердов.- М.; «Электротехника» №5, 2017 г. – с. 14-18.
21. Козаченко, В.Ф., Остриров В.Н., Лашкевич М.М. «Электротрансмиссия на базе вентильно-индукторного двигателя с независимым возбуждением»/ В.Ф. Козаченко, В.Н. Остриров, М.М. Лашкевич.- М.; «Электротехника» №2, 2014 г. – с. 54-60 .
22. Кондаков, С.В., Павловская, О. О. «Исследование разгона энергоэффективной быстроходной гусеничной машины с интеллектуальной электрической трансмиссией»/ С.В. Кондаков, О. О. Павловская – М.: «Вестник машиностроения», № 12, 2016 г.- с. 3-7.
23. Разоренов, Н. А., Сафонов, А. И., Мазаник, К. И. «Перспективная тормозная система мобильной машины с электрической трансмиссией»/ Н. А.

Разоренов, А. И. Сафонов, К. И. Мазаник – Мн.: «Вестник Белорусско-Российского университета, 2008 г., № 2 – с.-26-29.

24. Свещинский, И. Б. «Тяговые электрические трансмиссии переменного тока строительных, дорожных и транспортных машин» / И. Б. Свещинский – М.: «НИИ информации по строительному, дорожному и коммунальному машиностроению», Обзор, 1965г. - 79 с.

25. Флоренцев, С.Н., Изостмов, Д. Б. «Инновационные составляющие в разработках электромеханических устройств для гибридных транспортных средств»/ С.Н. Флоренцев, Д. Б. Изостмов – Мн.: «Актуальные вопросы машиностроения» № 1, 2012 г. – с. 50 -55.

26. Александров, Е.Е., Епифанов, В.В. «Электрические и электромеханические трансмиссии самоходных гусеничных машин»: Учебное пособие/ Е.Е. Александров, В.В. Епифанов. – Харьков: ИПИ, 1988. – 48 с.

27. Поисковый сервер «ЯНДЕКС». [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://dzen>. - Дата доступа 26. 05. 2025.

28. Савлuchинский, В.В., Изoitко, В.М., Серебряков, И.А., Куц, А.Д. «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий»/В.В. Савлuchинский, В.М. Изoitко, И.А. Серебряков, А.Д. Куц - Мн., АТФ БНТУ, Отчет о НИР «НЭП», 2026 г. – 153 с.

29. Серебряков, И. А., Савлuchинский, В. В., Горнак, И. В. «Электромагнитные поля электромобиля. Оценка соответствия нормам безопасности.» / И. А. Серебряков, В. В. Савлuchинский, И. В. Горнак - М.: Транспорт: наука, техника, управление. 2026, № 1.

30. Исаков, П. П., Иванченко, П.Н., Егоров, А.Д. «Электромеханическая трансмиссия гусеничных тракторов: Теория и расчет.»/ П. П. Исаков, П.Н. Иванченко, А.Д. Егоров. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1981 г. - 302 с.

31. М.Ф. Мандзюк. Энергоэффективное двух зонное управление синхронной машиной с постоянными магнитами для электромобилей. / М.Ф. Мандзюк. – Львов.: Министерство образования и науки Украины национальный университет «Львовская политехника». Автореферат диссертации. 2015 г.

32. Автомобиль с электризуемым заграждением и электромеханической трансмиссией: пат. RU 191 237 U1/ Губанов С. В., Гриценко К. А., Дроздов В. А., Ягубов В. Ф. – Оpubл. 30.07.2019 Бюл. № 22.

Приложение А1. Лабораторная работа «Оценка напряженности электромагнитного поля (В/м) в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий».

Цель работы: закрепить теоретические знания и получить практические навыки процесса «Оценки напряженности электромагнитного поля и магнитного полей в салонах автомобилей с сигнализацией о присутствии опасных условий».

Задание на выполнение работы

1. Изучить правила техники безопасности при измерении напряженности электромагнитного поля.
2. Изучить применяемое оборудование при измерении напряженности электромагнитного поля.

Оснащение рабочего места.

1. Электромобиль.
2. Детектор для измерения напряженности электромагнитного и магнитного поля.
3. Очки защитные.

Основные требования по охране труда

Организация рабочего места должна обеспечивать безопасность выполнения работ.

1. Рабочее место в помещении должно ограждаться непроницаемыми ограждениями из непроводящего материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты от электротока.

2. Перед началом работы необходимо:

- получить устный инструктаж по безопасности при выполнении лабораторной работы у преподавателя и расписаться в журнале инструктажа;
- проверить исправность и комплектность оборудования;

2. Во избежание электротравм следить за тем, чтобы во время работы руки, одежда и обувь были сухими.

Общие сведения

Дозиметрия электромагнитных полей сверхвысоких частот

Техника оценки интенсивности облучения в СВЧ диапазоне связана со специфическими трудностями. В этой области длины волн становятся уже сравнимыми с линейными размерами электрических цепей генераторов и с линейными размерами биологических объектов, а в ряде случаев и значительно превышают эти размеры. В связи с этим и элементы генераторов и приемников СВЧ – диапазона, и способы воздействия этими ЭМП на биологические объекты значительно отличаются от того, с чем приходится сталкиваться при более низких частотах (Тулыгин, 1952 г., Пресман, 1954 г., Валитов, Сретенский, 1958 г., Соловьев, 1962, 1963 г.).

В СВЧ диапазоне электромагнитные колебания создаются в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки самоиндукции, а в замкнутой металлической камере – объемном резонаторе.

Электромагнитная энергия может передаваться внутри коаксиальных кабелей или волноводов (металлических труб или диэлектрических стержней

круглого или прямоугольного сечения) обладающих волновым сопротивлением, зависящим от геометрических параметров этих линий передачи.

Излучение электромагнитной энергии в виде волн может быть направленным, если в качестве излучателей применяются рупоры и рефлекторы.

При облучении на расстоянии часть энергии отражается от объекта. Но если объект является нагрузкой предающей линии и его полное сопротивление (импеданс) равно волновому сопротивлению линии, то в нем может поглощаться вся передаваемая энергия. В общем случае этого можно добиться, включая между объектом и линией согласующее устройство (трансформатор импедансов).

Оценку интенсивности воздействия СВЧ – полей на людей, участвующих в испытаниях и эксплуатации соответствующих генераторов, а также при дистанционном облучении объектов в эксперименте, проводят по интенсивности облучения ρ , выражаемой в величинах плотности потока мощности обычно в мВт/см³ (Пресман, Схван, Ли). Для сравнения условий воздействия СВЧ – полей и более низкочастотных полей Кнорре (1960г) предлагает пересчитывать значения ρ , E , H к величине объемной плотности энергии электромагнитного поля (в эрг/см³) [38, 56] по формулам

$$W_E = \frac{10^{-8} E^2}{72\pi}; W_H = 2\pi \cdot 10^{-8} H^2; W_{СВЧ} = 3,3 \cdot 10^{-4} \rho$$

Приборы для измерения интенсивности облучения в СВЧ –диапазоне построены по принципу преобразования энергии СВЧ-полей (после ее калиброванного ослабления) в постоянный ток (при помощи термистора или кристаллического детектора), величина которого и служит мерой интенсивности

Оценку интенсивностей ЭМП низких и высоких частот (примерно до десятков МГц) и в производственных условиях, и в экспериментах с животными чаще всего приходится проводить в зоне индукции. А при этих условиях необходимо раздельно измерять величины напряженностей электрической и магнитной составляющих - E и H .

Прибор для измерения этих величин в принципе представляет собой вольтметр переменного тока, рассчитанный на исследуемый диапазон частот, соединенный с соответствующей антенной-витком для измерения H и штырем или диполем для измерения E . Измеряемые напряженности могут быть определены из соотношений:

$$H = a \frac{V}{K_1 S};$$

$$E = a \frac{V}{K_2 H};$$

где:

V – измеряемое напряжение;

a – коэффициент, зависящий от выбора единиц;
 K_1 и K_2 – коэффициенты зависящие от формы и размера антенны;
 S – площадь сечения витка;
 h – длина штыря или диполя.

В экспериментальных исследованиях по воздействию переменного электрического поля биологический объект помещают между пластинами конденсатора, к которым прикладывается переменное напряжение заданной частоты. При этом следует учитывать и наличие магнитной составляющей ЭМП. Ее воздействием можно пренебречь в том случае, если размеры объекта и конденсатора малы по сравнению с длиной волны λ , соответствующей данной частоте. В исследованиях по воздействию переменного магнитного поля биологический объект помещают внутрь соленоида, питаемого переменным током заданной частоты.

Техника оценки интенсивности экспериментального облучения в СВЧ – диапазоне связана со специфическими трудностями. В этой области длины волны становятся уже сравнимы с линейными размерами электрических цепей генераторов и с линейными размерами биологических объектов, а в ряде случаев и значительно превышают эти размеры. В связи с этим и элементы генераторов и приемников СВЧ-диапазона, и способы воздействия на этими ЭМП на биологические объекты значительно отличаются от того, с чем приходится сталкиваться при более низких частотах (Тулыгин 1952г., Пресман 1954 г., Валитов, Сретенский 1958г.).

Оценку интенсивности электромагнитного поля низких и высоких частот чаще всего приходится проводить в зоне индукции. Для этих условий разработан прибор, представленный на рисунке ИЭМП -1, который позволяет измерять электрическую и магнитную составляющую ЭМП в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц.

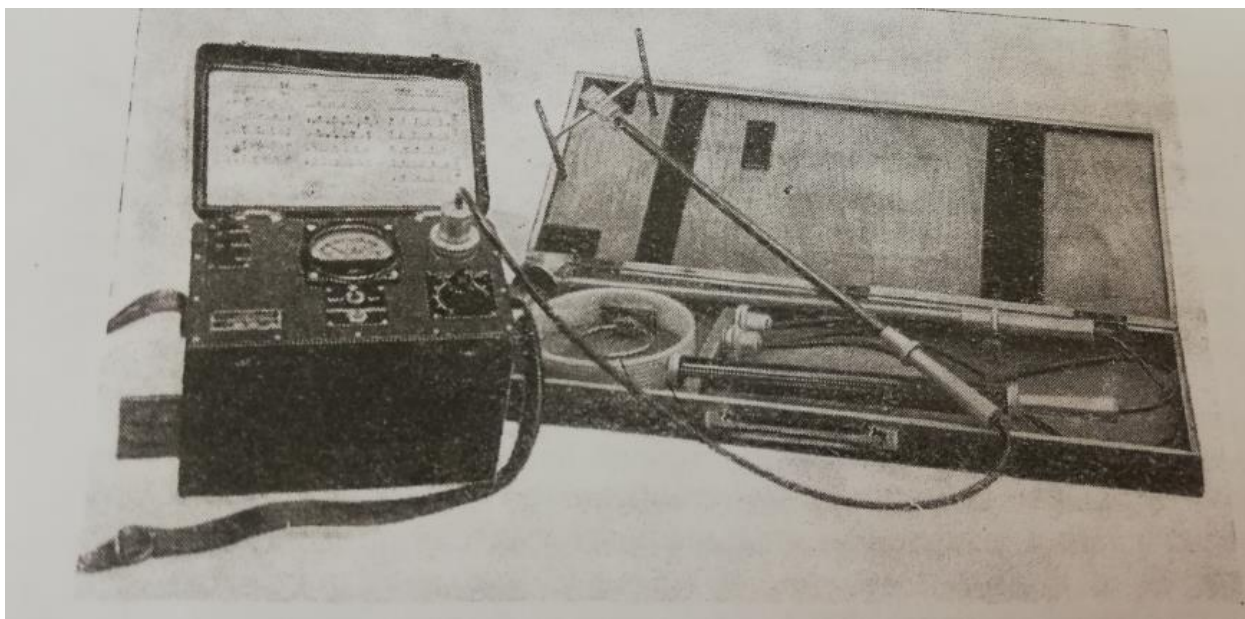


Рисунок А1- Прибор ИЭМП -1, который позволяет измерять электрическую и магнитную составляющую ЭМП в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц.

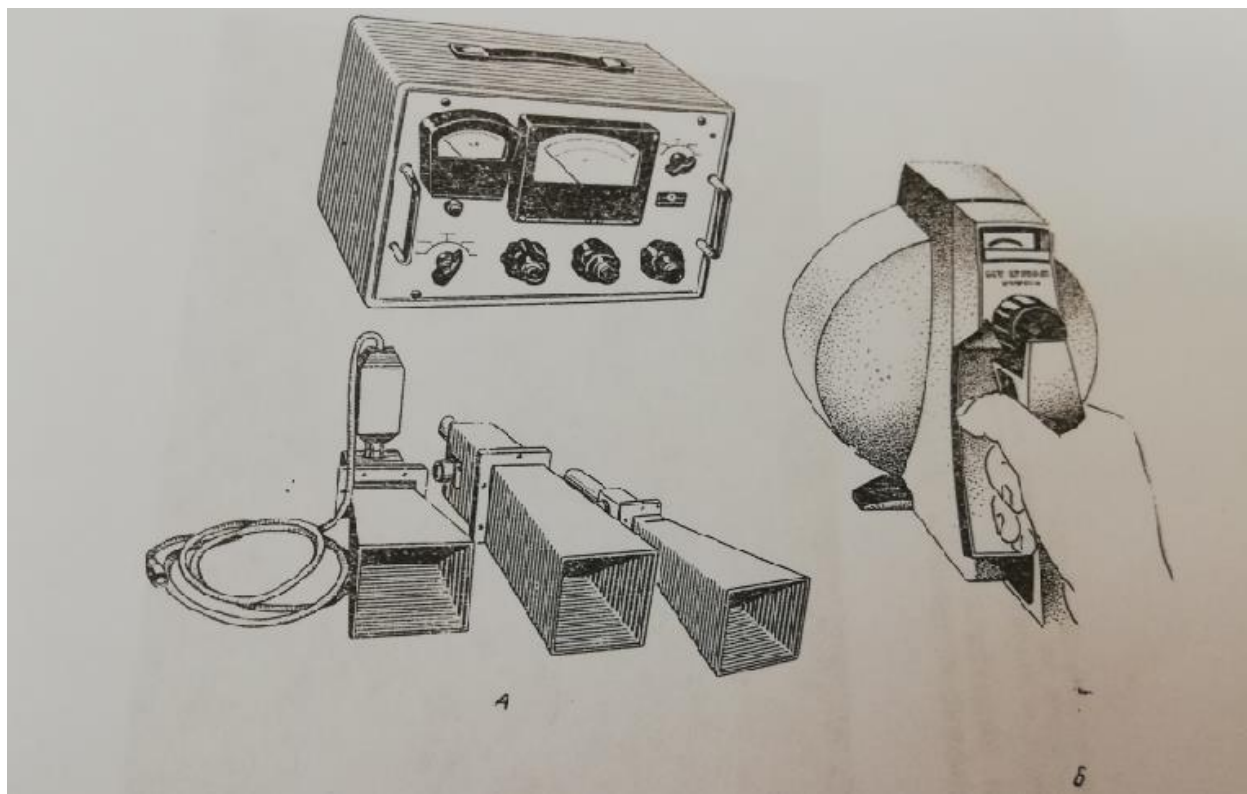


Рисунок А2— Приборы для измерения интенсивности облучения в СВЧ диапазоне А) – «Медик» 150 – 16700 МГц. Б) - Б86Е1 (200-10000 МГц.)



Рисунок А3— Прибор для измерения интенсивности облучения в СВЧ диапазоне

Значения излучения электромагнитного поля [57].

Значения электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м)

Значения магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT или в миллиГауссах - mG)

eme54.by

Рассмотрим на каких значениях электромагнитное поле оказывает влияние на человека.

Значения электрического поля (измеряется в вольтна метр В/м)

0-10 В/м - Безопасно

10-25 В/м - Немного фонит

25- 40 В/м - Предельно допустимое

40-100 В/м - Есть влияние

100-200 В/м - Влияет на здоровье человека

200 В/м и более - Опасно для здоровья человека

Значения магнитного поля (измеряется в МикроТесла - μT или в миллиГауссах - mG)

Измерение магнитного поля в Микро Тесла:

0,0-0,15 μT - Безопасно

0,15-0,25 μT - Немного фонит
0,25-0,4 μT - Предельно допустимое
0,4-1,0 μT - Влияет на здоровье человека
1,0-2,0 μT - Сильное влияние на здоровье человека
2,0 μT и более - Опасно для здоровья человека
Измерение магнитного поля в миллиГауссах:
0-1,5 mG - Безопасно (зеленый уровень)
1,5-2,5 mG - Предельно допустимое (желтый уровень)
2,5-10 mG - Влияет на здоровье человека (оранжевый уровень)
10 mG и более - Опасно для здоровья человека (красный уровень)

Результат замеров электрического поля (измеряется в вольт на метр В/м), магнитного поля (измеряется в Микро Тесла - μT или в миллиГауссах - mG) представлено в таблице, где желтым выделен предельно допустимый уровень, красным выделены значения опасные для здоровья.

Оборудование и приборы

- 1.Электромобиль.
- 2.Детектор электромагнитного и магнитного поля.

Порядок выполнения работы

Применяя детектор электромагнитного и магнитного поля провести замеры в соответствии с таблицей.



Рисунок А4– Замер интенсивности облучения в СВЧ диапазоне



Рисунок А5– Замер интенсивности облучения в СВЧ диапазоне

Таблица А1 - Замер интенсивности облучения на месте водителя.

НА МЕСТЕ ВОДИТЕЛЯ				
Места замеров	Без зажигания (все выключено)	Зажигание включено (двигатель готов к работе)	На малом ходу (до 10 км/ч)	На полном ходу (20-40 км/ч)
Ноги	0 v/m 0,1 uT	31 v/m 0,1 uT	41 v/m 1,40 uT	49 v/m 1,58 uT
Руки на руле	0 v/m 0,0 uT	29 v/m 0,0 uT	25 v/m 0,30 uT	27 v/m 0,49 uT
Руки возле консоли	24 v/m 0,11 uT	39 v/m 0,0 uT	45 v/m 1,72 uT	40 v/m 1,83 uT
Тело (кресло)	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,0 uT	37 v/m 0,64 uT	37 v/m 0,42 uT
Голова	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,0 uT	29 v/m 0,32 uT	29 v/m 0,40 uT

Таблица А2 - Замер интенсивности облучения на месте пассажира.

НА МЕСТЕ ПАССАЖИРА				
Места замеров	Без зажигания (все выключено)	Зажигание включено (двигатель готов к работе)	На малом ходу (до 10 км/ч)	На полном ходу (20-40 км/ч)
Ноги	71 v/m 0,0 uT	104 v/m 0,0 uT	110 v/m 1,19 uT	107 v/m 12,47 uT
Тело (кресло)	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,86 uT	0 v/m 0,90 uT
Голова	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,0 uT	0 v/m 0,90 uT	0 v/m 0,97 uT

Таблица А3 - Замер интенсивности облучения на месте пассажира заднего ряда.

НА МЕСТЕ ПАССАЖИРА ЗАДНЕГО РЯДА				
Места замеров	Без зажигания (все выключено)	Зажигание включено (двигатель готов к работе)	На малом ходу (до 10 км/ч)	На полном ходу (20-40 км/ч)
Ноги	41 v/m 0,26 uT	63 v/m 0,15 uT	67 v/m 5,49 uT	67 v/m 28,77 uT
Тело (кресло)	0 v/m 0,11 uT	0 v/m 0,11 uT	0 v/m 0,36 uT	0 v/m 0,48 uT
Голова	0 v/m 0,11 uT	0 v/m 0,11 uT	0 v/m 0,25 uT	0 v/m 0,32 uT

Таблица А4 - Замер интенсивности облучения под капотным пространством и в багажном отсеке.

ПОД КАПОТНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ				
Места замеров	Без зажигания (все выключено)	Зажигание включено (двигатель готов к работе)	На малом ходу (до 10 км/ч)	На полном ходу (20-40 км/ч)
На инверторе	0 v/m 0,54uT	24 v/m 0,86uT	28 v/m 65,21uT	28 v/m 75,21uT
На электродвигателе	0 v/m 0,0 uT	24 v/m 0,83uT	24 v/m 63,21uT	29 v/m 75,18uT
Между двигателем и инвертором	0 v/m 0,16uT	24 v/m 0,83uT	24 v/m 26,70uT	24 v/m 35,15uT
В БАГАЖНОМ ОТСЕКЕ (РЯДОМ С АКБ)				
Места замеров	Без зажигания (все выключено)	Зажигание включено (двигатель готов к работе)	На малом ходу (до 10 км/ч)	На полном ходу (20-40 км/ч)
	0 v/m 0,28uT	0 v/m 0,51uT	22 v/m 7,80 uT	30 v/m 28,38,0uT

Отчет по работе

1. Название и цель работы.
2. Краткие сведения о процессе измерения интенсивности облучения.
3. Состав оборудования и описание установки для измерения интенсивности облучения.
4. Заполненная таблица с результатами измерений интенсивности облучения и выводы по работе.

Приложение А2 – Диагностическая карта транспортного средства (проект).

Место проведения проверки технического состояния:

Государственный регистрационный знак				Первичная проверка	☐	Повторная проверка	☐
Идент. номер VIN			Марка, модель			Год выпуска	
Модель, № двигателя			№ кузова			№ шасси (рамы)	
Собственник транспортного средства							
Представитель собственника транспортного средства							
Регистрационный документ				Серия			Номер
Зарегистрирован в ГИБДД (подразделение)							

100. Тормозные системы	Удельная тормозная сила рабочей тормозной системы	101	Удельная тормозная сила стояночной тормозной системы	102	Коэффициент неравномерности тормозных сил колес	103	Тормозной путь (при дорожных испытаниях)	104
Установившееся замедление (при дорожных испытаниях)	105		Удержание на уклоне стояночной тормозной системой	106	Герметичность пневматического тормозного привода	107	Герметичность гидравлического тормозного привода	108
Давление сжатого воздуха	110		Время срабатывания рабочей тормозной системы	111	Линейное отклонение при торможении	112	Вспомогательная тормозная система	113
200. Рулевое управление	Суммарный люфт	201	Перемещения деталей, люфты, фиксация резьбовых соединений	202	Усилитель рулевого управления	203	Состояние элементов рулевого управления	204
300. Внешние световые приборы	Фары дальнего и ближнего света; дополнит. фары	301	Противотуманные фары	302	Сигналы торможения	303	Габаритные огни, задние противотуманные огни	304
Указатели поворота, аварийная сигнализация	305		Фонарь освещения регистрационного знака	306	Огни заднего хода	307	Световозвращатели	308
400. Стеклоочистители и стеклоомыватели ветрового стекла	Стеклоочистители	401	Стеклоомыватели	402				
500. Колеса и шины	Износ протектора	501	Повреждения шин	502	Установка шин	503	Крепление, состояние дисков и ободьев колес	504
600. Двигатель и его системы	Параметры электродвигателя силового	601	Параметры двигателя внутреннего сгорания	602	Параметры аккумуляторной батареи	603	Система выпуска	604
700. Прочие элементы конструкции	Регистрационные знаки	701	Маркировка транспортного средства	702	Зеркала заднего вида	703	Звуковой сигнал	704
Стекла (обзорность, прозрачность)	705		Спидометр, тахограф	706	Элементы подвески, карданной передачи	707	Механизмы регулировки сиденья водителя	708
Привод управления дверьми	710		Аварийные выходы	711	Противоугонные устройства	712	Устройство обогрева и обдува стекол	713
Сцепное устройство	715		Медицин. аптечка, огнетушитель, знак аварийн. остановки	716	Противооткатные упоры	717	Ремни безопасности	718
Внесение изменений в конструкцию транс. средства	801		Крупногабаритный и тяжеловесный груз	802	Опасный груз	803	Специализированное транспортное средство	804
							Специальное транспортное средство	805

Примеры оформления результатов проверки:

602	☐	- соответствует требованиям безопасности дорожного движения	602	☒	- не соответствует требованиям безопасности дорожного движения	602	☒	- проверка не производилась
-----	--------------------------	---	-----	-------------------------------------	--	-----	-------------------------------------	-----------------------------

Замечания о выявленных в ходе проверки дефектах и дополнительная информация:

Проверка технического состояния транспортного средства проведена:

Дата:

Заключение государственного инспектора

(И., О., Фамилия, подпись лица, проводившего проверку)

безопасности дорожного движения:

М.П.

транспортное средство

(исправно / неисправно)

Дата:

(должность, подразделение ГИБДД, звание, И., О., Фамилия сотрудника)

(Подпись сотрудника, личный номерной штамп)

Повторная проверка технического состояния

транспортного средства должна быть выполнена до: