

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 621.433.052

ДЖАЛИЛОВ МИРФАЁЗ МИРАДЫЛОВИЧ

**Городской экологический чистый автобус с комплектом тягового
электрооборудования (КТЭО)**

**5А310605 – Испытание и эксплуатация
двигателей внутреннего сгорания**

**Диссертация
на соискание академической степени
магистра**

**Научный руководитель
д.т.н. профессор. Кадыров С.М.**

Ташкент- 2013г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

Факультет: Эксплуатация
автомобильного транспорта

Кафедра: Автотракторные
двигатели и транспортная экология

Учебный год: 2012-2013

Студент магистратуры:

Джалилов Мирфаез Мирадылович

Научный руководитель: д.т.н., проф.

Кадыров Сарвар Мукадырович

Специальность: 5А310605 –

“Испытание и эксплуатация

двигателей внутреннего сгорания”

АННОТАЦИЯ МАГИСТРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

на тему: " Городской экологический чистый автобус с комплектом
тягового электрооборудования "

Актуальность темы: В городском цикле движения автобуса, особенно в крупных городах, при резко переменном характере нагрузок, частых остановках, многократных торможениях, двигатель автобуса работает далеко не в оптимальном режиме. Значительная часть топлива сжигается впустую, выбросы в атмосферу угарного газа, двуокиси углерода, других вредных веществ и твердых частиц превышают экологические нормы работы транспортных средств. Что приводит к экологическому и экономическому вреду, который отрицательно влияет на здоровье населения и в экономической деятельности государства.

Связи вышеизложенным улучшение экономических и экологических показателей городских автобусов является весьма актуальной задачей.

Цель работы: Выбор оптимального варианта комплекта тягового электрооборудования для городского автобуса.

Объект исследования: Городской автобус с комплектом тягового электрооборудования.

Предмет исследования: Компоновочные схемы комплекта тягового электрооборудования для городского автобуса.

Методы исследования: При решении задач использованы современные математические методы, основные положения теории автомобиля, ДВС и автоматического управления. В качестве теоретической базы для проведения исследований использовались фундаментальные и прикладные труды ведущих отечественных и зарубежных ученых.

Научная новизна исследования: Заключается в подборе оптимальной и экономически эффективной энергетической установки для применения в автобусах, эксплуатирующихся в городском ездовом цикле.

Практическая значимость и внедрение результатов исследования: Улучшение топливной экономичности и снижение вредных выбросов достигается применением двигателя внутреннего сгорания малой мощности, который работает в оптимальном режиме с комплектом тягового электрооборудования. Такой подход позволяет исключить конструктивные элементы механической передачи и стабилизировать режим работы двигателя.

Структура и состав работы. В данной диссертации были изучены, компоновочные схемы, составные части конструкции гибридно-силовых установок городских автобусов проведены теоретические и

экспериментальные научные исследования по данной тематике. Углубленный анализ литературных и электронных информационных источников и документов, содержащих результаты ранее выполненных работ по данной тематике. Произведен теоретический расчет технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса. Экспериментальное исследование для выбора оптимальной схемы энергосиловой установки городского автобуса. Обобщенный анализ результатов экспериментальных исследований.

Краткая обобщенная формулировка выводов и предложений.

Проведенное теоретическое и экспериментальное исследование городских автобусов последовательной и параллельной схемой комплекта тягового электрооборудования позволило разработать технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса, а также подобрать наиболее оптимальную схему комплекта тягового электрооборудования для городского цикла движения.

Научный руководитель _____ д.т.н. профессор. Кадыров С.М.

Студент магистратуры _____ Джалилов М.М.

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC

UZBEKISTAN

TASHKENT AUTOMOBILE AND ROAD INSTITUTE

Faculty: Automobile transport
maintenance

Graduate student:
Djalilov Mirfayoz Mirodilovich

Department: Autotractor engines and
transport ecology

Research supervisor: PhD. Kadirov Sarvar
Mukadirovich

Academic year: 2012-2013

Specialty: 5A310605 - "Test and
operation of internal combustion
engines"

ANNOTATION

" CITY ENVIRONMENTALLY FRIENDLY BUS WITH SET OF
TRACTION ELECTRICAL EQUIPMENT "

Relevance of the topic: The engine of the bus does not run optimally in the urban cycle of the bus traffic, especially in large cities with variable activity, frequent stops, repeated braking.

A significant portion of the fuel is burned waste, carbon monoxide, carbon dioxide, other harmful substances and particulate pollutants exceed the environmental standards of the vehicles. It does the damage to environment and economics, because it influences strongly on people health and economic activity of the state.

Therefore the improving of economic and environmental characteristics of the city buses is a very important problem.

The purpose is to select the optimal alternative set of traction electrical equipment for city bus.

The object of the research is the city bus with a set of electrical traction equipment.

Subject of the research is the layout drawings of the set of electrical traction equipment for city bus.

The scientific novelty of the research is the selection of the optimal and cost-efficient energy systems to use in buses driving in urban cycle.

Methods of the research: For solving the problems were used modern mathematical methods, the main points of the theory of the vehicle, the engine and automatic control. The fundamental and applied works of leading native and foreign scientists were used as a theoretical basis for the research.

Practical and theoretical significance of the research. The saving of fuel and reducing emissions is achieved by using an internal-combustion engine with low power which works optimally with a set of electrical traction equipment. This approach enables to eliminate the structural elements of the mechanical transmission and stabilize engine operation.

The structure and composition of the work. In this thesis were studied, layout circuits and components, the design of hybrid-propulsion buses theoretical and experimental research on the subject. In-depth analysis of the literature and electronic information sources and documents containing the results of earlier work on the subject. Performed a theoretical calculation of the technical requirements for the components of the hybrid power plant of the city bus. Experimental study of the optimal scheme of the power plant of the city bus. A pooled analysis of experimental results.

Brief generalized formulation of conclusions and recommendations. Theoretical and experimental study of city buses series and parallel sets of traction electric scheme has allowed the development of technical requirements

for the components of the hybrid power plant of the city bus, and to choose the most optimal scheme sets of traction electric equipment for urban driving cycle.

Research supervisor _____ PhD. Kadirov S.M.

Graduate student _____ Djalilov M.M.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
Глава 1. История развития и современное состояние гибридных автобусов	15
1.1. История гибридизации	15
1.2. Опыт других стран в развитии гибридизации городских автобусов	17
1.3. Обзор существующих экологических чистых автобусов ..	22
Выводы по главе 1	35
Глава 2. Конструктивные схемы комплекта тягового электрооборудования автобусов	36
2.1. Принцип работы и конструктивные схемы ГСУ	36
2.2. Анализ составных частей КТЭО	43
2.3. Теоретический расчет определения технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса	54
Выводы по главе 2	58
Глава 3. Экспериментальное исследование городского автобуса с комплектом тягового электрооборудования последовательной и параллельной схемой	59
3.1. Объект испытаний	59
3.2. Методика проведения испытаний	64
3.3. Полученные результаты при проведении испытаний	65
Выводы по главе 3	68
Общие выводы	69
Список использованной литературы	70
Приложения	77

Введение

Наше независимое государство стремительно идет по пути прогресса. И одна из первых побед – рождение совершенно новой для нашей экономики отрасли - автомобилестроения.

Ислам Абдуганиевич Каримов.

Проблема охрана окружающей среды - является наиболее актуальной проблемой, поскольку от ее решения зависит жизнь на Земле, здоровье и благосостояние человека. Эта проблема обострилась в XX в., когда интенсивное развитие промышленности и транспорта, а также несовершенство технологических процессов привели к загрязнению атмосферы, воды и почвы. Ежегодно мировое хозяйство выбрасывает в атмосферу 350 млн. т окиси углерода, более 50 млн. т различных углеводородов, 150 млн. т двуокиси серы [25]. В атмосфере накапливается углекислый газ, уменьшается количество кислорода.

Угарный газ и окиси азота, выделяемые из глушителя автомобиля, выступают причинами головных болей, усталости, немотивированного раздражения, низкой трудоспособности человека. Сернистый газ воздействует на генетический аппарат, способствуя бесплодию и врожденным уродствам. В больших городах широко распространены заболевания органов кровообращения и дыхания, инфаркты, гипертония и др. Загрязнение атмосферного воздуха от автомобильного транспорта составляет 90% по окиси углерода и 70% по окиси азота. Автомобиль выбрасывает в почву и воздух тяжелые металлы и другие вредные вещества. В результате сжигания жидкого топлива в воздух ежегодно выбрасывается, по разным оценкам, от 180 тыс. до 260 тыс. т свинцовых частиц, что в 60—130 раз превосходит естественное поступление свинца в атмосферу при вулканических извержениях (2—3 тыс. т/год) [22]. В некоторых крупных мегаполисах, содержание свинца в атмосфере уже достигло опасной для здоровья человека концентрации или приближается

к ней.

С каждым годом становится всё очевиднее, что необходимость охраны окружающей среды оказывает всё большее влияние на развитие автомобильной промышленности. Мировой парк автомобилей ежегодно увеличивается на 10 – 15 % [21]. В этих условиях всё более актуальной становится задача по устранению вреда от современных автомобилей к загрязнению атмосферы отработавшими газами.

Растущий уровень загрязнения воздуха больших городов очень остро поставил вопрос о разработке комплекса мер по уменьшению содержания токсичных веществ в атмосфере. Основная часть выбросов токсичных веществ в атмосферу в крупных городах приходится на автомобильный транспорт. Это обуславливает предъявление к автомобильной промышленности требований по снижению уровня выделения токсичных веществ.

Другим важным аспектом является проблема ограничения мировых запасов нефти и природного газа, потребление которых возрастает с каждым годом и непосредственно связано с непрерывным ростом цен на углеводородное топливо. В настоящее время автомобильный транспорт является главным потребителем основных нефтепродуктов, на долю которого приходится около 90% бензина и 50% дизельного топлива[21]. Тенденции роста энергопотребления автомобильным транспортом таковы, что, при сохранении такого темпа к концу XXI века автомобильный транспорт будет потреблять в 20 раз больше энергоресурсов, чем на сегодняшний день.

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в среднем составляет около 30%, а в условиях интенсивного городского движения еще меньше[32]. Низкий КПД и отсутствие перспектив его повышения, делает традиционное применение двигателей внутреннего сгорания малоперспективным. Однако при всех недостатках традиционного ДВС найти ему полноценную замену до сих

пор не представляется возможным.

Рациональное соотношение мощностей основных источников тягового усилия от ДВС и тягового электродвигателя, а также энергоемкости и мощности накопителя зависит от того, в каких режимах движения будет эксплуатироваться транспортное средство. Наибольший эффект от гибридного привода достигается при использовании транспортного средства в городском цикле движения: по имеющимся экспериментальным данным потребление топлива техники с гибридным приводом в городском цикле снижается на 25-30%, а в отдельных случаях – на 50%. [6]

С другой стороны, в больших городах существует вполне ощутимая проблема, связанная с высоким уровнем загазованности. Большая доля CO₂ образуется выхлопами большого количества частных автомобилей, однако и городские автобусы вносят свой «вклад» в экологию города. выбросы от общественного автотранспорта растут по мере увеличения плотности населения городов. Крупнейшие автомобильные концерны давно приступили к решению проблемы снижения уровня выбросов частных автомобилей, но пока автомобили с гибридной установкой имеют слишком высокую цену, и при выборе покупателем нового авто низкий уровень экологичности не является весомым критерием, по сравнению с критерием цены.

С общественным транспортом ситуация иная. В каждом крупном городе имеется определенный парк автобусов занимающихся пассажироперевозками. Данные автобусы также вносят свой вклад в загрязнение городского воздуха. Концентрация вредных выбросов а также расход топлива увеличивается при городском цикле движения. Так как у данных автобусов почти весь маршрут состоит из разгонов и торможений. Так как вопросы эксплуатации автобусов и контроль загрязнения воздуха находятся в ведении городских властей, интерес к гибридной технике, в первую очередь, проявляют именно они. Кроме того, обслуживание

городского транспорта происходит централизованно, что очень удобно при освоении большого количества совершенно новой в плане обслуживания техники. Кроме привода городских автобусов, гибридная схема подходит для привода любого другого транспорта, работающего в режиме частых пусков и торможения. В городе это мусоровозы, снегоуборочная, поливальная, мусороуборочная и другая обслуживающая дороги техника.

Таким образом, повышение топливной экономичности и экологической безопасности автотранспортного комплекса, основу которого составляют ТС с двигателями внутреннего сгорания, является первоочередной задачей на сегодняшний день.

Актуальность темы. В городском цикле движения автобуса, особенно в крупных городах, при резко переменном характере нагрузок, частых остановках, многократных торможениях, двигатель автобуса работает далеко не в оптимальном режиме. Значительная часть топлива сжигается впустую, выбросы в атмосферу угарного газа, двуокиси углерода, других вредных веществ и твердых частиц превышают экологические нормы работы транспортных средств. Что приводит к экологическому и экономическому вреду, который отрицательно влияет на здоровье населения и в экономической деятельности государства.

Связи вышеизложенным улучшение экономических и экологических показателей городских автобусов является весьма актуальной задачей.

Цель работы: Выбор оптимального варианта комплекта тягового электрооборудования для городского автобуса.

Объект исследования: Городской автобус с комплектом тягового электрооборудования.

Предмет исследования: Компоновочные схемы комплекта тягового электрооборудования для городского автобуса.

Научная новизна исследования: Научная новизна заключается в подборе оптимальной и экономически эффективной энергетической

установки для применения в автобусах, эксплуатирующихся в городском ездовом цикле.

Практическая и теоретическая значимость исследования.

Улучшение топливной экономичности и снижение вредных выбросов достигается применением двигателя внутреннего сгорания малой мощности, который работает в оптимальном режиме с комплектом тягового электрооборудования. Такой подход позволяет исключить конструктивные элементы механической передачи и стабилизировать режим работы двигателя.

Краткий анализ литературы по тематике. Наиболее глубокими исследованиями, посвященными данной проблеме, занимались, и занимается ряд российских и зарубежных ученых: С.В. Бахмутов, А. А. Ипатов, Б.И. Петленко, Л.Ю. Лежнев, В.В. Селифонов, Е.И. Сурин, В.М. Фомин, Б.Я.Черняк, С.Ю. Шугуров, А.А. Эйдинов, В.Е. Ютт, M.Berg, P.Chudi, S.Friedmann, R.Krishnamachari, M.Lehna, A.Malmquist, W.Peukert, J.Maxwell и др. В своих исследованиях они касались вопросов конструирования компоновочных схем гибридного привода. Среди этих работ лишь очень небольшое число посвящено к схематическим компоновкам привода автобусов городского типа.

Методы исследования. При решении задач использованы современные математические методы, основные положения теории автомобиля, ДВС и автоматического управления. В качестве теоретической базы для проведения исследований использовались фундаментальные и прикладные труды ведущих отечественных и зарубежных ученых.

Структура и состав работы. В данной диссертации были изучены, компоновочные схемы, составные части конструкции гибридно-силовых установок городских автобусов проведены теоретические и экспериментальные научные исследования по данной тематике. Углубленный анализ литературных и электронных информационных

источников и документов, содержащих результаты ранее выполненных работ по данной тематике. Произведен теоретический расчет технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса. Экспериментальное исследование для выбора оптимальной схемы энергосиловой установки городского автобуса.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов обеспечена использованием современных математических методов, согласованным сравнительным анализом результатов расчетных и экспериментальных исследований.

ГЛАВА 1. История развития и современное состояние гибридных автобусов

1.1. История гибридизации

Первые электрические "гибриды" появились больше ста лет назад. В далеком 1906 году английский инженер В.Стивенс построил опытный электробензиновый грузовик. Год спустя автобусный оператор Томас Тиллиг выкупил у него права и вывел на рынок свои гибридные автобусы, правда, всего несколько штук. Формально, первым запатентовал проект гибридного автомобиля бельгиец Генри Пайпер в США 2 марта 1909 года.[15] Однако создателем первого легкового гибридного автомобиля является Фердинанд Порше, который ещё в 1898 году сконструировал опытный образец гибридного автомобиля, а позднее на основе его построил модель Lohner Electric Chaise (Lohner-Porsche Mixte Voiturette), завоевавшую гран-при Всемирной Парижской выставки 1900 года.[16] В автомобиле Порше применялась последовательная гибридная схема.

А первый серийный гибридный автобус с применением последовательной схемы был выпущен на линию в 1969 году. Он был произведен компанией Mercedes-Benz на базе модели O302, оснащался 4-литровым дизелем мощностью 65 л.с. и имел аккумулятор емкостью 91 кВт*ч. В дальнейшем гибридные технологии отрабатывались и внедрялись прежде всего на общественном транспорте. Наиболее активные действия производители предприняли в 1990-х гг. Гибридные автобусы стали заметным явлением в Европе, но наибольшее распространение они получили в Северной Америке.

Электромеханическая трансмиссия достаточно активно применялась на железнодорожном транспорте и в тяжёлой автотранспортной технике в 1930-х годах.[17] В то же время легковые гибридные автомобили

проиграли на этом этапе конкуренцию автомобилям с традиционным ДВС.

Интерес к гибридным автомобилям усилился в конце 1960-х годов на фоне роста обеспокоенности общественности экологическими проблемами. Американскому конструктору Виктору Воуку.[18] В 1972 году удалось создать гибридную модель Buick Skylark.[19] Разработки автомобилей-гибридов активизировались в результате мирового нефтяного кризиса 1973 года и последующих энергетических кризисов. [20] В это время автопроизводители концентрировали усилия на создании более экономичных автомобилей с ДВС. Однако как только кризисные явления затихали, проекты снижения расхода топлива, включая разработки гибридных технологий, откладывались.[20] Первый массовый легковой гибридный автомобиль — Toyota Prius — был выведен на рынок только в 1997 году.[21] А General Motors с 2004 года по июнь 2008-го поставил более чем в 30 городов США и Канады 1000 гибридных автобусов. Компания Orion Bus Industries к сентябрю 2009 года произвела 2200 гибридных автобусов. С тех пор количество автобусов-"гибридов" только увеличилось. [24]

С середины 1990-х годов в ряде развитых зарубежных стран на общегосударственном и/или городском уровне была осуществлена так называемая «Зелёная налоговая реформа», в результате которой владельцы гибридных автомобилей получили заметные налоговые льготы. Так, в Лондоне они освобождены от уплаты годовой пошлины в £2 тыс. В Ирландии для легковых гибридов наполовину снижена ставка ежегодного регистрационного сбора, это около €2,5 тыс.[63]

В Норвегии владельцы таких авто пользуются при их покупке разовой льготной ставкой транспортного налога — около €2 тыс. В испанской столице, Мадриде, льготы также разовые — совокупно около €2,5 тыс. В некоторых кантонах Швейцарии автовладельцы гибридов не платят ежегодный транспортный налог (около €340).[63]

В ряде штатов США они платят разовые налоги с транспортных

средств по сокращённой ставке или освобождаются от их уплаты вовсе, размер такой льготы доходит до \$4,7 тыс. Разовые льготы распространены и в Японии — экономия там в итоге составляет около €1,2 тыс.[63]

Еврокомиссия предложила к 2050 году запретить использование в городах ЕС автомобилей с бензиновым двигателем вовсе. Стратегия развития транспорта на ближайшие десятилетия там основывается на так называемой «Белой книге по транспорту».[64]

1.2. Опыт других стран в развитии гибридизации городских автобусов

Наиболее активные работы по созданию гибридных силовых установок и автобусов проведены североамериканскими производителями автобусов в сотрудничестве с крупными энергетическими компаниями и национальными лабораториями EPRI, General Electric, NREL, INEEL, ISE Research и др. Разработка и производство ведется согласно государственным программам «The 21st Century Truck Program (21CT) and the U.S. Department of Energy (DOE) Advanced Heavy Vehicle Hybrid Propulsion System R&D Program (Heavy Hybrid Program)». В 2002 году по заказу министерства энергетики США национальная лаборатория NREL провела анализ разработок гибридных грузовиков и автобусов различных типов с целью определения концепции построения гибридных силовых установок для городского и пригородного транспорта.

В Северной Америке автобусы с гибридными (дизель/электричество) силовыми установками разрабатывают и производят следующие фирмы. General Motors – параллельная гибридная схема GM/Allison разработана совместно с DaimlerChrysler и BMW. В эксплуатации в США несколько сотен автобусов (более тысячи). DaimlerChrysler (Orion Bus Industries) - автобус Orion VII Next Generation hybrid (рис. 1). С 1997 г. продано более 1000 и сделано заказов еще на более 1500 автобусов Orion. Крупнейшими потребителями являются Нью-Йорк и Оттава. Последовательная

гибридная схема разработана совместно с британской компанией BAE Systems. North America Bus Industries (NABI), подразделение Cerberus Capital, Gillig Corporation (США), Motor Coach Industries (США-Канада), New Flyer Industries (Канада) и Nova Bus (Канада), подразделение Volvo Bus Corporation производят гибридные автобусы на основе параллельной схемы GM/Allison. Optima Bus Corporation (США) – использует последовательную гибридную схему ISE/Siemens в 3 типах автобусов Orus ISE Series Hybrid. IC Bus (США) производит коммерческие и школьные городские автобусы (2 типа) на основе параллельной гибридной схемы производства Enova Systems (США).

Таким образом, США и Канада являются крупнейшими потребителями гибридных автобусов, в основном дизель-электрических. Многочисленные исследовательские проекты автобусов с газовыми двигателями и топливными элементами нами не рассматривались, ввиду отсутствия намерений по их коммерциализации. Характерным примером является также следующий: городские власти Нью-Йорка отказались от закупки около 200 газовых автобусов, направив выделенные средства на закупку гибридных автобусов. Позднее власти приняли решение перейти полностью на закупку гибридов, аргументируя это тем, что при сходных экологических показателях, дизель-электрические автобусы более экономичны и дают существенные преимущества в эксплуатации и комфорте, не требуют дополнительной инфраструктуры, а разница в цене довольно быстро окупается.

Европейские производители пока несколько отстают от американских компаний по коммерческому внедрению автобусов с гибридным приводом, несмотря на то, что исследовательские проекты подобной тематики в Европе начались довольно давно. Лидером по внедрению гибридных автобусов в настоящее время является Великобритания, в частности, Лондон, власти которого планируют пополнять городской автобусный парк только гибридными машинами[54]. Английский

производитель Wrightbus с 2006 года выпускает городские автобусы 3 модификаций с гибридным приводом, в том числе и двухэтажные (знаменитые лондонские красные «дабл - декеры»), используя последовательную схему ISE/Siemens с LiIon аккумуляторами. Optare Group (Великобритания) использует схему GM/Allison с суперконденсаторами в качестве накопителей электроэнергии для создания гибридной модификации городского автобуса Versa, который планируется испытать в середине 2008 года с последующим коммерческим выпуском в конце года. BAE Systems схема HybriDrive®. Схема с синхронным генератором с постоянными магнитами, асинхронным тяговым двигателем, масляным охлаждением, американскими батареями Hawker Pb-кисл. (HybriDrive® I) и A123Systems LiIon (HybriDrive® II).

В Германии коммерческое производство гибридных автобусов и схем электропривода для них подготавливают крупные европейские производители транспортной техники, такие как Mercedes, MAN (Германия), Scania и Volvo (Швеция). Работы идут при финансовой поддержке правительств соответствующих стран. MAN работает в сотрудничестве с Siemens A&D и использует последовательную схему гибридного привода с суперконденсаторами в качестве накопителей энергии, модифицировав серийный автобус MAN Lion's City, а Scania создает модификацию автобуса OmniLink на основе гибридной схемы Voith (Австрия) и суперконденсаторов Maxwell (США). Гибридный автобус MAN Lion's City Hybrid (рис. 2) был представлен на международном транспортном конгрессе транспортных компаний UTR Хельсинки, завоевал золотую медаль и был признан первым экономически жизнеспособным проектом гибридного городского автобуса. Помимо относительно низкой цены, экономичности и экологической чистоты, его отличают существенные выгоды при эксплуатации. Эти гибридные низкопольные городские автобусы с последовательной схемой привода, станут наиболее массовыми коммерчески продаваемыми гибридными

автобусами Европы[23]. На основе схем гибридного привода планируется создание широкой гаммы автобусов различного назначения (в т.ч. с выходом на две стороны для аэропортов и др.). В настоящее время проходят испытания. Также над параллельной схемой гибридного привода для грузовых автомобилей и автобусов работает Volvo (прототип носит название I-SAM, используется интегрированный стартер-генератор). Разработка гибридного городского автобуса проходит при поддержке правительства Швеции.

Mercedes-Benz ранее уже разрабатывал модификацию автобуса Citaro на топливных элементах Ballard (Канада) и дизель-электрический автобус Cito, а в настоящее время испытывается автобус Mercedes-Benz Citaro G с последовательной схемой гибридного привода с индивидуальным приводом мотор-колесо двух осей, созданной в сотрудничестве с Siemens, в том числе и в двухсекционном варианте.

Несмотря на некоторое отставание в коммерческом внедрении гибридных автобусов, интенсивные разработки в этом направлении ведут и фирмы азиатского региона, прежде всего Японии, Кореи и Китая. Первые коммерчески производимые автобусы выпущены в 1991 г. именно здесь компанией Hino Motors. Крупнейший автопроизводитель Китая, Shanghai Automotive Industrial Corp. (Шанхай) создал совместное производство гибридных автобусов с General Motors.

First Automotive Works (FAW), второй по обороту производитель из КНР, начал производство гибридных автобусов Jiefang с параллельной гибридной системой по технологии компании Enova (США) осенью 2005 г. Характеристики автобуса: экономия 38 % топлива, сокращение выхлопов на 30 %. На гибридном автобусе Jiefang установлены NiMH аккумуляторы. Beiqi Foton Bus (Китай) использовала параллельную гибридную схема Eaton Corporation (США) в разработке своих автобусов Foton. Guangzhou Yiqi Bus Co., Ltd (Китай) также сотрудничает с Eaton в создании первой партии гибридных автобусов. Китайская компания China Yuchai

International Ltd[43]. представила в 2008 году первый комплект тягового оборудования для городского автобуса собственной разработки. Проект основан на применении параллельной схемы с интегрированным стартер - генератором. Из других разработок следует отметить производителя DesignLine International Holdings из Новой Зеландии.[17] Сначала компания представила дизель-электрические гибриды (1998 г.), затем с 2000 г.перешла на использование на автобусах микротурбин компании Capstone MicroTurbine и аккумуляторов (возможно использование различных типов, NiMH или LiIon, или суперконденсаторов) и силовых интеллектуальных модулей SKAI от компании Semikron. Автобусы DesignLine EcoSaver поставлялись, в том числе и в США, Великобританию и Японию.

Последовательные схемы для современных городских автобусов предлагают следующие разработчики: (Великобритания), ISE/Siemens (США), схема Elfa® от Siemens A & D (Германия). 2 трехфазных IGBT инвертора (7/8 стоек полумостов), синхронный генератор с постоянными магнитами (в последнее время вариант с асинхронным генератором), асинхронные двигатели (вариант – синхронные с постоянными магнитами при безредукторном приводе), жидкостное охлаждение. ISE использует элементы Elfa® в комплекте тягового оборудования ThunderVolt®, в качестве накопителей энергии могут использоваться аккумуляторы Zebra (Германия) Ni-NaCl₂ или Cobasys (США) NiMH и/или суперконденсаторы Maxwell (США). Также, в качестве первичного источника энергии могут использоваться топливные элементы UTS Power (США).

Voith (Австрия), схема ELVO®. Используются идентичные синхронные генератор и двигатель специальной конструкции с постоянными магнитами на роторе, двумя статорами (внешним и внутренним) и поперечным (аксиальным) магнитным потоком, с жидкостным охлаждением. Применение такой конструкции электрической машины позволяет добиться существенного преимущества в работе

системы при малых оборотах. Используется четырехфазный силовой преобразователь и накопители энергии на суперконденсаторах Maxwell.

Параллельные схемы использованы в комплектах тягового оборудования следующих фирм: GM/Allison (США) - схемы EP40, EP50 (с модификацией для сочлененных автобусов) – смешанные параллельные схемы («Split»). Схема со вдвоенным трехфазным преобразователем (2 модуля «выпрямитель+инвертор»), с двумя асинхронными тяговыми двигателями, передающими момент через 2 синхронных муфты на коробку передач с 3 планетарными передачами, масляным охлаждением (общая система для двигателей, силового преобразователя и контроллера, с водо - масляным радиатором), накопителями на основе NiMH батарей (вариант – LiIon батареи Hyundai).

Eaton (США) - параллельная схема с автоматической трансмиссией Fuller® со встроенным мотор - генератором, инвертором, накопителем на основе батареи LiIon [32].

Фирма Enova (США) использует последовательную и параллельные (комбинированные) гибридные схемы с IGBT инвертором с жидкостным охлаждением (раствор этиленгликоля), с асинхронными генератором и тяговым двигателем, одноступенчатым концентрическим редуктором, различными видами накопителей энергии. В качестве первичного источника энергии могут использоваться топливные элементы UTS Power (США).

1.3. Обзор существующих экологических чистых автобусов

Гибридные автобусы Орион VII next Generation (рис.1.1.), производимые концерном Daimler AG, снабжены приводом HybriDrive® системы ВАЕ. Серийная гибридная система приводится в действие электродвигателем, который получает электроэнергию от дизельного генератора и аккумулятора[14]. На автобусах в качестве аккумуляторов используются литиево-ионные батареи. Кроме того, установлен

экологичный дизельный двигатель меньшего, чем на обычных автобусах, размера, который гарантирует меньшие выбросы и оптимальную эффективность благодаря почти постоянному числу оборотов.



Рис. 1.1. Гибридный автобус «Orion» VII Next Generation hybrid.

Дальнейшему повышению эффективности транспортного средства способствует рекуперативная тормозная система. Торможение осуществляется двигателем, что превращает его в генератор, обеспечивающий дополнительный приток электроэнергии для зарядки аккумулятора. Кроме того, это ведет к меньшему износу тормозов, которые таким образом могут реже обслуживаться.

По сравнению с обычным дизельным двигателем гибридные автобусы уменьшают расход топлива почти на 30 % и тем самым значительно снижают вредные выбросы: эмиссию твердых частиц на 90 %, эмиссию оксидов азота на 40 % и эмиссию парниковых газов на 30 %. Водители и пассажиры могут наслаждаться менее шумной, более чистой и плавной поездкой. С момента появления на рынке в 2003 году число произведенных городских автобусов Orion, достигло 3.500 единиц [10].

Гибридный автобус MAN Lion's City Hybrid

Автобус MAN Lion's City Hybrid построен на базе низкорамной городской машины (рис.1.2.). MAN Lion's City и выполнен по схеме

«последовательного гибрида», когда дизельный двигатель не имеет прямой связи с колёсами, а свою энергию передаёт к ним по проводам в виде электричества[21]. Соответственно, в автобусе нет коробки передач, сцепления, карданного вала и заднего моста. При этом сравнительно маломощный двигатель D08 стандарта EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) приводит в действие высокоэффективный трёхфазный генератор, который вырабатывает энергию для обоих электрических тяговых мотор-генераторов.



Рис.1.2. Гибридный автобус MAN Lion's City

Кроме того, силовая схема гибрида включает инвертор, преобразовывающий переменный ток в постоянный, и конвертор, снова преобразующий постоянный ток в переменный, который необходим для более эффективной работы колёсных электродвигателей. Естественно, все эти преобразования электричества серьезно продуманы – в высоковольтную силовую линию постоянного тока, где напряжение достигает 700 V, включены ионисторы или суперконденсаторы, 12 модулей которых размещаются на крыше автобуса. Отказ от аккумуляторов в пользу конденсаторов был сделан по целому ряду причин. Да, действительно, аккумуляторы могут запасти гораздо больше энергии,

чем конденсаторы. Но они дороже, тяжелее и ток заряда - разряда имеют весьма ограниченный. Но главное – у них небольшой срок службы, который составляет, как правило, около тысячи циклов заряда - разряда[12]. А вот ионисторы – двухслойные электролитические конденсаторы повышенной ёмкости – выдерживают несколько сотен тысяч таких циклов, да и весят сравнительно немного.

Таблица 1.1. Техническая характеристика ГСУ автобуса MAN Lion's City Hybrid

Таблица 1.1.

Количество модулей, шт.	12
Количество ионисторов в модуле, шт.	24
Максимальная мощность заряда/разряда, кВт	200
Максимальный ток, А	500
Диапазон рабочего напряжения, В	400-630
Запас энергии, кВт·ч	0,4
Вес (с рамой), кг	500
Охлаждение	воздушное, принудительное

Гибридные автобусы New Flyer

New Flyer – гибридные автобусы, которые используют электрический привод системы Allison, которые впервые были выпущены в 1997 году компанией New Flyer (Канада).

Автобусы компании New Flyer (рис.1.3.) производятся преимущественно для использования в Северной Америке. Компания основана в 1930 году как Western Auto and Truck Body Works Ltd, и постоянно ведет разработки по улучшению экологических характеристик своей продукции[17].

С 1960 года гибридные автобусы New Flyer являются основным городским транспортом в городах Торонто и Ванкувер.

Существует несколько моделей гибридных автобусов New Flyer, работающих на системе Allison: DE40LF, DE60LF, DE40LF BRT, DE40i Invero, GE40LF. Гибридный автобус New Flyer DE40LF длина его составляет 18,5 метров, ширина – 2,59 метра, а высота 3,35 метра. Масса автобуса достигает 30,2 тонны. В салоне могут расположиться на сидячих местах 64 человека.

Вход и выход осуществляется через 2 или 3 двери, в зависимости от модификации.



Рис. 1.3. Гибридный автобус New Flyer DE60LF

Гибридный автобус Isuzu Motors Ltd.

Японский производитель Isuzu Motors Ltd. представил гибридную версию городского автобуса Erga, (рис.1.4) получившего гибридный дизель-электрический привод Hybridrive. Автобус создан в сотрудничестве с американской компанией BAE Systems. Благодаря оснащению гибридной дизель-электрической силовой установкой, топливная экономичность нового Erga увеличилась на 16 процентов по сравнению с обычными дизельными автобусами. Гибридная система параллельного типа,

состоящая из дизельного двигателя и электромотора, отличается высокой мощностью и высокими экологическими характеристиками.

Автобус Erga Hybrid агрегируется 7,8-литровым дизельным двигателем Isuzu, работающим в паре с автоматической коробкой передач, а также электрическим мотором-генератором, который во время торможения автобуса переходит в режим генератора[31]. Вся электроэнергия, выработанная таким образом во время торможения, накапливается в литий-ионных аккумуляторных батареях, которые отличаются высокими эксплуатационными характеристиками и долгим сроком службы. Электрический мотор используется для трогания автобуса с места без шума и выброса вредных веществ в атмосферу, а также для зарядки аккумуляторов посредством рекуперативного торможения.



Рис.1.4. Гибридный автобус Isuzu Erga Hybrid

Такая технология работы идеально подходит для городских автобусов с постоянным маршрутом, которым приходится часто останавливаться и трогаться.

С высокоэффективным дизельным двигателем Isuzu, который отвечает последним требованиям по автомобильным выбросам в Японии, автобус Erga Hybrid имеет хорошие экологические показатели воздействия на окружающую среду, отличается топливной экономичностью и эффективностью, а также высокой производительностью.

Таблица 1.2. Технические характеристики автобуса Isuzu Erga Hybrid

Таблица 1.2.

Двигатель	6HK1-ТСС
Объем двигателя	7,790 см ³
Максимальная мощность двигателя	191 кВт
Максимальный вращающий момент ДВС	761 Нм
Трансмиссия	6-скоростная АМТ
Электромотор	44 кВт
Аккумулятор	литий-ионный, 3,9 кВтч, 360 В

Гибридный автобус ЛиАЗ-5292 концерна «РУСЭЛПРОМ»

Предприятия Российского электротехнического концерна «РУСЭЛПРОМ» - ООО «Русэлпром - Электропривод» и ОАО «НИПТИЭМ» по заказу ООО «ЛиАЗ» (дивизион «Автобусы» группы «ГАЗ») выполнили разработку комплекта тягового электрооборудования для городского маршрутного автобуса на основе новой модели низкопольного городского автобуса ЛиАЗ-5292. (рис.1.5).

В ходе разработки пройдены необходимые этапы математического моделирования, разработки схемотехники и конструкции комплекта тягового электрооборудования (КТЭО), выполненного последовательной схеме: генератора, тягового двигателя, силовой и управляющей электроники, вспомогательных систем питания и охлаждения. Создан испытательный стенд для наладки и испытаний силовой электроники, электрических машин, отработки алгоритмов управления, программного обеспечения контроллеров электропривода и контроллера верхнего уровня для оптимального управления потоками мощности дизеля и накопителя в

режимах тяги и торможения. Изготовлены и испытаны на стенде все составные части КТЭО и весь комплект в целом, включая накопитель энергии, выполненный на основе суперконденсаторов фирмы Maxwell[15].

Созданный комплект может легко адаптироваться под применение в современных и перспективных автобусах различных производителей, различных модификаций.

Последовательная схема наиболее проста в разработке, внедрении, адаптации, оптимальна для городского маршрутного автобуса, экономически наиболее оправдана, что подтверждается опытом мировых и европейских производителей.



Рис.1.5. Гибридный автобус ЛиАЗ-5292

Городской автобус с КТЭО РУСЭЛПРОМ удовлетворяет как современным, так и перспективным требованиям:

- по экологичности работы транспортных средств не ниже Евро-5 по Правилам ЕЭК ООН № 49 (04);
- по экономичности – будет иметь транспортную норму расхода топлива не более 30 л/ 100 км при движении в городском цикле (экономия не менее 25% по сравнению с базовым автобусом);
- по управляемости и комфортности – превышать базовый автобус по плавности разгона и торможения, характеристикам управляемости, шумности работы;

- по показателям надежности – иметь среднюю наработку на отказ не менее 100000 часов, вероятность безотказной работы КТЭО за время наработки 1000 часов не менее 0,995 при экспоненциальном законе распределения отказов по времени.

Таблица 1.3. Технические характеристики автобуса ЛиАЗ-5292

Таблица 1.3.

Двигатель	Cummins ISBe4 185, Euro-5, дизельный	
Рабочий объем, л	4,5	
Расположение	Поперечное в заднем свете	
Максимальная мощность двигателя, кВт (л.с.)	136 (185) при 2500 мин-1	
Максимальный крутящийся момент, Нм	700 при 1500 мин-1	
Максимальная скорость, км/ч	85	
Комплект тягового электрооборудования (КТЭО)		
Мотор-генератор (АМ-Г)	Мощность на выходе генератора, кВт	132,5
	Максимальная скорость вращения вала АМ-Г, об/мин	2300
Тяговый асинхронный двигатель (ТАД)	Максимальная мощность на валу ТАД, кВт	132,5
	Номинальная длительная мощность на валу ТАД, кВт	125

	Максимальный пусковой момент на валу ТАД, Нм	При $i=9,82$; 1500
	Максимальная скорость вращения вала ТАД, об/мин	При скорости автобуса 90 км/час; 4975
	Максимальный длительный момент на валу ТАД, Нм	При $i=9,82$; 1000
Накопители (6 шт.)	Емкость, Ф, не менее	10,5
	Напряжение, В	400-800
	Энергоемкость, Вт.ч., не менее	610
	Ток разряда, А	150
	Максимальный ток разряда, А	750
	Масса, кг	350
	Габариты, мм(Д/Ш/В)	726/425/265

Гибридный автобус НЕФАЗ 5299Н

В результате сотрудничества специалистов ОАО «НЕФАЗ» и ООО «Фойт Турбо Казань» удалось создать перспективный гибридный привод, установленный на автобус НЕФАЗ 5299Н (рис.1.6.). Он относится к приводам так называемого параллельного типа, когда на помощь дизелю приходит асинхронный электродвигатель, включающийся в работу при трогании автобуса с места и ускорении. Во время торможения машины электромотор работает в режиме генератора, выполняя также роль тормоза-замедлителя и дополняя работу ретардера, встроенного в

стандартную гидромеханическую коробку передач DIVA. Как результат – снижение нагрузки на тормозную систему и уменьшение выбросов мелкодисперсной пыли. Выделяемая во время торможения энергия накапливается в батарее конденсаторов. Преимущество применения конденсаторов по сравнению с аккумуляторами заключается в их значительно большем жизненном цикле и, в итоге, повышении эффективности работы автобуса. В качестве основного на автобусе установлен дизель CUMMINS ISB 6.7 ES 250 В с рабочим объемом 6,7 л, развивающий максимальную мощность 184 кВт и максимальный крутящий момент 1020 Нм. Мощность электродвигателя – 150 кВт.



Рис.1.6. Гибридный автобус НЕФАЗ 5299Н

Испытания экспериментального автобуса показали, что снижение расхода топлива на городских маршрутах доходит до 20%, при этом гибридный привод отличается надежностью. Кстати, аналогичный привод в течение нескольких лет является стандартным оборудованием нескольких автобусов зарубежных марок, хорошо зарекомендовавших себя в европейских странах и в США[32].

Таблица 1.4. Технические характеристики автобуса НЕФАЗ 5299Н

Таблица 1.4.

Двигатель	CUMMINS ISB 6.7 ES 250 В
Рабочий объем	6,7 л
Максимальная мощность двигателя, кВт	184 кВт

Максимальный крутящийся момент, Нм	1020 Нм
Мощность электродвигателя	150 кВт.

Гибридный "Витовт" А420 концерна «РУСЭЛПРОМ»

Городской пассажирский автобус Витовт А 420 (рис.1.7.) стал результатом успешного российско-белорусского научно-технического и промышленного сотрудничества. "Витовт" А420 был разработан на "Белкоммунмаше" совместно с российским электротехническим концерном "РУСЭЛПРОМ"

В состав электрооборудования входят: дизель-генераторная установка; силовой (тяговый) электропривод; вспомогательное электрооборудование; цепи управления; CAN-система. Тяговый двигатель - асинхронный электродвигатель длительной мощностью 120 кВт. Дизельный двигатель - Cummins ISB6.7E5250H (Евро-5, мощность 170 кВт). Работа гибридной установки устроена по принципу последовательного типа: дизельный двигатель приводит во вращение генератор, который вырабатывает энергию для питания тягового электрического двигателя и заряжает блок накопителей энергии. Использование гибридного (дизель-электрического) привода позволяет снизить потребление топлива примерно на 30% и уменьшить выбросы вредных веществ по сравнению с автобусами с традиционным приводом. Дополнительный объем энергосбережения достигается гибридной установкой за счет регенерации и рекуперации энергии для повторного

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.



Рис. 1.7. Гибридный "Витовт" А420

Кузов машины устойчив к коррозии, выполнен из пластиковых компонентов. Автобус обладает современным запоминающимся дизайном и высоким уровнем комфорта, низким уровнем пола по всему салону. Оборудован системой глобального позиционирования, системой дистанционного контроля технического состояния автобуса[33]. В конструкции гибридного "Витовта" используются комплектующие ведущих мировых производителей. Пассажировместимость автобуса составляет 79 человек, количество мест для сидения - 29. Максимальная скорость - 70 км/ч.

В настоящее время автобус-лауреат проходит сертификационные испытания на Дмитровском испытательном полигоне Центрального научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института НАМИ. В конце ноября "Витовт" А420 должен получить все необходимые разрешения и допуски для эксплуатации на городских маршрутах на территории России.

Выводы по главе 1

История развития гибридных технологий насчитывает небольшой промежуток времени и в основном связан с топливными кризисами и загрязнениями воздуха. Так или иначе, углеводородных ресурсов земли становится все меньше и использование гибридных технологий на сегодняшний день является наилучшим вариантом экономии топлива и охраны окружающей среды. До недавнего времени основной проблемой широкому распространению гибридных технологий являлась их дороговизна и отсутствие сервиса. Но к сегодняшнему дню правительства многих развитых стран выступают в поддержку развития гибридных технологий и выделяют специальные льготы производителям и покупателям данных автомобилей. Производители в свою очередь постоянно совершенствуют свои автомобили чтобы добиться максимальной эффективности. С такими темпами все проблемы стоящие перед развитием данной отрасли в скором времени будут решены и гибридные автомобили станут общедоступными и более дешевыми. Основной целью данной работы является выбор оптимального варианта комплекта тягового электрооборудования для городского автобуса. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать принципы работы, преимущества и недостатки современных систем комплекта тягового электрооборудования;
- изучить устройства составных частей комплектов тягового электрооборудования городских автобусов;
- произвести теоретический расчет по определению технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса;
- произвести экспериментальные исследования по определению наиболее оптимальной схемы.

ГЛАВА 2. Конструктивные схемы комплекта тягового электрооборудования автобусов

2.1. Принцип работы и конструктивные схемы ГСУ

Центральным элементом гибридной силовой установки является комбинированная микропроцессорная система управления, обеспечивающая работу двигателя внутреннего сгорания на постоянном режиме минимального удельного расхода топлива при всех скоростных и нагрузочных режимах транспортного средства путем регулирования работы электроагрегатов и механических узлов силовой установки.

Современные гибридные силовые установки включают ДВС или двигатель – генераторные агрегаты и тяговые накопители энергии, которые совместно с комбинированными электромеханическими трансмиссиями строятся по принципу последовательной или параллельной архитектуры, а также по схеме «сплит», реализующую последовательно-параллельную систему. Анализ современных гибридных автомобилей показывает, что мировыми автомобилестроительными фирмами разработаны опытные образцы гибридных автомобилей всех структурных схем.

В случае последовательной схемы двигатель внутреннего сгорания отдает энергию только генератору, который либо питает только тяговый электродвигатель, либо дополнительно заряжает накопитель энергии. При нехватке энергии генератора для обеспечения необходимого режима работы автомобиля тяговый электродвигатель получает дополнительную энергию от накопителя энергии, при избытке ее - отдает избыток в накопитель. При желании возможно на ограниченном протяжении пути движение в режиме электромобиля с выключенным двигателем внутреннего сгорания[17].

В случае параллельной схемы двигатель внутреннего сгорания через соответствующую механическую трансмиссию отдает энергию ведущим колесам автомобиля и через специальную систему отбора мощности может при избытке энергии через генератор питать накопитель энергии, а при дефиците энергии через эту же систему получать дополнительную энергию от накопителя через элементы электротрансмиссии.

Последовательная кинематическая схема комбинированной энергетической установки (рис.2.1. и рис.2.2.) исключает механическую связь колес с первичным источником энергии (например, ДВС). Двигатель является источником энергии для электрогенератора, который, в свою очередь, питает электродвигатели привода колес.

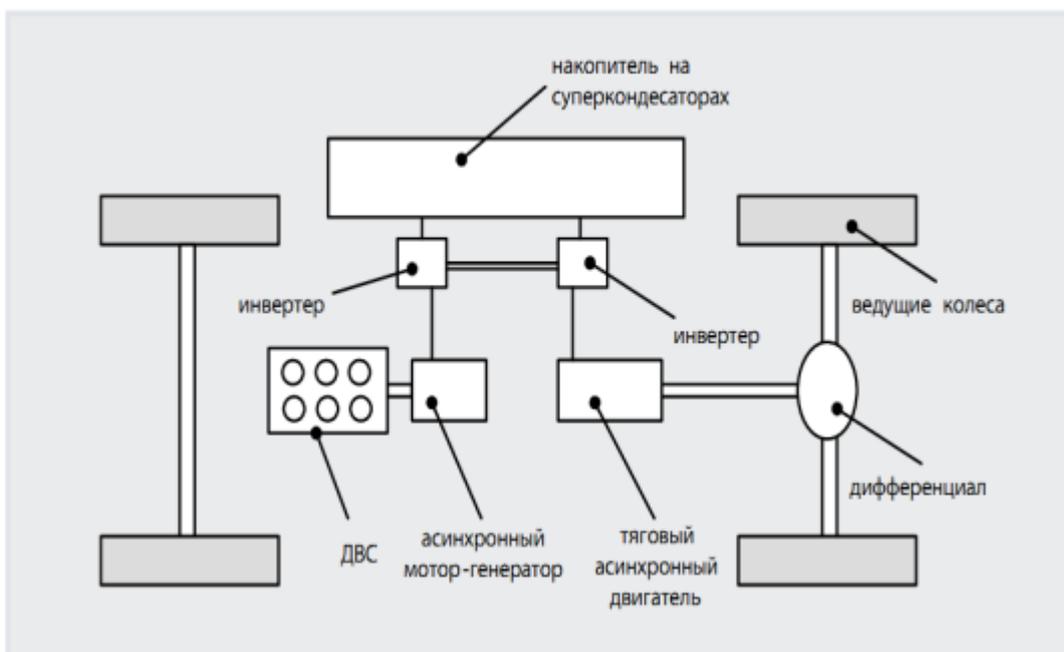


Рис.2.1. Схематическое изображение последовательной схемы привода. Между генератором и двигателем (двигателями) привода расположен накопитель энергии (батарея аккумуляторов или суперконденсаторов). Накопитель аккумулирует избытки вырабатываемой генератором электроэнергии, получает энергию рекуперации при торможении, обеспечивает пиковые нагрузки на колесах[19].

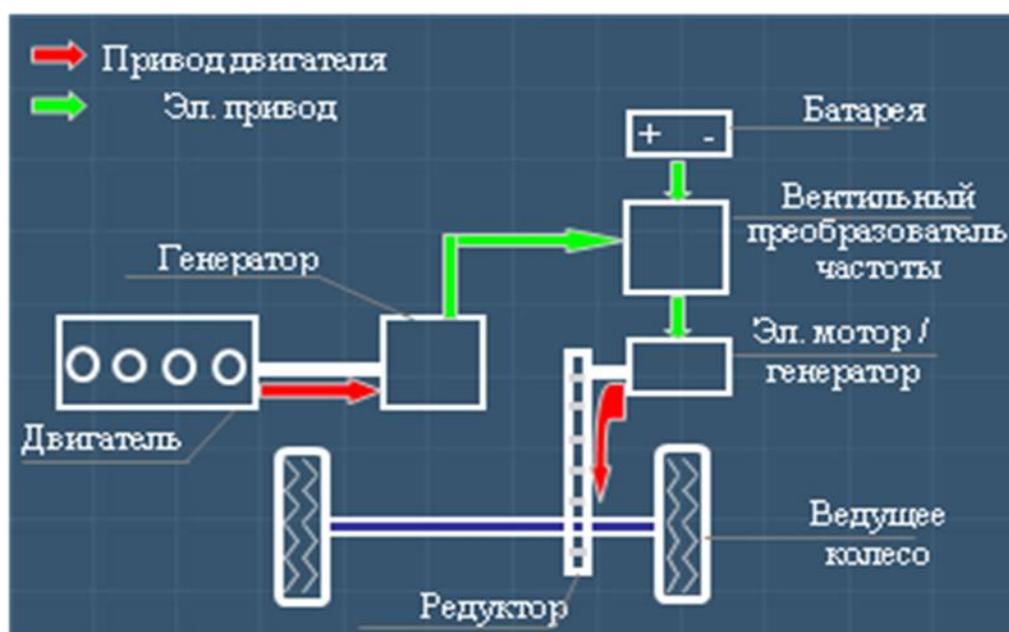


Рис.2.2. Принципиальная схема последовательной ГСУ

Схема позволяет стабилизировать режим работы первичного двигателя в области максимальной топливной эффективности и

минимальных выбросов, исключить конструктивные элементы механической передачи: коробки передач, валы и т.п. Возможно использование двигателя меньшей мощности при сохранении момента привода. Внедрение такой схемы наиболее просто, т.к. можно обеспечить любую компоновку элементов привода (нет передачи энергии по механическому каналу).

Электрическая схема также довольно проста, может быть применена как с ДВС, так и с альтернативными источниками энергии (топливными элементами и т.п.).

К недостаткам схемы относится двойное преобразование энергии (теоретически – ниже КПД), необходимость применения электромашин и силового преобразователя на полную мощность привода, относительно высокая цена комплекта тягового оборудования. Последовательная схема (рис.2.3.) наиболее **эффективна при движении** транспортного средства в режиме с переменными нагрузками, т.е. в городском режиме. В таком случае, ее **достоинства значительно превышают недостатки**, а энергия рекуперативного торможения компенсирует недостаточно высокий КПД в стационарном скоростном режиме. Эта схема наиболее выигрышна для применения в городских маршрутных автобусах 12м и более (18 и более тонн).

Функциональная схема взаимодействия составных частей комплекта гибридного тягового электрооборудования, выполненного по последовательной схеме:

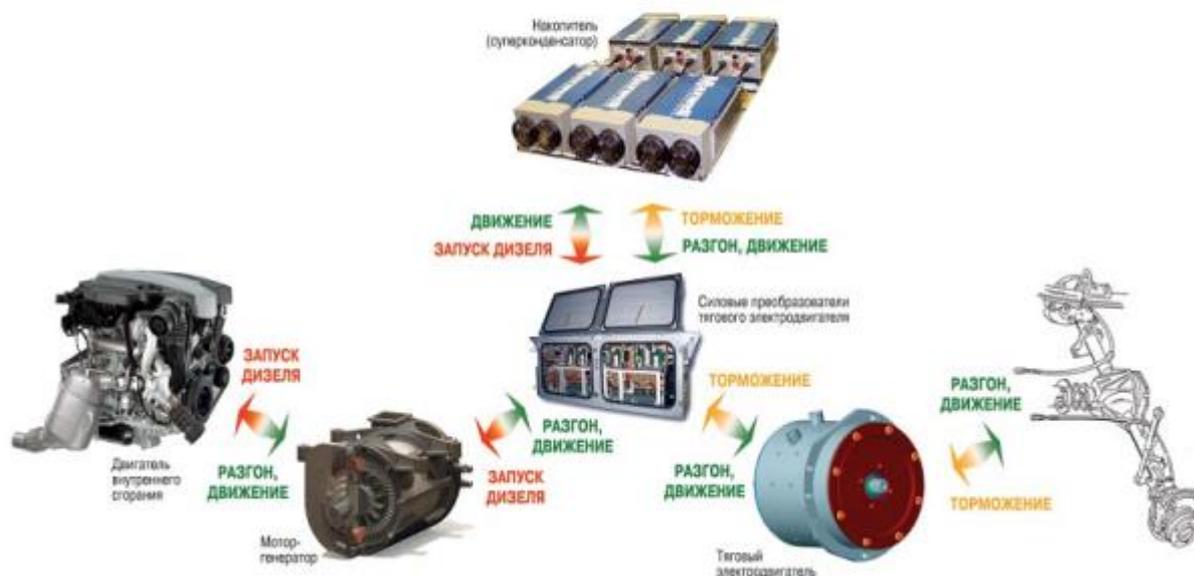


Рис.2.3. Последовательная схема

Параллельная схема (рис.2.4. и рис.2.5.) обеспечивает передачу энергии на колеса как от источника механической энергии (ДВС), так и – параллельно – от электродвигателя. При этом, накопитель энергии работает так же, как в последовательной схеме[19]. Электродвигатель компенсирует неравномерности работы ДВС и недостатки момента, обеспечивая плавность хода и экономию топлива за счет энергии накопителя, полученную при рекуперативном торможении. При малых оборотах возможно движение транспортного средства только от электродвигателя, с включением в работу ДВС при наборе достаточной скорости движения. Схема имеет относительно высокий КПД и хорошие массогабаритные показатели (применяется электрооборудование только на часть полной мощности).

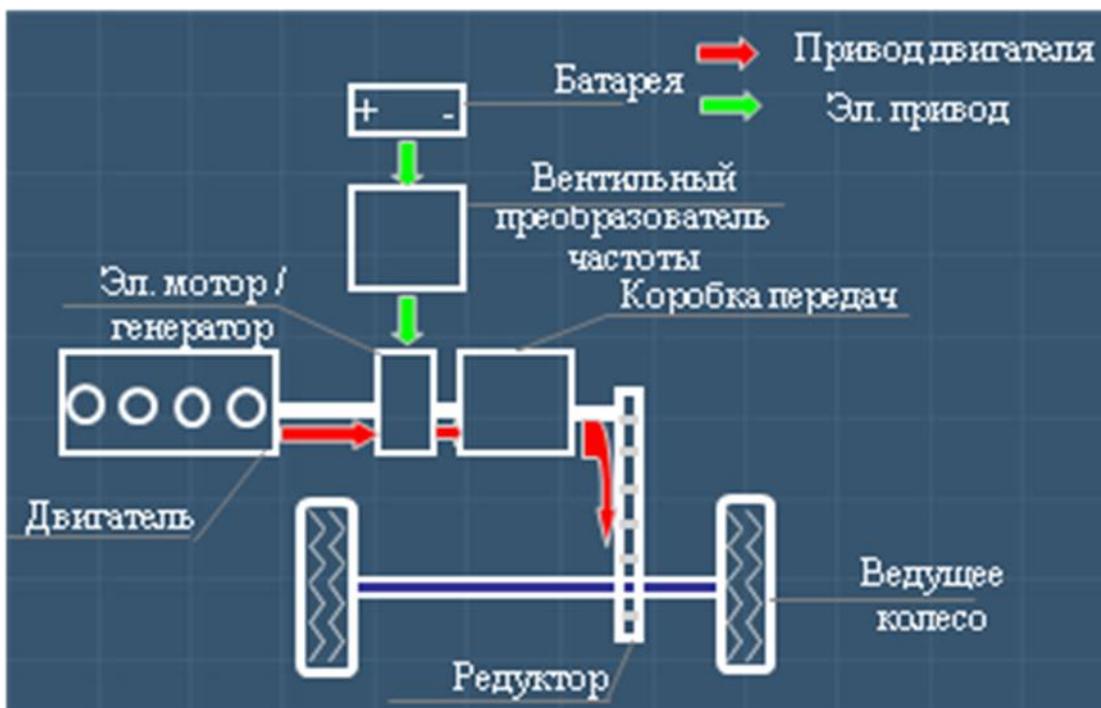


Рис.2.4. Принципиальная схема параллельной ГСУ

Недостатком схемы является сложность механического согласования работы ДВС и электропривода, ограничения в компоновке, необходимость применения устройств механического согласования (коробок передач специальной конструкции). Правда, от согласования работы ДВС и электропривода можно уйти, обеспечив передачу ими момента на разные оси (колеса), однако, такой прием не всегда приемлем по условиям размещения тягового оборудования и баланса масс транспортного средства. Также существенным недостатком **схемы является нестабильность работы ДВС**, соответственно ухудшение показателей выбросов по сравнению с последовательной схемой. Применение параллельной схемы оправдано для транспортных средств, работающих на маршрутах со средней и более низкой интенсивностью движения (по сравнению с последовательной схемой) для обеспечения экономии топлива при торможениях, спусках, поворотах и т.п.

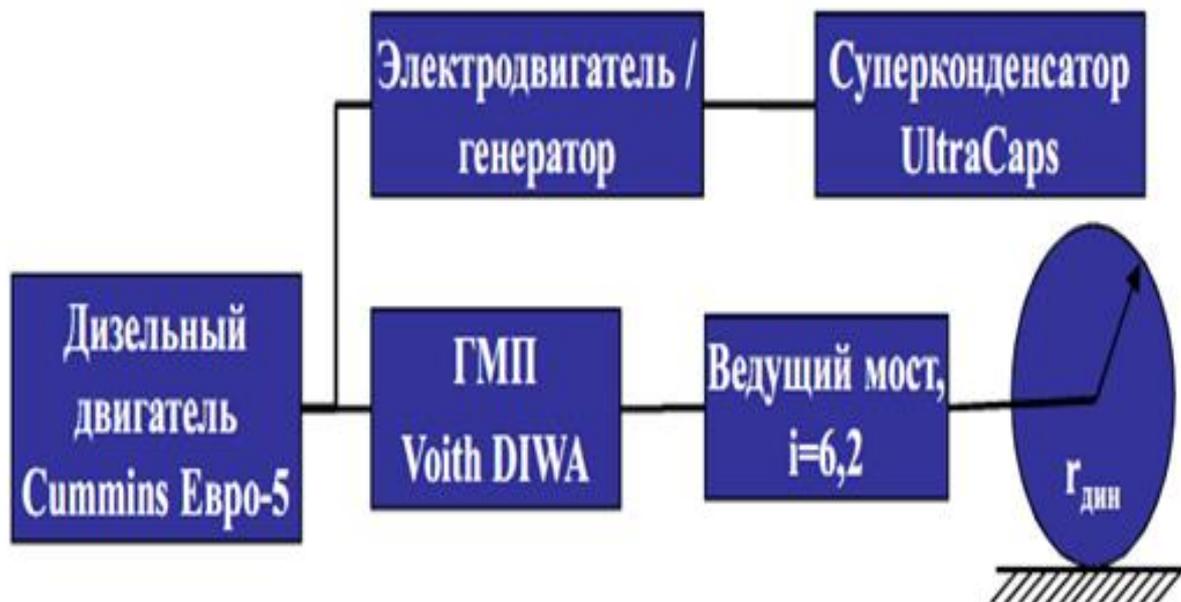


Рис. 2.5. Схема параллельного привода автобуса

Последовательно-параллельная схема (Комбинированная схема «Split») (Рис.2.6. и рис.2.7.) сочетает в себе преимущества последовательной и параллельной схем за счет специального устройства согласования работы ДВС и электродвигателя (например, несимметричный планетарный дифференциал). Устройство согласования позволяет перераспределять потоки мощности между двумя источниками энергии (тепловой двигатель и электрический накопитель) и двумя каналами передачи энергии на колеса (механическим и электромеханическим) и передавать мощность между ними в любом направлении. В такой схеме возможна как работа от одного источника энергии (ДВС или накопитель электроэнергии), так и от двух сразу (ДВС и накопитель), а вращение передается на колеса как механическим, так и электрическим двигателем, либо только одним из них (любым) [17].

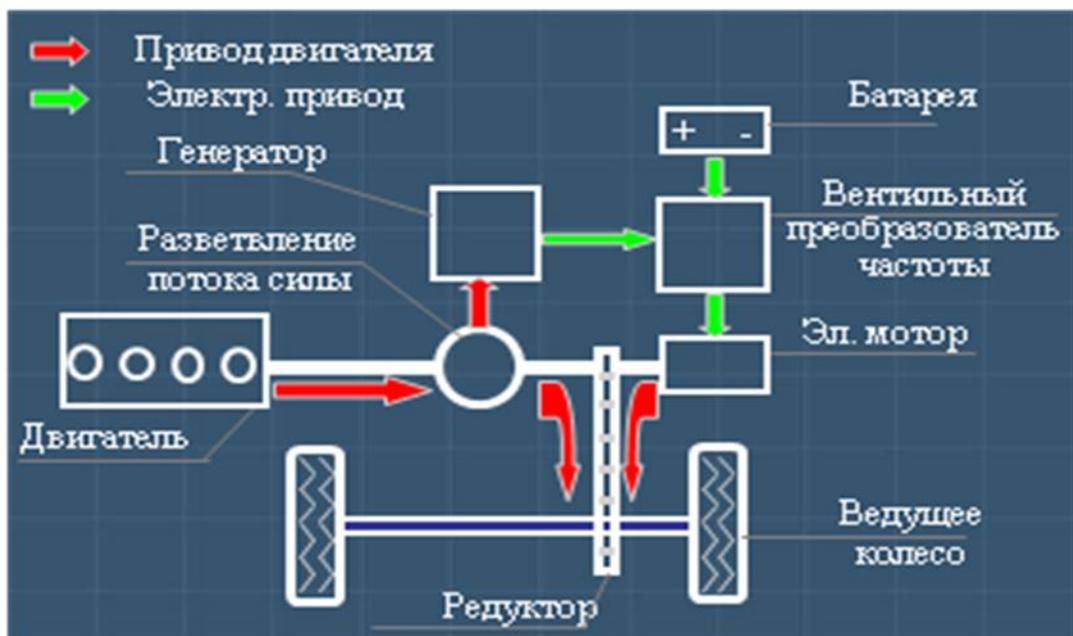


Рис.2.6. Принципиальная схема последовательно-параллельной ГСУ

Такая схема обеспечивает высокую экономичность работы, максимальную гибкость в режимах работы системы тягового привода, но является довольно сложной в разработке и реализации, требует создания сложных и дорогих механических элементов.

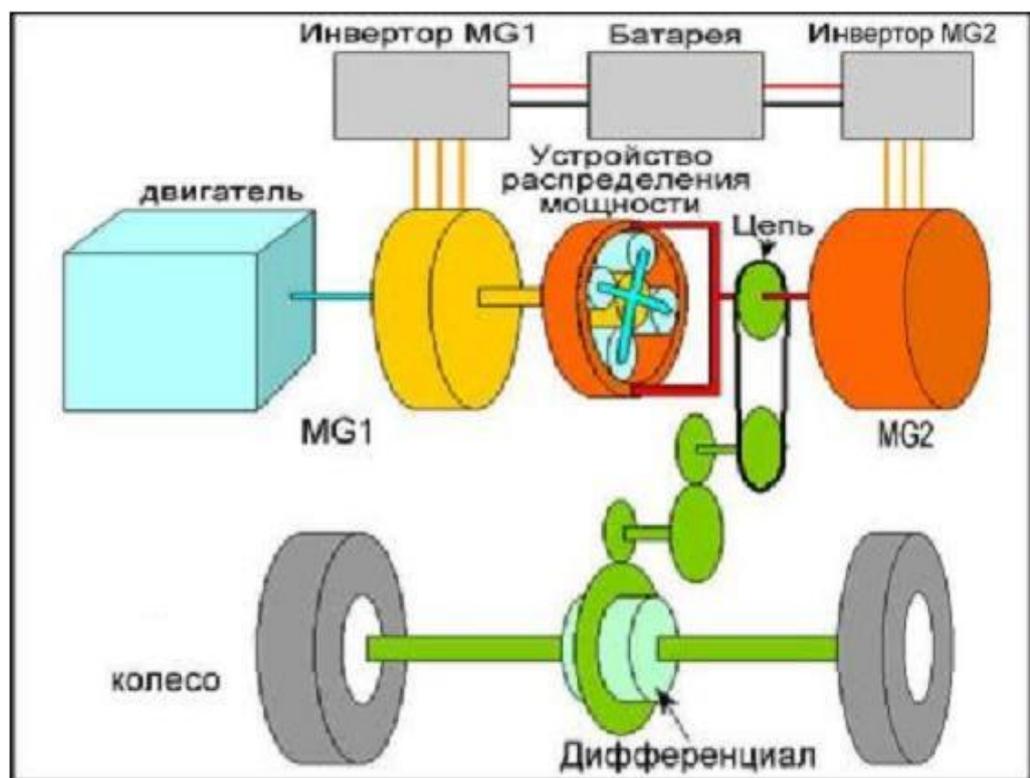


Рис.2.7. Последовательно-параллельная система.

2.2. Анализ составных частей КТЭО

Комплект тягового электрооборудования последовательного гибридного автобуса состоит из следующих основных частей:

- тяговый асинхронный генератор (мотор – генератор) (М-Г);
- тяговый асинхронный двигатель (ТАД);
- силовые преобразователи (СП) с микропроцессорной системой управления (СП) для АМ-Г и ТАД;
- накопитель на основе электрохимических конденсаторов (ЭК)
- контроллер верхнего уровня (КВУ) для управления потоками мощности и тягой с органами управления и отображения информации в кабине водителя.

Расположение составных частей КТЭО показан на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Компоновка КТЭО на автобусе ЛиАЗ 5292.

Рассмотрим составные части ГСУ последовательного гибридного автобуса.

- **Асинхронный тяговый двигатель** ТАД225-380-750 и мотор- генератор ТАГ225-280-450 на сегодняшний день характеризуются уникальными эксплуатационными качествами, большим сроком службы, простотой в обслуживании и ремонте. Также отсутствие подвижных электрических контактов обуславливает их высокую надежность[14].

Характеристики асинхронного тягового двигателя ТАД225-380-750 и мотора генератора ТАГ225-280-450 указаны в таблице 1.3.

- **Модуль 3-фазного инвертора SEMIKRON** предназначена для работы в составе энергетической установки, она содержит конвертор и инвертор на интеллектуальных силовых модулях SKiP2403GB172 с транзисторами Trench IGBT (2400 А, 1700 В), установленных на теплоотвод с жидкостным охлаждением, а также блок конденсаторов (последовательно) емкостью 3300 мкФ. Уникальная конструкция модуля SKAI, специально разработанного для применения в системе тягового привода на автотранспорте, имеет лучшее соотношение цена / качество и позволяет строить преобразователь с возможностью изменения направления передачи мощности – возбуждение асинхронного генератора. Управление генератором в режиме двигателя при пуске дизеля и при торможении автобуса. Управление тягой асинхронного двигателя и его генераторным режимом при торможении автобуса.

Модуль может использоваться как с асинхронным генератором с фазным ротором, так и с синхронным генератором мощностью до 1 МВт. Многослойные шины необходимы для распределения энергетических потоков между силовыми компонентами мощных преобразовательных устройств. Они предназначены, прежде всего, для использования в импульсных схемах с высокими значениями коммутлируемых токов и напряжений и большими скоростями их изменения[17,24,31].

Диапазон токов электронных устройств, при которых целесообразно применение многослойных шин, составляет 25-2500 А [3]. Основными

требованиями, предъявляемыми к шинам, являются минимальные значения распределенных индуктивностей и сопротивлений проводников и большая допустимая плотность тока в сочетании с высоким напряжением изоляции слоев шины.

Современная многослойная шина представляет собой прессованную плоскую конструкцию, состоящую из медных пластин, изолированных друг от друга тонким слоем диэлектрика.

Будучи симметричной параллельной конструкцией, шина обеспечивает согласованную высокую проводимость слоев, согласованное значение распределенной емкости и низкую паразитную индуктивность. Шина общего провода может также выполнять функции экрана.

Все это гарантирует минимальный уровень радиопомех, помех, излучаемых в сеть, и высокую электромагнитную совместимость изделия. Кроме того, применение плоских шин позволяет создать компактную легкую конструкцию и обеспечить хорошие тепловые характеристики.

- **Электрохимические конденсаторы** представляет собой молекулярный накопитель энергии (накопитель энергии), накопление заряда в котором осуществляется в двойном электрическом слое в объеме сверхпористого углерода. Металлический корпус ЭК состоит из обечайки и крышек, сваренных друг с другом аргонодуговой сваркой. Токовыводы располагаются на торцевых сторонах цилиндра (по центру крышек). Внутри корпуса находятся блоки накопительных элементов, представляющих собой многослойную тонкопленочную конструкцию, состоящую из пористых углеродных электродов, сепаратора и токосъемных пластин. Полости (свободные объемы) между корпусом и блоками накопительных элементов заполнены эпоксидным компаундом. Электроконденсаторы обладают следующими преимуществами:

- наивысшая удельная весовая и объемная мощность;
- устойчивость к значительным перегрузкам по напряжению и перезаряду без выхода из строя и безопасность в эксплуатации;

- низкий уровень саморазряда;
- широкий диапазон рабочих температур, необслуживаемость при эксплуатации;
- высокая надежность изделий, подтвержденная многолетними стендовыми испытаниями и эксплуатацией у потребителей.

ЭК запасается и используется электростатическая энергия, а также энергия электрохимических процессов. Как правило, в качестве электродов в таких устройствах применяются углеродные материалы с большой поверхностью (активированные угли), а в качестве электролитов — водные или органические растворы. Основным преимуществом ЭК является то, что они могут очень быстро накапливать и отдавать более высокую энергию, чем традиционные конденсаторы. По сравнению с аккумуляторами, ЭК имеют больший ресурс, не требуют технического обслуживания, хорошо работают в условиях экстремальных температур и имеют меньшую цену номинальной мощности. Использование ЭК позволяет решить ряд задач, которые не могут быть решены с помощью традиционных источников тока.

Важнейший параметр накопителя в составе гибридной силовой установки циклический ресурс. Специфика движения городского автобуса с частыми остановками, торможениями и ускорениями требует от накопителя большое количество зарядно-разрядных циклов. Число их в зависимости от интенсивности движения составляет 500...1000 циклов в сутки, а за 10 лет эксплуатации — более 1 млн. циклов. Технические характеристики конденсаторов Maxwell показаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Технические характеристики конденсаторов Maxwell

Таблица 2.1.

Рабочее напряжение, В	125
Максимальное напряжение, В	135
Емкость, Ф	63
Внутреннее сопротивление, мОм	18
Габаритный объем, л	99,1
Масса, кг	58
Удельная энергия, Вт·ч/кг (Вт·ч/л)	2,4 (1,4)
Удельная максимальная мощность, кВт/кг (кВт/л)	3,7 (2,2)
Рабочая температура, °С	-40...65
Ресурс, циклы	1 000 000
Система охлаждения	Воздушная принудительная
Система выравнивания напряжения элементов	Требуется

- **Управление потоками мощности** является функцией КВУ, он же осуществляет управление движением, включая логическую обработку входных сигналов кабины водителя, датчиков, измерение аналоговых сигналов, управление режимами движения автобуса, а также обработку и фиксацию аварийных ситуаций. КВУ имеет четыре независимых CAN-интерфейса передачи данных, широко применяемого в автомобильной промышленности. Два из CAN-интерфейсов работают по протоколу CAN Open и осуществляют связь с контроллерами мотор-генератора, тягового двигателя, накопителя и табло водителя со скоростью 1 Мбит/с. По ним КВУ получает всю необходимую информацию и осуществляет управление элементами электрической трансмиссии[28]. Третий канал CAN работает по протоколу SAE J1939 со скоростью 250 Кбит/с. Контроллер верхнего уровня включен в общую сеть J1939 автобуса и имеет возможность

получать всю информацию о состоянии ДВС, контроллеров ABS и ASR. По данному каналу связи КВУ посылает задание частоты вращения ДВС. Контроль над основными параметрами и аварийными ситуациями ДВС возложен на КВУ. Если один из параметров вышел за допустимые границы или произошла аварийная ситуация, то КВУ выдает предупреждающее сообщение на табло водителя. КВУ ведет запись в энергозависимую память состояния всех органов управления, исполнительных устройств, а также уставок ПО управления через определенные, относительно небольшие моменты времени. На пункте технического обслуживания инженеры могут увидеть всю последовательность действий водителя при работе. При возникновении аварийной ситуации в контроллерах МГ и ТАД осуществляется запись соответствующего аварийного лога во внутреннюю память этих контроллеров. Впоследствии информация о развитии аварийной ситуации по каналу CAN считывается и записывается в КВУ с кодом этой ситуации. КВУ также записывает свой лог, предшествующий аварийной ситуации. Это позволяет иметь полную картину состояний всех устройств электрической трансмиссии за несколько секунд до аварии и выявить причину неисправности.

Применение вышеперечисленных компонентов КТЭО в последовательной схеме позволяет:

- снижение в 10 раз уровня выбросов при езде в городском цикле (Евро-5);
- работа в оптимальных по топливной эффективности режимах работы ДВС;
- экономия топлива на 25—50%;
- возможности пуска ДВС от накопителей без стартера;
- возможность генерации и рекуперации электроэнергии;
- снижение мощности ДВС на 25—30% при сохранении тягового момента на колесах;
- повышение комфортабельности (шум, вибрация, управляемость);
- повышение надежности и ресурса работы.

– наиболее комфортный проезд (более плавные старт и торможение), т.к. отсутствует прерывание потока мощности от энергоустановки до ведущих колес.

Гибридная силовая установка параллельного гибридного автобуса состоит из следующих частей:

- Гидротрансформатор с электродвигателем
- Асинхронный двигатель /генератор
- Преобразователь
- Накопитель энергии (конденсатор)

Рассмотрим составные части ГСУ параллельного гибридного автобуса по отдельности.

Гидромеханическая коробка переключения передач (ГМП) DIWA разработана специально для автобусов и обладает следующими преимуществами:

- Переключение передач происходит в зависимости от топографии местности и ускорения автобуса, что приводит к экономии топлива.
- Выбор до 4 программ переключений предлагаемых помимо стандартной адаптации к дорожным условиям.
- Запатентованное программное обеспечение постоянно отслеживает состояние трансмиссии.
- Превосходная концепция охлаждения, даже для повышенных температурных режимов двигателей EURO 4/5 и EEV.
- Интервалы замены масла до 180 000 км
- Запись всех рабочих данных для последующей оптимизации работы, обслуживания и ремонта ГМП.

Гидромеханическая передача с электродвигателем. Конструкция ГМП «Voith» DIWA (гидротрансформатор в центре) позволяет присоединять электродвигатель непосредственно к входному узлу. При этом, все передачи ГМП (включая гидротрансформатор) могут использоваться как дизельным двигателем, так и электродвигателем.

Распределение потоков мощности при работе автоматической коробки передач (ГМП) с электродвигателем показан на рисунке -2.9.



Рис. 2.9. Распределение потоков мощности при работе автоматической коробки передач (ГМП) с электродвигателем.

Асинхронный двигатель-генератор на сегодняшний день характеризуются уникальными эксплуатационными качествами, большим сроком службы, простотой в обслуживании и ремонте. Также отсутствие подвижных электрических контактов обуславливает их высокую надежность[21]. Общий вид асинхронного двигателя генератора с гидромеханической передачей показан на рис.2.10.



Рис.2.10. Общий вид асинхронного двигателя генератора с гидромеханической передачей.

Технические характеристики асинхронного двигателя генератора показаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Характеристика асинхронного двигателя генератора.

Таблица 2.2.

Мощность, кВт	85 – длительная 150 – кратковременная
Крутящий момент, Н·м	220– длительный 520– кратковременный
Максимальная частота вращения	9000 об/мин
Используемая частота вращения	6600 об/мин

В гибридных силовых установках применяются электрические двигатели (мотор-генераторы), для работы которых требуется трёхфазный переменный ток, но любые накопители способны хранить и отдавать только постоянный ток. При этом напряжение тока, необходимого для работы электрического двигателя может не совпадать с напряжением накопителя. Кроме того, в зависимости от режима движения, ток от генератора может поступать на аккумуляторную батарею или, наоборот - от аккумуляторной батареи к электродвигателю.

Во время работы электродвигателя в режиме генератора инвертор преобразовывает поступающий трёхфазный переменный ток в постоянный с напряжением, необходимым для зарядки высоковольтного накопителя. А в период работы мотор-генератора в качестве тягового двигателя, инвертор, наоборот, преобразует постоянный ток высоковольтного накопителя в переменный трёхфазный ток, необходимый для работы электродвигателя[34]. В качестве накопителей энергии применяются электроконденсаторы фирмы Maxwell. Данные электроконденсаторы отличается особенно высокой величиной плотности рассеиваемой мощности, объемом сохраняемой энергии, надежностью и повышенной

эффективностью. Отсутствие массопереноса и необходимости в сервисном обслуживании — еще два фактора, которые позволяют говорить об экономической эффективности суперконденсаторов. С точки зрения весового баланса, решение с использованием суперконденсаторов превосходит вариант с аккумуляторными батареями, поскольку низкопольный автобус с суперконденсаторами, которому не требуются более тяжелые батарейные блоки, практически сравнивается по массе с городскими автобусами на природном газе. Не менее важен и тот факт, что улучшенная система воздушного охлаждения обеспечивает в среднем такой же эксплуатационный ресурс суперконденсаторов, как и срок службы серийных автобусов (в отличие от аккумуляторных батарей любого существующего типа). Общий вид преобразователя с электроконденсаторами показан на рис.2.11.

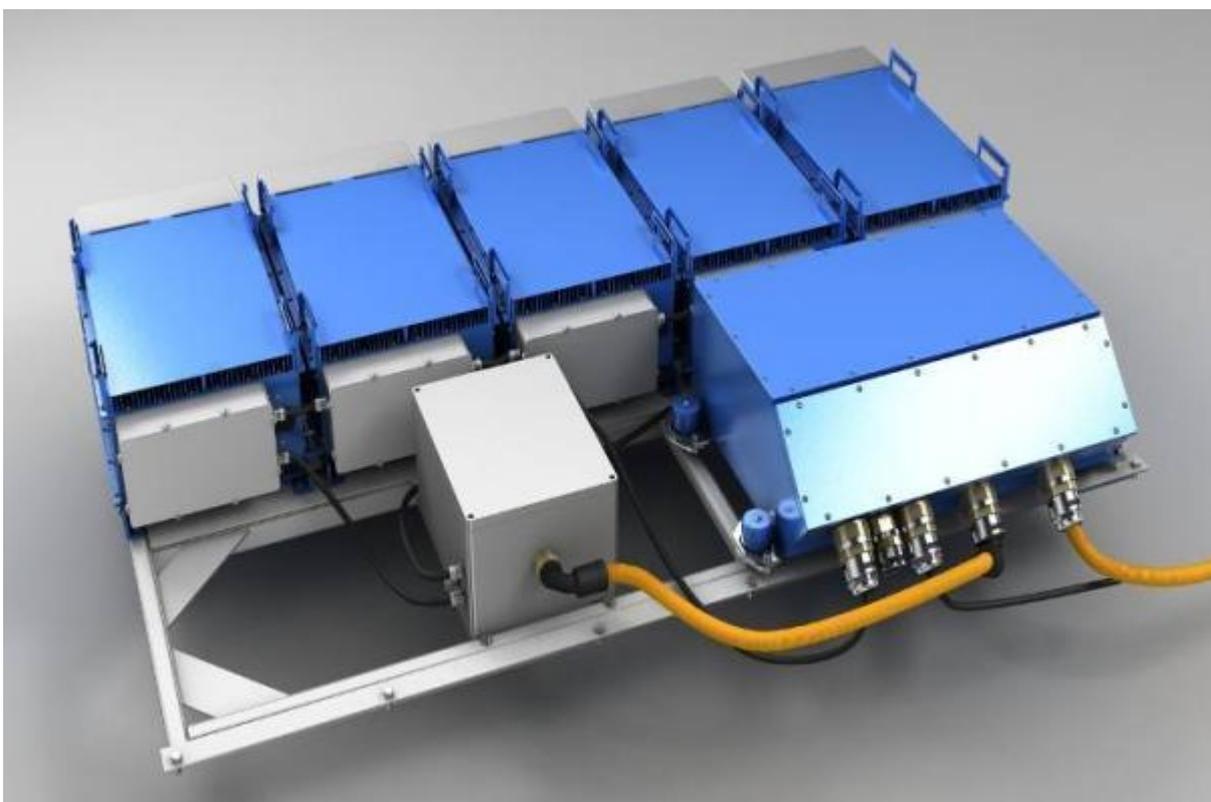


Рис.2.11. Общий вид преобразователя с электроконденсаторами

Технические характеристики конденсаторов Maxwell показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Технические характеристики конденсаторов Maxwell

Таблица 2.3.

Рабочее напряжение, В	125
Максимальное напряжение, В	135
Емкость, Ф	63
Внутреннее сопротивление, мОм	18
Габаритный объем, л	99,1
Масса, кг	58
Удельная энергия, Вт·ч/кг (Вт·ч/л)	2,4 (1,4)
Удельная максимальная мощность, кВт/кг (кВт/л)	3,7 (2,2)
Рабочая температура, °С	-40...65
Ресурс, циклы	1 000 000
Система охлаждения	Воздушная принудительная
Система выравнивания напряжения элементов	Требуется

Расположение составных частей параллельного гибридного автобуса показан на рис.2.12.



Рис.2.12. Расположение составных частей ГСУ на автобусе НЕФАЗ 5299

Применение параллельного КТЭО:

- Снижает вредные выбросы в городском цикле в несколько раз
- Экономит топливо на 25-30%
- Позволяет использовать в тандеме двигатель внутреннего сгорания гораздо меньшей мощности.
- Повышается уровень комфорта, снижаются шум и вибрация
- Машина в целом вписывается в экологический стандарт Евро 5.

2.3. Теоретический расчет определения технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса

Обоснование применения конденсаторов в составе большого городского автобуса (18 т) с гибридным приводом потребовало определение технических требований к основным компонентам гибридной силовой установки:

- накопителю энергии
- ДВС
- электродвигателю

Принципиальным является выбор компромиссного варианта между размером накопителя и мощностью ДВС. Применение мощного ДВС не позволит получить наилучшие показатели по экономичности и экологической составляющей, слишком малая мощность ДВС ограничит возможности транспорта

Для рабочего цикла движения для городского транспорта разгон/выбег/торможение/стоянка, при условии движения транспортного средства по замкнутому маршруту энергия, необходимая для разгона транспортного средства включает только кинетическую энергию разгона с учетом потерь:

$$E_1 = m \cdot V_1^2 / (2K_{\text{И}}) \quad (2.1.)$$

Доступная для рекуперации энергия составит:

$$E_2 = K_{И} \cdot m \cdot V_1^2/2 \quad (2.2.)$$

m – масса транспорта,

$K_{И}$ – суммарный коэффициент, учитывающий все потери при движении транспорта

V_1 – скорость транспорта после разгона и V_2 – скорость транспорта после выбега.

Эффективность рекуперации можно представить как отношение энергии рекуперации к энергии, необходимой на разгон транспортного средства:

$$EF = E_2/ E_1 \quad (2.3.)$$

Для рабочего цикла движения городского транспорта, эффективность рекуперации при наличии накопителя можно представить в виде формулы:

$$EF = \varphi \cdot \eta \cdot K_{И}^2 \cdot V_2^2/V_1^2 \quad (2.4.)$$

η – КПД работы накопителя в цикле заряд-разряд,

φ – КПД работы DC/DC преобразователя.

Учитывая, что в рассматриваемом цикле движения энергопотребление необходимо только на разгон транспортного средства, получаем:

$$E_{уд} \cdot m \cdot S = m \cdot V_1^2/(2K_{И}), \text{ откуда } K_{И} = V_1^2/(2E_{уд} \cdot S) \quad (2.5.)$$

$E_{уд}$ – удельное энергопотребление транспорта,

S – длина маршрута в цикле.

Опыт эксплуатации автобусов по городскому маршруту ($S \sim 350$ м, $V_1 \sim 45$ км/ч, время разгона 20-25 с, время цикла ~ 60 с) дает величину $E_{уд} = 85-100$ Втч/(т•км).

Подставляя соответствующие величины в выражение (5) получим:

$$K_{И} = 0,65.$$

Как правило, для автобусов $V_2/V_1 = 0,85$

Принимая $\varphi = 0,95$ и $\eta = 0,8$, эффективность рекуперации, равна:

$$EF = \varphi \cdot \eta \cdot K_{И}^2 \cdot V_2^2/ V_1^2 = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,65^2 \cdot 0,85^2 = 0,23$$

Расчетная энергия, необходимая для разгона автобуса с массой 18 т

до скорости 55 км/ч, составит $m \cdot V_1^2 / (2K_{и}) = 18000 \cdot 15,3^2 / (2 \cdot 0,65) = 3,24$ МДж.

При эффективности рекуперации $EF = 0,23$ энергия, которая может быть сэкономлена в каждом рабочем цикле составит **0,75 МДж.**

Необходимая энергия для осуществления цикла с учетом рекуперации составит:

$$3,24 \text{ МДж} - 0,75 \text{ МДж} = 2,5 \text{ МДж.}$$

Эту энергию ДВС должен поставлять на тягу за один цикл длительностью 60 с, значит **средняя мощность ДВС в цикле** должна быть равной $2,5 \text{ МДж} / 60 \text{ с} = 42 \text{ кВт.}$

Средняя мощность электродвигателя на разгоне для обеспечения времени разгона 25 с должна составлять не менее $3,24 \text{ МДж} / 25 \text{ с} = 130 \text{ кВт.}$

При мощности ДВС, затрачиваемой на тягу, 42 кВт получаем **среднюю мощность накопителя** для обеспечения разгона автобуса: $130 \text{ кВт} - 42 \text{ кВт} = 88 \text{ кВт.}$

Для того чтобы конденсатор мог поддерживать разгон автобуса в течение всего необходимого времени, отдаваемая **энергия накопителя** при разряде должна составлять не менее $25 \text{ с} \cdot 88 \text{ кВт} = 2,2 \text{ МДж.}$

При торможении накопитель может получить лишь 0,75 МДж. Необходимую энергию 2,2 МДж конденсатор может накапливать также в момент выбега и стоянки автобуса от ДВС. Как отмечено выше средняя мощность ДВС в цикле составляет 42 кВт.

С учетом постоянного расхода энергии на собственные нужды **достаточная мощность ДВС** составит **50-55 кВт.**

Оптимальная работа ДВС с минимальным расходом топлива может быть достигнута при работе в диапазоне 75-90 % максимальной мощности.

Мощность ДВС автобуса, работающего в оптимальном режиме должна лежать в пределах **55-70 кВт.**

Таким образом, установленная мощность ДВС может быть снижена по

сравнению с традиционным автобусом в 2-3 раза.

За сутки городской автобус совершает не менее 400 рабочих циклов, поэтому за 10 лет ресурс накопителя должен быть не менее 1 млн. циклов. Нормативный срок службы городского автобуса составляет в среднем 10 лет. Технические требования для компонентов гибридной силовой установки в составе городского автобуса массой 18 тонн указан в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Технические требования для компонентов гибридной силовой установки в составе городского автобуса (18 т)

Таблица 2.4.

Установленная мощность ДВС, кВт	55-70
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	120-140
Максимальная мощность электродвигателя, кВт	180-220
Номинальная мощность накопителя, кВт	90
Энергия накопителя при номинальной мощности, МДж	Более 2,2

Вывод по главе 2

В данном разделе описаны устройства составных частей комплекта тягового электрооборудования, схемы работ гибридных силовых установок, их принцип работы, преимущества и недостатки. Был произведен теоретический расчет технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса, по результатам которого были определены технические требования для составных частей.

На сегодняшний день у эксплуатируемых гибридных автомобилей существует три схемы, описанные в данном разделе. Параллельная и последовательные схемы используются более часто, чем параллельно-последовательная схема «SPLIT», так как оснащение автобусов данной системой пока что является слишком дорогостоящей и не оправдывает вложенных финансовых затрат.

Глава 3. Экспериментальное исследование городского автобуса с комплектом тягового электрооборудования последовательной и параллельной схемой.

3.1. Объект испытаний

Городской автобус с комплектом тягового электрооборудования с последовательной и параллельной схемой. Комплект тягового электрооборудования городской автобус с последовательной схемой состоит из следующих частей:

- Тяговый асинхронный генератор (мотор – генератор) (М-Г);
- Тяговый асинхронный двигатель (ТАД);
- Силовые преобразователи (СП) с микропроцессорной системой управления (СП) для М-Г и ТАД;
- Накопитель на основе электрохимических конденсаторов
- Контроллер верхнего уровня (КВУ) для управления потоками мощности и тягой с органами управления и отображения информации в кабине водителя.

В таблице 3.1. Приведены технические характеристики основных частей комплекта тягового электрооборудования последовательной схемы.

Таблица 3.1. Техническая характеристика комплекта тягового электрооборудования последовательной схемы.

Таблица 3.1.

Мотор-генератор (М-Г)	Мощность на выходе генератора, кВт	132,5
	Максимальная скорость вращения вала АМ-Г, об/мин	2300
	Максимальная мощность на валу ТАД, кВт	132,5

Тяговый асинхронный двигатель (ТАД)	Номинальная длительная мощность на валу ТАД, кВт	125
	Максимальный пусковой момент на валу ТАД, Нм	При $i=9,82$; 1500
	Максимальная скорость вращения вала ТАД, об/мин	При скорости автобуса 90 км/час; 4975
	Максимальный длительный момент на валу ТАД, Нм	При $i=9,82$; 1000
Накопители (ЭК) (6 шт.)	Емкость, Ф, не менее	10,5
	Напряжение, В	400-800
	Энергоемкость, Вт.ч., не менее	610
	Ток разряда, А	150
	Максимальный ток разряда, А	750
	Масса, кг	58

Комплект тягового электрооборудования городского автобуса с параллельной схемой состоит из следующих частей:

- Гидротрансформатор с электродвигателем
- Асинхронный двигатель /генератор
- Преобразователь
- Накопитель энергии на основе электрохимических конденсаторов

В таблице 3.2. Приведены технические характеристики основных частей комплекта тягового электрооборудования параллельной схемы.

Таблица 3.2. Технические характеристики основных частей комплекта тягового электрооборудования параллельной схемы.

Таблица 3.2.

Гидромеханическая КПП	Число передач	6
	Количество программных режимов	4
Асинхронный электродвигатель	Мощность, кВт	85 – длительная 150 – кратковременная
	Крутящий момент, Н·м	220– длительный 520– кратковременный
	Максимальная частота вращения	9000 об/мин
	Используемая частота вращения	6600 об/мин
Накопители (ЭК) (5 шт.)	Рабочее напряжение, В	125
	Максимальное напряжение, В	135
	Емкость, Ф	63
	Внутреннее сопротивление, мОм	18
	Габаритный объем, л	99,1
	Масса, кг	58
	Удельная энергия, Вт·ч/кг (Вт·ч/л)	2,4 (1,4)
	Удельная максимальная мощность, кВт/кг (кВт/л)	3,7 (2,2)
	Рабочая температура, °С	-40...65
	Ресурс, циклы	1 000 000
Система охлаждения	Воздушная принудительная	

Для проведения испытаний были подобраны гибридные городские автобусы Российского производства последовательной и параллельной схемой комплекта тягового электрооборудования.

С последовательной схемой был подобран гибридный городской автобус ЛиАЗ-5292. Автобуса ЛиАЗ-5292 показан на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Общий вид городского автобуса ЛиАЗ-5292

С параллельной схемой был подобран гибридный городской автобус НЕФАЗ-5299Н. Общий вид автобуса НЕФАЗ-5299Н показан на рис.3.2. и рис.3.3



Рис 3.2. Общий вид автобуса НЕФАЗ-5299Н



Рис.3.3. Общий вид городского автобуса НЕФА3-5299Н

Технические характеристики автобусов с последовательной и параллельной схемой показаны в таблице 3.3

Таблица 3.3. Технические характеристики автобусов с последовательной и параллельной схемой.

Таблица 3.3.

Тип /модель	Последовательный гибрид/ЛиАЗ 5292	Параллельный гибрид/НЕФА3 5299Н
Двигатель	Cummins ISBe4 185	Cummins 6ISBe 5
Номинальная мощность ДВС	136 кВт /185 л.с.	184кВт/250л.с
Экологический класс	Евро 5	Евро 5
Назначение, тип	Городской, низкопольный, большого класса (12 м)	Городской, полунизкопольный, большого класса (12 м)
Вместимость человек	106	100
Полная масса	19700кг	18600 кг

3.2. Методика проведения испытаний

Испытание автобусов будет производиться на треке с асфальта бетонным покрытием.

Состояние дорожного покрытия - бывший аэродром

Длина трека -2540 м.

Максимальный уклон -1,2 %

Высота над уровнем моря- 474 м

Средняя скорость автобусов -18 км/ч

Количество остановок на 2540 метров пути -7

Время стоянки на каждой остановке -1 мин.

Испытания будут производиться в цикле городского движения с интервалами между остановок каждые 362 метров. Вид испытательного полигона показан на рис.3.4.

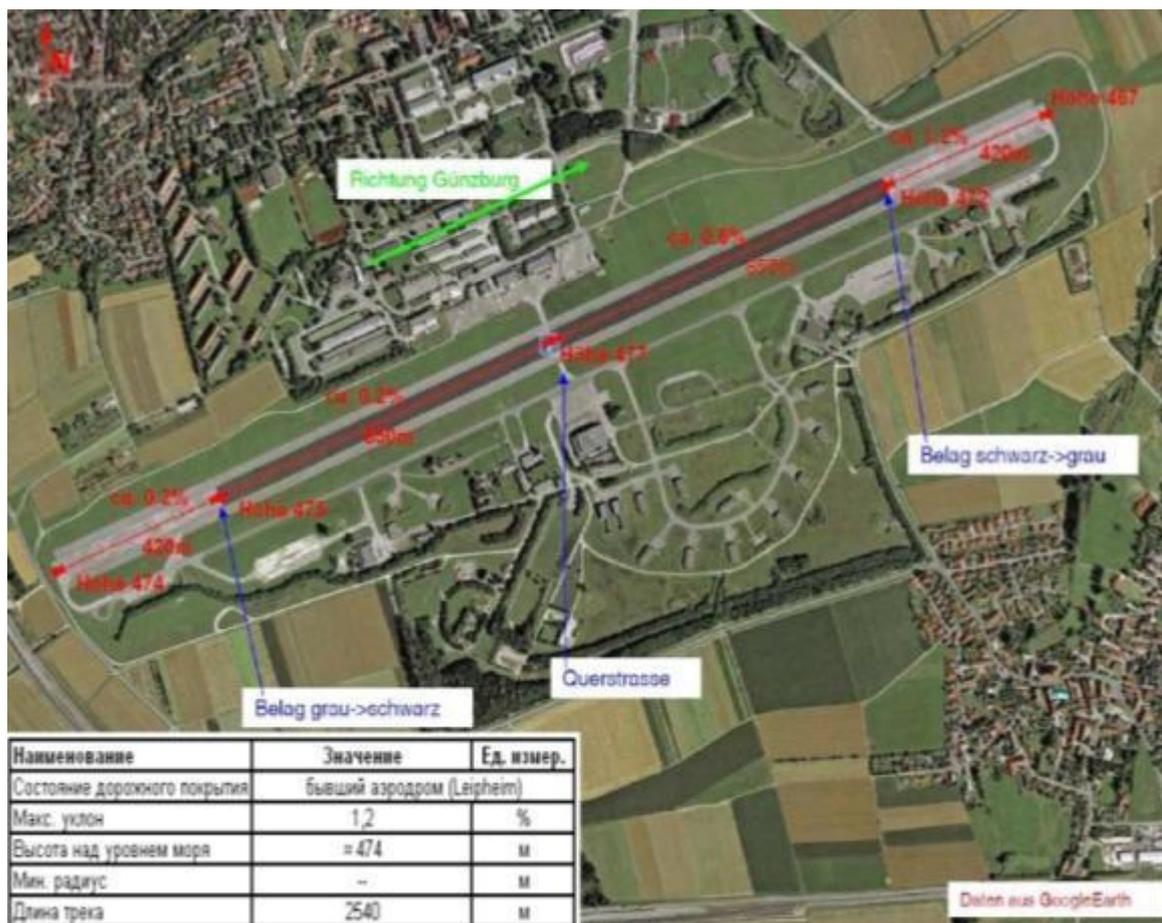


Рис.3.4. Общий вид испытательного полигона в городе Лаупхайм

При проведении испытания будут производиться следующие замеры:

- Замер потраченной энергии на преодоление дистанции 2540 метров.
- Замер расхода топлива при преодолении дистанции на 2540 метров.
- Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании топлива на 1 км пути.

3.3. Полученные результаты при проведении испытаний.

Испытание автобусов производилось со стороны Научно-исследовательского института комбинированных энергоустановок и ООО "Фойт Турбо Казань". Испытания проводились в городе Лаупхайм в Германии.

По результатам испытания городского автобуса с последовательной схемой были получены следующие результаты.

Энергия затраченная последовательным гибридным автобусом ЛиАЗ 5292 на преодоление дистанции 2540 метров с 7 остановками - 2,62 кВт/ч
Израсходованное топливо на преодолении дистанции 2540 метров с 7 остановками -0.70 л.

Выброс загрязняющих веществ на 1км пути

Оксид углерода (CO) -0,430 г/км

Оксиды азота (NOx)- 0,170 г/км

Выброс сажистых частиц (PM)-0,004 г/км

По результатам испытания городского автобуса НЕФАЗ-5299Н с параллельной схемой были получены следующие результаты.

Энергия затраченная параллельным гибридным автобусом НЕФАЗ-5299Н на дистанции 2540 метров с 7 остановками - 3,59 кВт/ч

Израсходованное топливо на преодолении дистанции 2540 метров с 7 остановками -0.82л. Выброс загрязняющих веществ на 1км пути.

Оксид углерода (CO) -0,450 г/км

Оксиды азота (NOx)- 0,175 г/км

Выброс сажистых частиц (PM)-0,005 г/км.

По результатам испытаний было установлено, что оба автобуса продемонстрировали уровень выбросов не превышающих экологических стандартов Евро 5. Требования по экологическим требованиям евро указаны в рис.19.

действительно с	CO (г/км)	HC (г/км)	NOx (г/км)	HC+NOx (г/км)	PM
Euro I 01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
Euro II 01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
Euro III 01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
Euro IV 01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
Euro V 09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
Euro VI 08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

Рис. Нормативы экологических стандартов Евро.

По результатам полученных данных произведем сравнительный анализ автобусов с параллельной и последовательной схемой. Учитывая то что средний пробег городского автобуса за 1 день в пределах 300 километров произведем сравнительный анализ для автобусов. Сравнительные показатели указаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Сравнительные показатели автобусов.

Таблица 3.4.

Показатели	Последовательный гибрид/ЛиАЗ 5292 при пробеге 300 км	Параллельный гибрид/НЕФА 3 5299Н при пробеге 300 км	Эффективность Последовательной схемы по сравнению с параллельной.
Затрачиваемая энергия	314 кВт	430 кВт	116 кВт
Расход топлива	84 л.	98,4 л.	14,4 л.
Окись углерода	129 г.	135 г.	6 г.
Окислы азота	51г.	52 г.	1 г.
Сажистые частицы	1,2 г.	1,5 г.	0,3 г.

Основываясь на результаты экспериментального исследования, было установлено, что для городского цикла движения наиболее оптимальна последовательная схема компоновки комплекта тягового электрооборудования которая по эффективности превосходит аналогичную параллельную схему.

Вывод по главе 3

В данной главе проведено экспериментальное исследование автобусов последовательной и параллельной схемой комплекта тягового электрооборудования. При проведении испытаний были произведены замеры по расходу топлива, уровня выбросов вредных веществ а также затрачиваемой энергии комплекта тягового электрооборудования. По результатам полученных данных было установлено, что для городского цикла движения наиболее оптимальна последовательная схема компоновки комплекта тягового электрооборудования, которая по эффективности превосходит аналогичную параллельную схему.

Общие выводы

1. Изучены история развития и современное состояние гибридных автобусов.
2. Произведен обзор существующих экологических чистых гибридных городских автобусов, а также изучен опыт зарубежных стран в развитии гибридизации городских автобусов.
3. Произведен анализ конструктивных особенностей городских автобусов с гибридно-силовыми установками;
4. Изучены устройства составных частей комплектов тягового электрооборудования городских автобусов;
5. Проанализированы принципы работы, преимущества и недостатки современных систем комплекта тягового электрооборудования ;
6. Произведен теоретический расчет по определению технических требований к компонентам гибридной силовой установки городского автобуса, по результатам которого были определены технические требования для составных частей;
7. Произведены экспериментальные исследования по определению наиболее оптимальной схемы комплекта тягового электрооборудования для городского цикла движения.

Список использованной литературы

Законы Республики Узбекистан

1. Закон Республики Узбекистан «Об охране атмосферного воздуха». 27 марта 2001 г.
2. Закон Республики Узбекистан «Об автомобильном транспорте». 29 августа 1998 г.
3. Закон Республики Узбекистан «О рациональном использовании энергии». 25 апреля 1997 г.

Указы и постановления Президента Республики Узбекистан, Постановления Кабинета Министров

4. Постановление Президента Республики Узбекистан о Государственной программе «Год благополучия и процветания». 14 февраля 2013 г.
5. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан №281 «О мерах по обновлению парка подвижного состава городского пассажирского электрического транспорта ». 28 октября 2010 г.

Произведения Президента Республики Узбекистан

Ислама Каримова

6. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2012 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2013 год.

18 января 2013 г.

7. Доклад Президента Ислама Каримова на торжественном собрании, посвященном 20-летию Конституции Республики Узбекистан. 07 декабря 2012 г.
8. Выступление Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на открытии международной конференции «Подготовка образованного и интеллектуально развитого поколения – как важнейшее условие устойчивого развития и модернизации страны». 17 февраля 2012 г.
9. Каримов И.А. Узбекистан на пороге достижения независимости. – Ташкент: Узбекистан, 2011. – 384 с.

Основная литература

10. Кадыров С.М. Автотракторные двигатели – Ташкент: ТБП ООО, 2010.
11. Кадыров С.М. Двигатели внутреннего сгорания – Ташкент: Yoshlar matbuoti, 2006.
12. Кадыров С.М., Никитин С.Е, Автомобильные и тракторные двигатели –Т.: Укитувчи, 1990.
13. Златин, П.А. Электромобили и гибридные автомобили / П.А. Златин, В.А. Кеменов, И.П. Ксенович. М.: Агроконсалт, 2004.
14. Ефремов, И.С. Электрические трансмиссии пневмоколесных транспортных средств / И.С. Ефремов [и др.] М.: Энергия, 1976.
15. Кудин, С.Н. Новый тяговый электропривод карьерных самосвалов БелАЗ / С.Н. Кудин, Н.В. Бигель, А.А. Пехтерев// Автомобильная промышленность. – 2005. – №10.
16. Базаров Б.И. Экологическая безопасность автотранспортных средств

- Ташкент: Chinor-ENK, 2012. – 216 с.
17. Иванов, А.М. Основы конструкции автомобиля: учебник для вузов / А.М. Иванов [и др.] М.: За рулем, 2005.
 18. Эйдинов, А.А. Электромобили: учебное пособие / А.А.Эйдинов. М.: НАМИ, 1998.
 19. Золотницкий В.А. Система питания газобензиновых автомобилей. – М.: Третий Рим, 2001. – 80 с.
 20. Виноградов, А.Б. Асинхронные электроприводы для общепромышленных механизмов с оптимизацией энергетических характеристик / А.Б. Виноградов, В.Л. Чистосердов, А.Н. Сибирцев // Тез. докл. XI науч-техн. конф. «Электроприводы переменного тока» (ЭППТ-98). – Екатеринбург: УГТУ, 1998.
 21. Виноградов, А.Б. Новые серии высокоэффективных электроприводов переменного тока / А.Б. Виноградов, В.Ф. Глазунов // Труды IV Международной (XI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП 2004, Часть 1. Магнитогорск, 14–17 сентября 2004 г. – С. 243–244.
 22. Ryvkin, S. Identification Of The Moment Of Inertia In the Digital Control Drive / S. Ryvkin, D. Izosimov, A. Vinogradov // Proceeding of the 12th International Power Electronics & Motion Control Conference. – Portoroz, Slovenia, 2006, August 30 – September 1. – P. 438–443.
 23. Виноградов, А.Б. Синтез оптимальной системы управления вентильно-индукторным двигателем / А.Б. Виноградов // Тр. междунар. 14-й науч.-техн. конф. «Электроприводы переменного тока» (ЭППТ 2007). Екатеринбург, 13–16 марта 2007 г. – С. 105–108.
 24. Богданов, К.Л. Основы тягового электропривода: учеб пособие/ К.Л.Богданов М., 1982.

25. Ахметов Л.А., Иванов В.Н., Ерохов В.И. Экономическая эффективность и эксплуатационные качества газобаллонных автомобилей. – Ташкент: Узбекистан, 1984. – 191 с.
26. Виноградов, А.Б. Новые исполнения и функциональные возможности электроприводов серии ЭПВ / А.Б. Виноградов, А.Н. Сибирцев, В.Л. Чистосердов и др. // Труды 5
27. Виноградов, А.Б. Системы управления электроприводами гибридных транспортных средств / А.Б. Виноградов // Сборник материалов науч.
28. Виноградов, А.Б. Станция автономного электроснабжения в составе трактора ЭТ
29. Архангельский, Н.Л. Система векторного управления асинхронным электроприводом с идентификатором состояния / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов, С.К. Лебедев // Электричество. – 1991. – №11. – С. 47–51.
30. Архангельский, Н.Л. Новые алгоритмы в управлении асинхронным электроприводом / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов // Электротехника. – 1991. – №10. – С. 9–13.

Дополнительная литература

31. Ютт М.В. Моделирование автомобиля с комбинированной энергетической установкой на базе ГАЗ-2705 / Е.И.Сурин, К.М.Сидоров, М.В.Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2007. - № 4. – С. 14 – 16.
32. Ютт М.В. Применение системы автоматической регистрации параметров электромобиля при проведении эксперимента / М.В.Ютт, С.С.Шугуров // Электроника и электрооборудование транспорта - 2009. - №5-6. – С.11 - 13.
33. Ютт М.В. Состояние проблемы реализации гибридных силовых установок на автотранспорте / К.М.Сидоров, Т.В.Голубчик, М.В.Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта – 2011. -

- №2-3. - С. 12 - 16.
34. Сидоров К.М. Энергетическая эффективность автомобилей с комбинированными энергетическими установками и ее взаимосвязь условиями движения / К.М. Сидоров // Методы описания и моделирования бизнес-процессов в промышленности, строительстве и образовании: Сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2010. – С 63 – 71.
 35. Нгуен Хак Туан. Нагруженность механической трансмиссии автомобиля с гибридными силовыми установками при запуске ДВС с ходу// Сборник науч. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» – С.-Петербург, 2010. – С.240 – 244.
 36. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 413 с.
 37. Экологическая безопасность автомобильного транспорта: Учеб. пособие для высш. и сред. учеб. заведений / В. В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов, В. И. Сарбаев; Под ред. В. Н. Луканина. — М.: Научтехлитиздат, 1999. – 208 с.
 38. Морозов К.А. Токсичность автомобильных двигателей. – М.: МАДИ (ТУ), 1997. – 84 с.
 39. Зотов Л.Л. Экологическая безопасность производства и автомобильного транспорта. – СПб, СЗГТУ, 2003. – 91 с.
 40. Лавру В.С. Источники энергии- М.: Наука и техника, 1997- 200с.
 41. Гусаков С.В., Патрахальцев Н.Н. Планирование, проведение и обработка данных экспериментальных исследований двигателей внутреннего сгорания. – М.: РУДН, 2004. – 167 с.
 42. Веденяпин Г.В., Общая методика экспериментальных исследования:

учеб. пособие. – М.: Колос. 1972.

43. Якунина И.В., Попов Н.С. Методы и приборы испытания. Тамбов.- 2009 год.
44. Закин Я.Х., Рашидов Н.Р., Основы научного исследования. – Т.: Укитувчи, 1979. – 180 с.

Периодические издания, статистические сборники и отчеты

45. А.с. №1552333 СССР, H02P 7/42. Электропривод / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов и др. – Оpubл. В Б.И., 1990, №11.
46. А.с. №1674341 СССР, H02P 7/42. Электропривод / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов и др. – Оpubл. В Б.И., 1991, №32.
47. А.с. №1686688 СССР, H02P 7/42. Электропривод / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов и др. – Оpubл. В Б.И., 1991, №39.
48. А.с. №1727190 СССР, H02P 7/42. Электропривод / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов и др. – Оpubл. В Б.И., 1992, №14.
49. Патент РФ №2025889 Способ формирования напряжения на статорных обмотках трехфазного двигателя в регулируемом электроприводе / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов и др. – Оpubл. В Б.И., 1994, №24.
50. Патент РФ №2025889 Тяга в электроприводе / К.К. Арнышов, В.С. Кукин, др. – Оpubл. В Б.И., 1994, №24

Интернет сайты

51. <http://www.electrosad.ru>
52. http://liliyaroenko.blogspot.com/2012/03/blog-post_16.html

53. <http://supercap.ru/superkondensatori.html>
54. <http://voith-turbo-kazan.ru>
55. <http://www.rae.ru>
56. <http://www.ruselprom.ru>
57. <http://www.avtonov.svoi.info>
58. <http://www.hybrids.su>
59. www.drive.ru/technic
60. www.babygreen.ru
61. www.gibra.ru
62. www.biauto.ru
63. www.carshybrid.ru
64. www.electroavtomobil.org
65. www.electromotors.ru

