

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»
(наименование)

13.04.03 «Энергетическое машиностроение»
(код и наименование направления подготовки)

Энергетические комплексы и системы управления
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Концепция применения REEV

Студент

С.В. Воробьева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент, Д.А. Павлов

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

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Перспективы развития электрического транспорта в рамках принятых стратегий развития России	6
1.1 Развитие энергетики России в фокусе мировых тенденций.....	6
1.2 Развитие автомобильного транспортного сектора России в фокусе мировых тенденций	8
1.3 Характеристика легкового транспорта с высокой электрификацией силовых установок.....	10
1.4 Перспективы развития электротранспорта	14
1.5 Перспективы развития легкового электрического транспортного средства REEV с увеличенным пробегом.....	18
1.6 Использование прицепа электромобиля REEV в индивидуальном жилищном хозяйстве	20
2 Концепция Range Extender	21
3 Испытание силового агрегата на соответствие требованиям Stage.....	35
3.1 Общие положения	35
3.2 Цель испытаний.....	35
3.3 Объект испытаний.....	35
3.4 Условия проведения испытаний.....	36
3.5 Методика испытаний	36
3.6 Метрологическое обеспечение	41
3.7 Программа испытаний.....	43
3.8 Комплектация ЭСУД двигателя и характеристика датчиков и исполнительных механизмов.....	46
3.9 Требования по охране труда	52
3.10 Результаты испытаний.....	52

4	Техническое описание и технические характеристики АЭСУ	54
4.1	Назначение	59
4.2	Техническая характеристика двигателя и его систем	62
4.3	Эксплуатационные материалы, применяемые в двигателе	64
	Заключение	67
	Список используемых источников.....	69

Введение

Современные реалии и тенденции перспективного развития автомобильной промышленности направлены на замену привычного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), работающего на углеродном топливе, более экологичными силовыми агрегатами, работающими на электрической энергии.

Практически все крупные европейские автопроизводители анонсировали отказ в ближайшее время от применения ДВС и переход на электродвигатели с применением аккумуляторных батарей. Российские автопроизводители (ВАЗ, КАМАЗ, ГАЗ) уже имеют в своей линейке электрические версии своих продуктов. Кроме уже устоявшихся автоконцернов многие стартапы пытаются создать свои конкурентные продукты, направленные на поддержание устойчивой мобильности при введении жестких законодательных мер, направленных на снижение токсичности и выбросов CO₂.

Однако для полного перехода на электротягу существует ряд серьезных препятствий, особенно на территории РФ. Основными негативными факторами являются:

- уровень развития инфраструктуры электрозарядных станций;
- климатические условия (достаточно длительный период времени с постоянными низкими температурами);
- большие расстояния между населенными пунктами.

Одним из возможных решений, указанных выше проблем может являться применение Range Extender (удлинителя пробега). Суть технического решения заключается в установке на борту автомобиля электроагрегата, на базе поршневого двигателя внутреннего сгорания, обеспечивающего подзарядку аккумуляторных батарей.

Таким образом, целью работы является разработка платформы Range Extender (RE) для электроприводных транспортных средств. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ перспектив развития электрического транспорта;
- предложить концепцию REEV;
- провести анализ возможности выполнения требований токсичности двигателем внутреннего сгорания в составе REEV;
- разработать технические требования к REEV

Объектом исследования является электромобиль с увеличенным запасом хода REEV.

Предметом исследования являются показатели экологичности и топливной экономичности REEV в составе электромобиля.

Научная новизна данной работы:

- проведен анализ возможности выполнения действующих и перспективных норм токсичности электромобилем, оснащенный REEV.

Практическая значимость работы:

- результаты работы могут быть использованы при проектировании и создании электромобилей с системой REEV.

Структура магистерской диссертации:

Данная диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 33 рисунков, 19 таблиц, списка использованных источников (30 источников). Основной текст изложен на 70 страницах.

1 Перспективы развития электрического транспорта в рамках принятых стратегий развития России

1.1 Развитие энергетики России в фокусе мировых тенденций

На современном этапе сложились три базовых направления развития мировой энергетики, которые особенно сильно проявляются в Европе: децентрализация, декарбонизация, дигитализация.

Утверждена «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» (ЭС-35) (Распоряжение Правительства от 09 июня 2020 N 1523-р), основные положения которой кратко изложены на официальном сайте руководства страны [18].

На основании анализа рассматриваемого документа можно сделать следующие основные выводы по развитию энергетики России:

- фактически сохранится структура внутреннего потребления первичных топливно-энергетических ресурсов (нефтегазовых) на многие десятилетия, с большой вероятностью вплоть до 2050 года, с постепенным незначительным замещением угля (твердого топлива) новыми углеводородными и неуглеводородными источниками (АЭС и возобновляемыми источниками энергии);
- топливно-энергетический комплекс будет трансформироваться в направлении инновационного развития в части повышения эффективности, экологической безопасности, цифровизации и интеллектуализации энергетической системы.

Также отмечается, что в период 2036-2050 гг. российской энергетике будет свойственно инновационное развитие с переходом к «электрическому миру».

В рамках общемировых трендов можно сделать следующие заключения по основным положениям ЭС-35:

- децентрализация: в ЭС-35 отмечается важность развития систем децентрализованного теплоэнергоснабжения. С целью развития данного направления, например, в нашей стране был принят Федеральный закон от 27.12.2019 N 471-ФЗ. Законодательство позволяет физическими лицами заниматься производством электрической энергии мощностью до 15 киловатт на собственных объектах микрогенерации, в том числе функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии, в целях продажи, удовлетворения собственных бытовых и производственных нужд. Поставлять произведенную электроэнергию в общую сеть возможно по ценам, не превышающим цены поставщиков электрической энергии и мощности.

По данным Министерства строительства и ЖКХ РФ в России ежегодно строится 250-260 тыс. индивидуальных жилых домов, а количество домов, построенных после 1995 года, насчитывается около 4 млн. единиц, при этом в отдельных регионах страны уровень газификации территории может достигать почти 100% (Татарстан, Московская, Самарская область и т.д.).

Учитывая доступность природного газа, можно предположить о значительных перспективах развития генерации электроэнергии на основе природного газа. Развитие микрогенерации на основе ВИЭ будет происходить значительно меньшими темпами, в том числе из-за неразвитости отечественных технологий.

Направление разработки технологий и оборудования, например, двигателей на газовом топливе, для производства электрической и тепловой энергии может стать трендом для децентрализации отечественной энергетики, развития малой распределенной энергетики.

- декарбонизация: в качестве ключевой задачи ЭС-35 является развитие ТЭК как внутренней «стимулирующей инфраструктуры» для роста экономики России. Как уже отмечалось, развитие будет происходить в

первую очередь на основе новых углеводородных источников энергии, во вторую, на основе АЭС и ВИЭ.

На основании данных положений, а также с учетом высокой распространенности на территории России трубопроводной инфраструктуры природного газа, можно предположить, что снижение углеродоемкости экономики и, в частности, выработки электроэнергии, будет происходить за счет расширения потребления природного газа и водорода, производимого в основном – из природного газа, при использовании электроэнергии АЭС и ВИЭ (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р).

- дигитализация (или цифровизация): в рамках данного направления в стране уже реализуются конкретные шаги, в том числе на основании Указа Президента Российской Федерации от 07 мая 2018 № 204 «О национальных целях и стратег. задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Минэнерго РФ прогнозируется значительное возрастание рынка домашних систем управления энергопотреблением до 2025 года [1].

Направление разработки систем комплексного совместного использования традиционной энергетики и возобновляемых источников энергии частных домохозяйств, интегрирующих систем малой энергетики в муниципальных и региональных распределительных сетях может стать трендом по цифровизации отечественной энергетики.

1.2 Развитие автомобильного транспортного сектора России в фокусе мировых тенденций

В основе развития современного транспортного рынка лежат три тенденции: передовые двигательные системы; применение альтернативного топлива; переход к новой мобильности на основе внедрения автономности

транспортных средств, применение сетевых (телекоммуникационных) технологий управления в транспортном секторе.

Сегодня транспортный сектор находится под давлением новых трендов в мировой экономике. Ряд из них усилились под влиянием кризиса 2020 года:

- тренд 1: снижение потребления углеводородного топлива за счет электрификации силовых установок, ускорения перехода к полностью электрическим транспортным средствам [19, 20, 21];
- тренд 2: снижение содержания выбросов вредных веществ и парниковых газов в выхлопных газах за счет использования возобновляемого альтернативного топлива, в том числе «зеленого» водорода, био- и электро- метана, биодизеля и т.п. [19, 20];
- тренд 3: повышение эффективности и снижения безопасности управления транспортным комплексом путём перехода на безлюдные технологии, внедрения искусственного интеллекта и других направлений.

Один из ключевых вызовов, с которыми сталкивается экономика Российской Федерации и глобальная экономика в целом – это переход к новой мобильности, которая подразумевает высокое качество перемещения пассажиров и грузов с высокими показателями эффективности при минимальном воздействии на окружающую среду.

Распоряжением Правительства РФ от 28 апреля 2018 г. № 831-р весной 2018 года в России была утверждена «Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года» (СА-25).

Одной из целей стратегии СА-25 является: «выведение на рынок продуктов с принципиально новыми свойствами в области электродвижения, автономного вождения, подключенного автотранспорта, газомоторной техники, стимулирования спроса на них, организации послепродажного

обслуживания и создание необходимой инженерной и транспортной инфраструктуры».

В документе также отмечается, что для Российской Федерации локальным трендом также является повышение экологичности транспортных средств за счет использования газомоторного топлива. В рамках данного направления Правительством РФ, например, путем предоставления субсидий планируется стимулирование развития инфраструктуры сжиженного природного газа на федеральных трассах (Постановление Правительства РФ от 29 августа 2020 г. № 1308).

Рассматриваемая CA-25 соответствует текущим направлениям развития мирового автомобильного транспорта, однако, наметившиеся тренды требуют корректировки, проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сторону разработки транспортных средств с высокой электрификацией силовых установок, ускорения разработки и использования возобновляемых альтернативных топлив, в частности, биометана, биодизеля и др.

1.3 Характеристика легкового транспорта с высокой электрификацией силовых установок

На долю автомобильного транспорта приходится по различным оценкам от 65% до 95% вредных выбросов с отработавшими газами в крупных городах. Отработавшие газы легковых автомобилей являются на 65% источником парникового газа CO₂, образующегося в транспортном секторе. Следовательно, увеличение электрификации легкового транспорта должно стать первостепенной задачей по снижению таких выбросов.

Тренд на электрификацию транспортного сектора в перспективе может значительно скорректировать структуру спроса на нефтепродукты в российском ТЭК. По различным оценкам до 65% ископаемой нефти

направляется для производства нефтепродуктов для транспорта, который на 95-97% зависит от них.

К легковому транспорту с высокой электрификацией силовых установок можно отнести следующие классы электромобилей:

- абсолютно электрические транспортные средства (в английской терминологии имеют обозначение – BEV);
- электрические транспортные средства с удлинителем пробега (в английской терминологии имеют обозначение – REEV).

При этом в качестве удлинителя пробега (Range Extender – RE) может выступать энергетическая установка на основе топливного элемента (Fuel Cell) или двигателя внутреннего сгорания (Internal Combustion Engine), соответственно, обозначение у таких электромобилей FC-REEV и IC-REEV.

При рассмотрении перспектив развития BEV на российском рынке следует рассматривать существующие барьеры на стороне производителей и стороне покупателей [1].

Современные BEV достигли уровня развития технологий, которые обеспечивают затраты электроэнергии при движении на уровне от 25 кВт*час до 50 кВт*час в зависимости от класса электромобиля на 100 миль пройденного пути по комбинированному циклу движения (город-автотрасса). У продаваемых в настоящее время в США, Европе моделях электромобилей в нижнем ценовом сегменте емкость батарей обеспечивает пробег транспортному средству в среднем - 250 км (155 миль) на одной зарядке батарей. Продолжительность полной зарядки батарей может составлять – 7-8 часов [1].

В развитии технологий BEV также существует ряд технологических барьеров, которые находятся на повестке дня ведущих инновационных центров мира, вузов и научных институтов транспортной индустрии, одними из которых являются:

1 необходимо достичь гравиметрической плотности 500 Вт*ч/кг в производстве батарей, перспективные же к коммерциализации имеют пока лишь емкость в 300-350 Вт·ч/кг;

2 необходимо значительно уменьшить стоимость производства батарей, по оценкам экспертов, себестоимость производства которых приблизится к 87 долл. США/кВтч в 2025 году.

При этом на рынке России сегодня не существует успешно реализованных проектов по серийному производству ни электромобилей, ни электрических батарей. Потенциальные производители в основном ориентируются на использование китайских батарей, а к перспективным отечественным проектам с выходом на рынок на горизонте 1-2 года можно отнести электромобили.

С другой стороны, по результатам оценки поведенческих характеристик европейцев, в исследовании отмечается, что:

- более 60% людей предпочитают путешествовать на автотранспорте на дальние расстояния (более 350 км);
- Среднее ежедневное расстояние вождения составляет от 25 миль (Великобритания) до 50 миль (Польша);
- только 35% семей имеют более одной машины, чтобы удовлетворить потребности всех диапазонов их поездок.

Дополнительными отрицательными факторами в развитии BEV для условий России являются:

- высокая стоимость электромобилей при низких доходах населения;
- отсутствие развитой инфраструктуры электрозарядных станций;
- неблагоприятные климатические условия (достаточно длительный период времени с постоянными низкими температурами), которые сказываются на фактическом пробеге электромобилей;
- большие расстояния между населенными пунктами.

Оценка преимуществ и недостатков электромобилей с высокой электрификацией силовых установок является необходимым шагом для принятия правильного решения по целесообразному направлению их развития для России.

Качественное сравнение различного типа электромобилей по различным параметрам приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Качественное сравнение различного типа электромобилей

Параметр	BEV	FC-REEV	IC-REEV
Первоначальная стоимость/стоимость приобретения	+-	--	++
Стоимость эксплуатации	++	--	+-
Пробег на одной заправке/зарядке	--	+-	++
Инфраструктура заправок/зарядок	+-	--	++
Эксплуатация в условиях низких температур	--	+-	++
Выбросы токсичных компонентов	++	++	+-
Выбросы парниковых газов	+-	++	--
Развитость отечественных технологий	--	--	+-

Электромобиль с удлинителем пробега на базе топливного элемента FC-REEV имеет существенные недостатки, которые определяются высокой стоимостью развития водородной инфраструктуры (на 2020 год во всем мире существует 440 водородных заправок), приобретения и эксплуатации такого электромобиля (стоимость водорода высокой чистоты на заправках в США колеблется от 13 до 16 долл. США/кг). Последнее также связано с массовостью производства топливных элементов, которые, например, для серийно выпускаемых электромобилей на водороде имеют стоимость – до

210 долл. США/кВт, но с увеличением производственной программы выпуска их цена потенциально может опуститься до 30 долл. США/кВт [22].

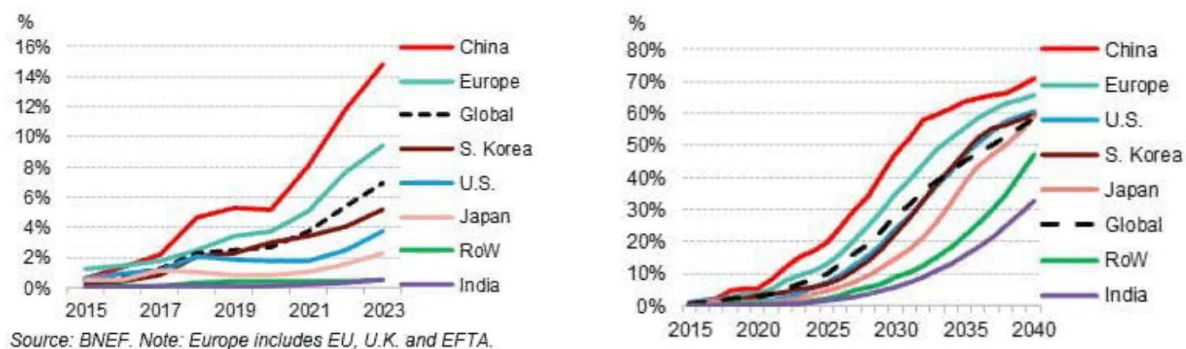
На основании проведенного сравнения видно, что на сегодняшний день с перспективой 20-30 лет в качестве направления развития электромобилей в России существует больше преимуществ у транспортного средства с удлинителем пробега на базе двигателя внутреннего сгорания IC-EREV [22].

Дополнительно следует отметить, что для всех рассматриваемых видов электромобилей оптимальным с точки зрения потребителя является пробег в 300 км на одной зарядке [22]. Его должна обеспечивать гибридная энергетическая установка электромобиля REEV или только тяговые батареи BEV. Для условий низких температур BEV будет существенно проигрывать REEV в пробеге.

1.4 Перспективы развития электротранспорта

Долгосрочные прогноз развития мирового рынка электротранспорта, даже с учетом последствий COVID-19, является положительным [15]. Это объясняется, прежде всего, тем что основные затраты на проектирование, разработку новых перспективных технологий, а также затраты на технологическое обеспечение и запуск производств предприятия уже понесли. Отложенные в краткосрочной перспективе запуск производств некоторых моделей электромобилей, скорее всего, не повлияют на развитие электротранспорта в длительной перспективе. По оценкам специалистов [15, 4] к 2025 году продажи электромобилей могут достигнуть величины 10% от мировых продаж легковых автомобилей, к 2030 году – 28% и к 2040 году – 58%. На рисунке 1 представлены краткосрочный до 2023 года и долгосрочный до 2040 года прогнозы по выпуску электромобилей. Из рисунка можно видеть, что начиная с 2017 года лидером по производству

электромобилей является Китай. На втором и третьем месте соответственно находится Евросоюз и США.



а)

б)

Рисунок 1 – Краткосрочный а) и долгосрочный б) прогноз выпуска электромобилей в мире [15]

Стоимость новых электромобилей и автомобилей с классическим двигателям внутреннего сгорания (ДВС) по прогнозам сравниваются к середине 2020-х годов. Однако, из-за экономических и политических факторов, в различных странах эти сроки варьируются в довольно широком диапазоне, в частности в Японии эти сроки отодвигаются вплоть до 2030 года. Следует отметить, что наибольший прогресс по замещению автомобилей с ДВС наблюдается в сегменте грузовых и легких коммерческих автомобилей.

Рынок Китая и Европы в ближайшие 10 лет составят около 70% всех продаж электромобилей [15]. Интенсивное развитие этого направления в указанных странах обусловлено введением в Китае специальной кредитной программы на приобретаемые электромобили, а в Европе введением жестких мер и правил на ограничение выбросов CO₂ (углекислого газа). Кроме этого, в указанных странах действуют программы по ограничению использования традиционных автомобилей в городской черте. В частности, в Лондоне, Париже, Сеуле и других городах развивается политика Car-free. Программа предполагает различные варианты запрета автомобилей в городской среде

[16]. В введенных правилах предусмотрены зоны с низким уровнем выбросов или запрет на транспорт, оснащенный дизельными и бензиновыми двигателями. Предполагается, что заменят традиционные автомобили на общественный или электротранспорт. В других городах с автомобилистов берут плату за проезд в часы пик, в переполненных городских районах или за транспорт, нарушающий нормы по выбросам. Ещё один вариант ограничения движения автомобилей: в один день запрещается ездить на машинах с нечётными номерами, в другой — с четными.

Продажи легковых автомобилей с двигателем внутреннего сгорания достигли пика в 2017 году. Сейчас продажи таких автомобилей уменьшается, но общий парк продолжит расти примерно до 2030 года [15].

К 2040 году на дорогах мира будет более 30% электромобилей, причем в Китае и Европе электромобилей будет более 50%.

На рисунке 2 представлены прогноз изменения соотношения различных автомобилей в мире (автомобилей с ДВС, автомобилей на топливных элементах и электромобилей).

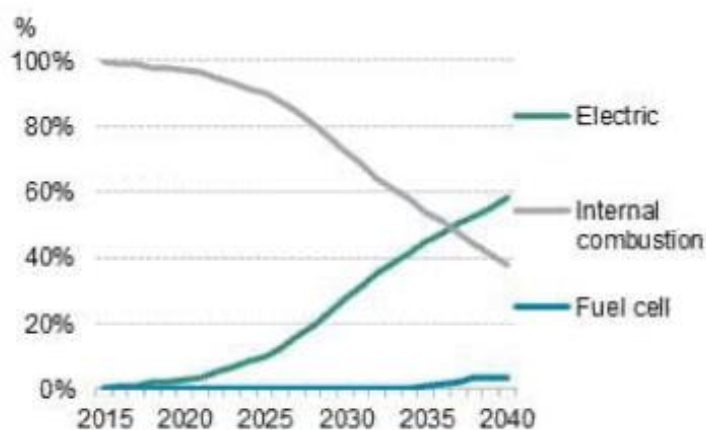


Рисунок 2 – Изменения соотношения в мире выпускаемых автомобилей с ДВС, автомобилей на топливных элементах и электромобилей [15].

Таким образом, можно сделать заключение о том, что мировой рынок электромобилей ежегодно увеличивается причем в ближайшие 10 лет объем рынка будет сопоставим с рынком традиционных автомобилей.

Рынок электромобилей в России слабо развит. Согласно данным агентства «АВТОСТАТ» (см. рисунок 3), объем российского рынка электромобилей по итогам 2019 года в сложности составил 2646 единиц. На новые электрокары (261 шт.) пришлось десятая часть от этого количества. Оставшиеся 90% - электромобили с пробегом (2 385 шт.) [30].

Сдерживающим фактором продаж в России явилось прежде всего дороговизна электромобилей и ограничения производственных мощностей производителей, поставляющие основной объем в страны Японии, США и Евросоюза. Рынок электромобилей в РФ от общего транспорта на данный момент составляет 0,01%. Тем не менее, рынок растущий и связан также с ограничениями наличия зарядной инфраструктуры (для его развития подписана дорожная карта с ПАО «Россети») и регуляторных факторов.



Рисунок 3 – Продажи электромобилей в РФ [17]

По прогнозам экспертов, также при снижении стоимости и увеличении хода электротранспорта на одной зарядке батареи ожидается рост продаж электротранспорта. При продаже электромобилей в ценовой категории менее 1 млн. руб. и пробегом более 500 км на одном заряде батареи эксперты

предсказывают существенный рост продаж до 10% рынка, что соответствует текущей тенденции сегмента рынка электромобилей в ЕС. По данным экспертов при выполнении условий, описанных выше, рост сегмента возможен до 30 - 60 тыс. электромобилей в год.

1.5 Перспективы развития легкового электрического транспортного средства REEV с увеличенным пробегом

Как было отмечено, оптимальным вариантом с точки зрения стоимости, климатических особенностей и т.п. для российских условий является электромобиль IC-REEV на базе ДВС, работающем на жидком топливе. Применение жидкого топлива связано с существующими техническими ограничениями в компоновке на электрическом городском транспортном средстве дополнительных громоздких и тяжелых баллонов для хранения газообразных топлив. Кроме того, на основании социологических опросов владельцев автомобилей, использование системы хранения компримированного природного газа (КПГ) под высоким давлением отрицательно влияет на потребительские качества транспортного средства: чаще всего отдается приоритет использованию СУГ в качестве газообразного топлива, а не КПГ.

Максимальный пробег электромобиля IC-REEV на одной зарядке-заправке ограничен диапазоном в 300 км исходя из энерговооруженности. Это создает для водителя и пассажиров дополнительные неудобства при поездках на дальние расстояния, ведь современные автомобили способны проезжать до 450-500 км на одной заправке бензином. От владельца электрического транспортного средства потребуются более частая периодическая остановка для заправки топливом бака и зарядки электрической энергией батарей.

Кроме того, мощность энергетической установки не позволит продолжительно двигаться электромобилю со скоростью, превышающей среднюю скорость движения в городских условиях.

Для преодоления возникающих препятствий предлагается достаточно новая концепция на рынке – прицеп REEV [22,23,24], которая хорошо укладывается в понятие термина «новая мобильность».

Существуют различные решения по повышению энерговооруженности электрического транспортного средства путем использования прицепа REEV к электромобилю: в первом варианте в прицепе размещается генераторная установка на базе ДВС [2] или топливного элемента [3], во втором - дополнительные электрические батареи.

1 Для российских условий оптимальным вариантом является прицеп REEV, оборудованный электрогенерирующей установкой на базе газопоршневого ДВС или твердооксидного топливного элемента. В варианте «топливный элемент» в общей конструкции используется модернизированный под совместную работу с топливным элементом - ДВС. Это решение будет иметь высокую стоимость, но значительно больший КПД.

В качестве топлива может быть использовано жидкое или газообразное топливо, в том числе находящееся в сжиженном агрегатном состоянии. Предпочтительным топливом, в силу рассмотренных ранее тенденций развития ТЭК, будет являться сжиженный природный газ (СПГ). Применение водорода или метано-водородных топливных композиций также возможно при соответствующих технологиях хранения и использования.

Владелец электромобиля такой прицеп может иметь в собственности или арендовать его для нечастых поездок.

Организация в стране парка таких прицепов, большая часть из которых будет «привязана» к строящимся заправкам СПГ, может значительно ускорить перевод на электрическую тягу отечественного легкового парка автомобилей и расширить использование природного газа на транспорте.

1.6 Использование прицепа электромобиля REEV в индивидуальном жилищном хозяйстве

Использование электромобилей в индивидуальном жилищном хозяйстве - технология Vehicle-to-Home (V2H) - рассматривается рядом компаний в качестве мероприятия повышения энергоэффективности электрических сетей [1]. При этом батареи электромобиля при подключении к сети дома становятся буфером для накопления дешевой ночной электроэнергии, а также полученной с помощью ВИЭ, и служат резервным источником питания в необходимое время.

Прицеп REEV по факту является мобильной теплоэлектрогенерирующей установкой, которая редко будет использоваться рядовым владельцем электромобиля IC-EREV при ежедневных поездках. С результатами исследований применения таких микрогенерационных установок для повышения комфорта водителя и пассажиров электромобилей можно познакомиться в источнике [3].

Находящийся в собственности прицеп REEV в таком случае целесообразно задействовать для энергообеспечения собственного жилого дома.

Возможность получения тепловой энергии (когенерация) в зимних условиях, а также энергии холода летом (тригенерация) делают такую энергоустановку привлекательным решением для России.

Сочетание газифицированного жилого дома, прицепа REEV, индивидуальной компрессорной станции природного газа и ВИЭ будет

являться вариантом наиболее эффективного энергообеспечения жилого дома и комфортного использования электромобиля, в том числе для дальних поездок.

2 Концепция Range Extender

Практически все крупные европейские автопроизводители анонсировали отказ в ближайшее время от применения ДВС и переход на электродвигатели с применением тяговых батарей [4]. Российские автопроизводители (ВАЗ, КАМАЗ, ГАЗ) уже имеют в своей линейке электрические версии своих продуктов. Кроме уже устоявшихся автоконцернов многие стартапы пытаются создать свои конкурентные продукты, направленные на поддержание устойчивой мобильности при введении жестких законодательных мер, направленных на снижение токсичности и выбросов CO₂.

Однако для полного перехода на электротягу существует ряд серьезных препятствий, особенно на территории РФ. Основными негативными факторами являются:

- уровень развития инфраструктуры электрозарядных станций;
- климатические условия (достаточно длительный период времени с постоянными низкими температурами);
- большие расстояния между населенными пунктами.

Решением данных проблем может стать применение совместно с электродвигателем традиционного ДВС. При этом автопроизводители уже используют два варианта использования:

- ДВС как полноценный силовой агрегат, работающий в паре с электродвигателем попеременно, в зависимости от выбранного режима;

- ДВС используется как зарядное устройство для подзарядки тяговых батарей.

Первый вариант – ДВС, работающий в паре с электродвигателем – уже достаточно давно присутствует на рынке: Toyota (модели Prius и RAV4), Hyundai (модель Ioniq), Mitsubishi (модель Outlander PHEV), Lexus (модель RX450h) и некоторые другие, также о перспективных проектах в ближайшем будущем заявили компании Ford (модель Transit), Mercedes-Benz (модель eSprinter), УАЗ (Профи-гибрид).

Одна из концепций такого гибридного автомобиля представлена на рисунках 4 и 5.

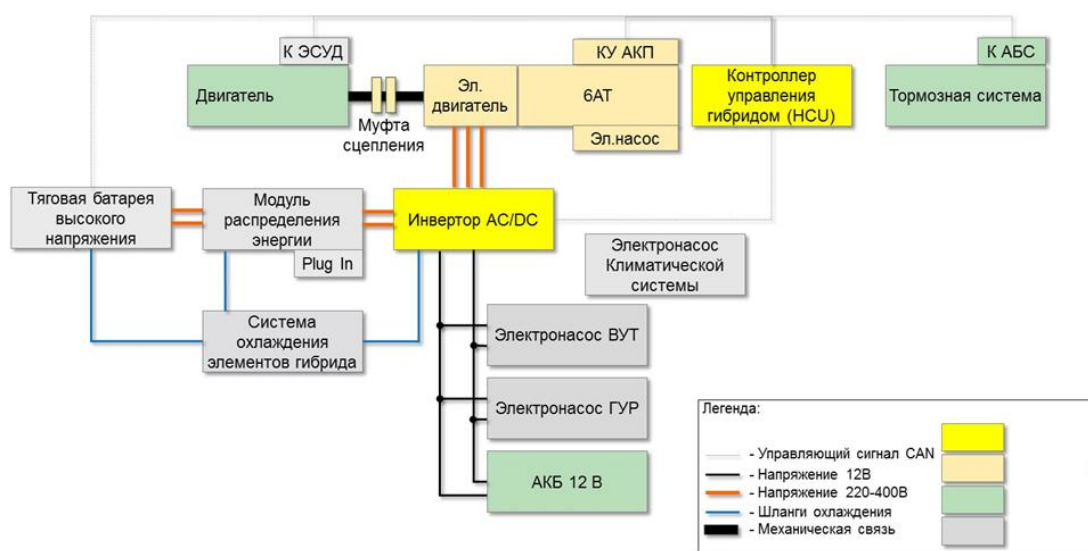


Рисунок 4 – Концепция гибридного автомобиля. Принципиальная схема основных компонентов ГСУ [5]

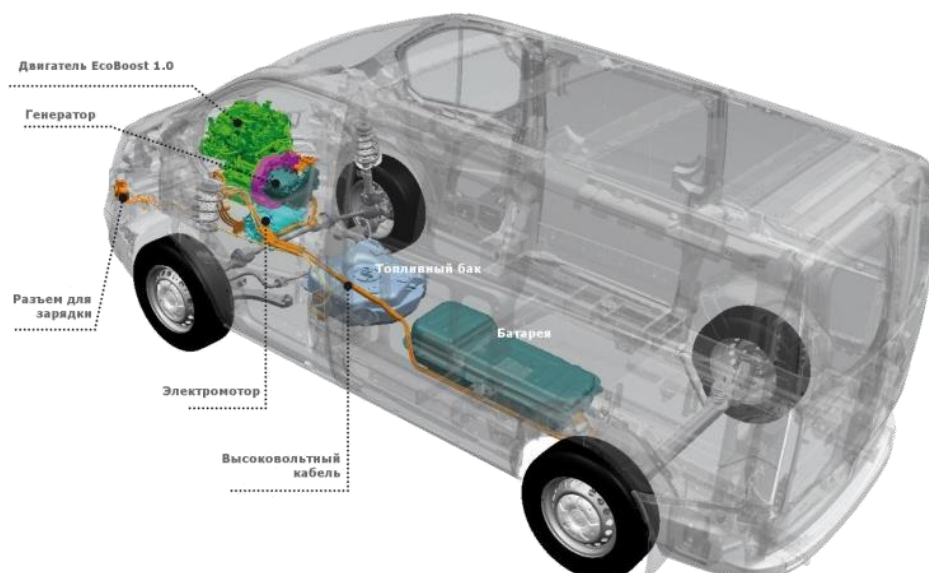


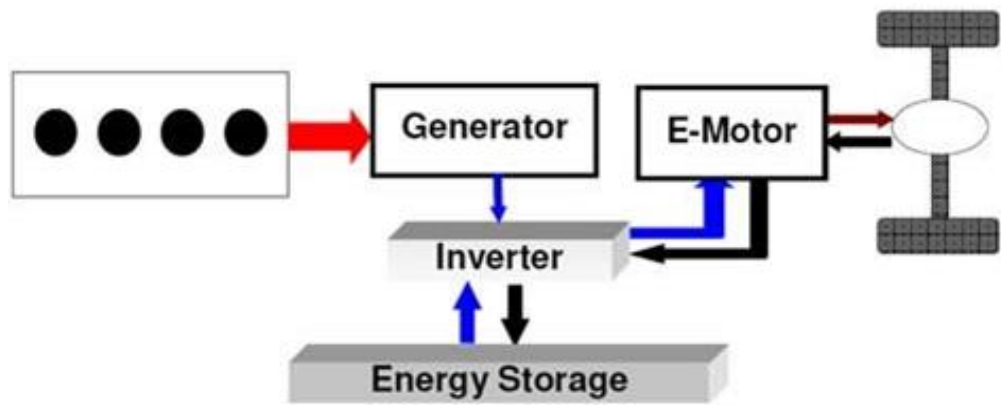
Рисунок 5 – Перспективная схема компоновки Ford Transit [5, 6]

Такая конструкция позволяет эксплуатировать транспортное средство в любых климатических и экологических зонах, снизить расход топлива и выбросы CO₂, увеличить пробег. Но имеет и серьезные недостатки:

- увеличение массы автомобиля;
- снижение грузоподъемности, что достаточно критично для коммерческого транспорта;
- увеличение стоимости эксплуатации;
- увеличение стоимости продукта.

Второй вариант – применение ДВС как зарядного устройства для батарей – позволит решить данные проблемы, либо значительно снизить негативный эффект, сохранив положительные факторы.

Удлинитель пробега Range Extender представляющий собой компактную генераторную установку. Установка Range Extender на электромобиль превращает его в упрощенный вариант гибридного транспортного средства с энергоустановкой последовательной схемы. Принципиальная схема представлена на рисунке 6



Range-Extended Electric Vehicle

Рисунок 6 – Принципиальная схема Range Extender [4]

Сегодня существует несколько подходов при реализации концепции применения удлинителя пробега электромобиля Range Extender. Первый подход: полученная энергия используется для подзарядки аккумуляторов транспортного средства. Другой подход - использование полученной энергии непосредственно для питания тягового электродвигателя транспортного средства. Указанные подходы имеют свои преимущества и недостатки. В частности, второй подход предполагает наличие на транспортном средстве ДВС значительной мощности.

Таблица 2 - прототипы электромобилей, использующих Range Extender [4].

 <p>Hummer H3</p>	<p>Мощность электропривода: 200 кВт Емкость аккумуляторных батарей: 41 кВт ч Пробег автомобиля на аккумуляторных батареях: 40 миль (64 км) Мощность удлинителя пробега (Range Extender): 100 кВт Общий пробег автомобиля с использованием удлинителя пробега (Range Extender): 300 миль (480 км)</p>
--	--

 <p>Fiat 500</p>	<p>Мощность электропривода: 75 кВт Емкость аккумуляторных батарей: 12 кВт ч Пробег автомобиля на аккумуляторных батареях: 60 миль (96 км) Мощность удлинителя пробега (Range Extender): 20 кВт Общий пробег автомобиля с использованием удлинителя пробега (Range Extender): 200 миль (320 км)</p>
 <p>Dodge Caliber</p>	<p>Мощность электропривода: 125 кВт Емкость аккумуляторных батарей: 21 кВт ч Пробег автомобиля на аккумуляторных батареях: 40 миль (64 км) Мощность удлинителя пробега (Range Extender): 75 кВт Общий пробег автомобиля с использованием удлинителя пробега (Range Extender): 300 миль (480 км)</p>

В случае применения ДВС в качестве зарядного устройства от самого двигателя не требуются мощностные показатели. Возможно применение относительно маломощного и малообъемного двигателя, что положительно скажется на весовых показателях и возможностях компоновки в автомобиле. Режим работы двигателя в данном случае только один, без выхода на пиковые нагрузки. Это позволит применить оптимальные настройки и исключить из конструкции достаточно дорогостоящие элементы систем управления двигателем, гашения вибраций и детонаций, систем впуска и выпуска. Данная система может быть модульно установлена с небольшими доработками в практически любой электромобиль как дооборудование (опция).

В таблице 2 представлены прототипы электромобилей, использующих Range Extender.

Ряд автоконцернов – в основном Европейские – BMW, AUDI - уже разрабатывают комплектации автомобилей с удлинителем пробега (Range Extender) в заводской комплектации (рисунок 2.4, 2.5).

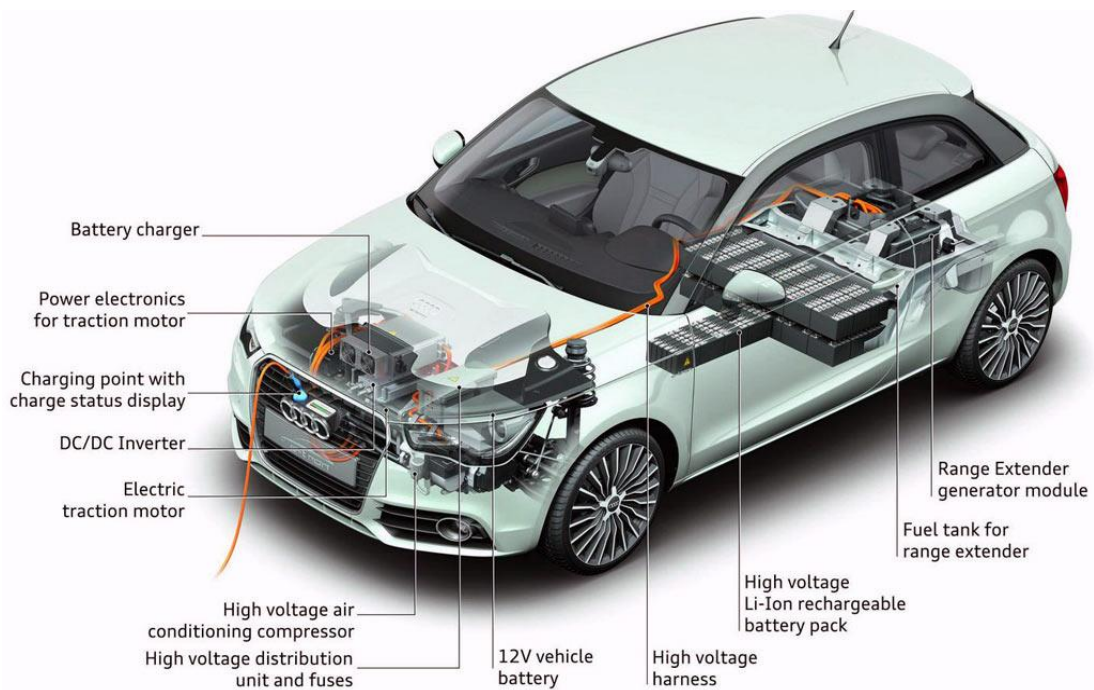


Рисунок 7 - Схема компоновки автомобиля AUDI A1 e-tron [7,9]

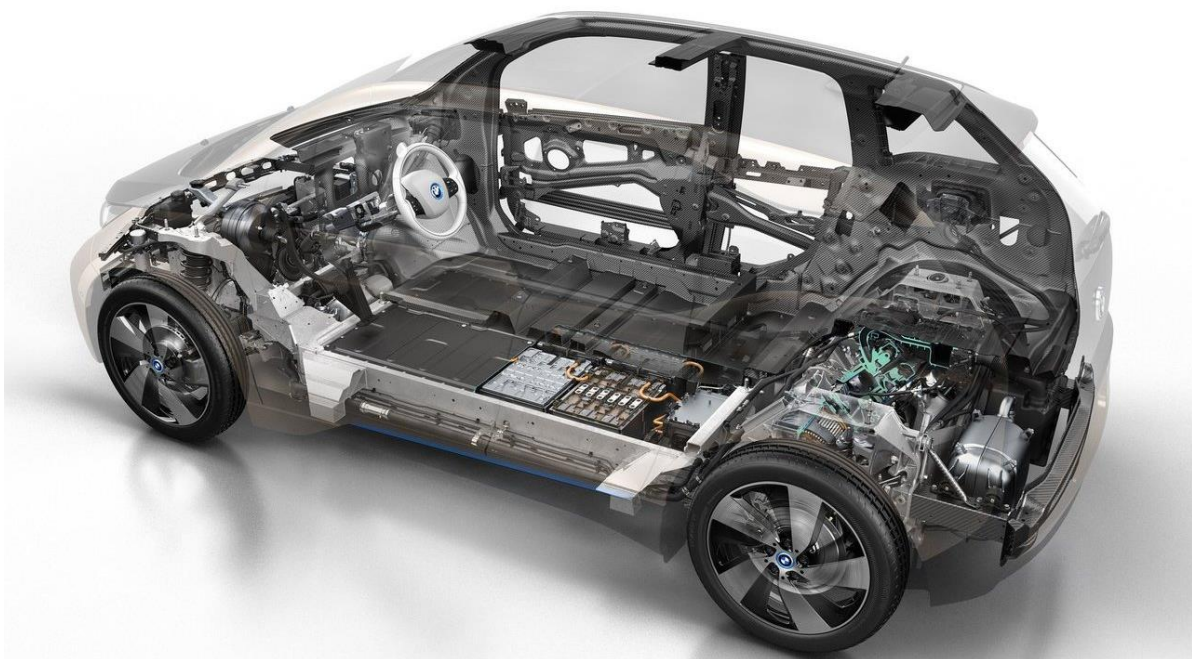


Рисунок 8 - Схема компоновки автомобиля BMW i3 [8]

Таблица 3 – Характеристики выпускаемых серийно автомобилей [7,8]

AUDI A1 e-tron	Мощность электропривода: 85 кВт Емкость аккумуляторных батарей: 13,3 кВт ч Пробег автомобиля на аккумуляторных батареях: 50 км Мощность удлинителя пробега (Range Extender): 25 кВт Общий пробег автомобиля с использованием удлинителя пробега (Range Extender): 250 км
BMW i3	Мощность электропривода: 125 кВт Емкость аккумуляторных батарей: 22 кВт ч Пробег автомобиля на аккумуляторных батареях: 160 км Мощность удлинителя пробега (Range Extender): 25 кВт Общий пробег автомобиля с использованием удлинителя пробега (Range Extender): 300 км

Особенностью рассмотренных выше электромобилей является относительно большая энерговооруженность, что определяет значительную стоимость таких автомобилей.

Компания MAHLE начиная с 2010 года ведет разработки в направлении создания Range Extender и оптимизации его работы в составе электромобиля [10, 11, 12, 13]. Концепция применения Range Extender предложенная компанией представлена на рисунке 9.

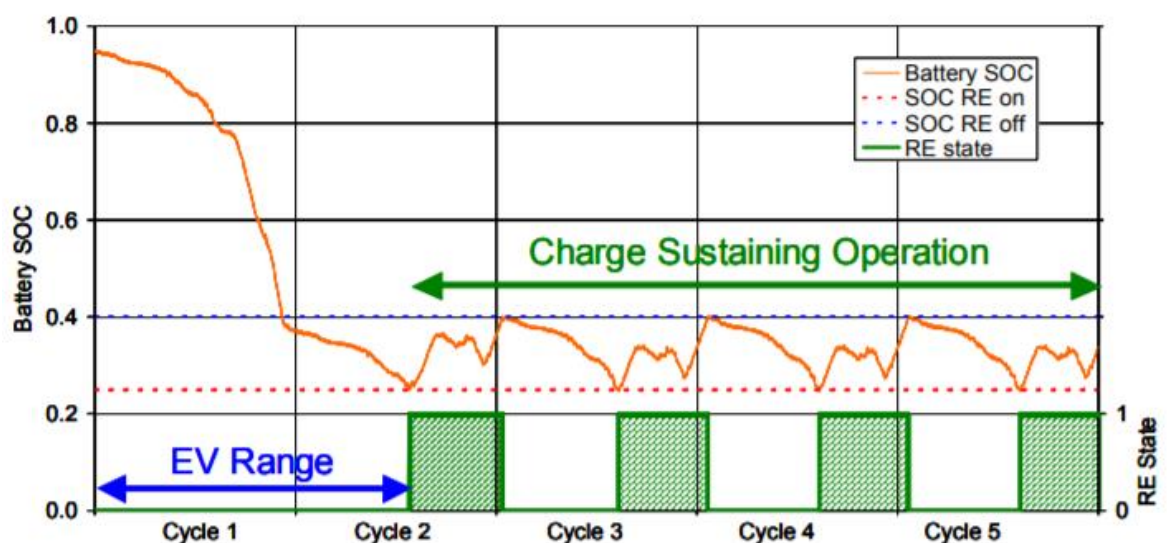


Рисунок 9 – Предложенная концепция компанией MAHLE [13]

При формировании концепции учитывались необходимая мощность для движения автомобиля с заданной скоростью (см рисунок 10). При этом принятыми параметрами было:

- масса транспортного средства - 1500 кг;
- максимальная скорость транспортного средства - 120 -160 км/ч
- пробег на аккумуляторных батареях - не менее 65 км;
- мощность электрического привода - не более 100 кВт
- емкость аккумуляторных батарей - 15,2 кВт ч.

По результатам проведенных исследований были получены следующие данные по снижению выбросов CO₂ (см. рисунок 11). На рисунке приняты следующие обозначения:

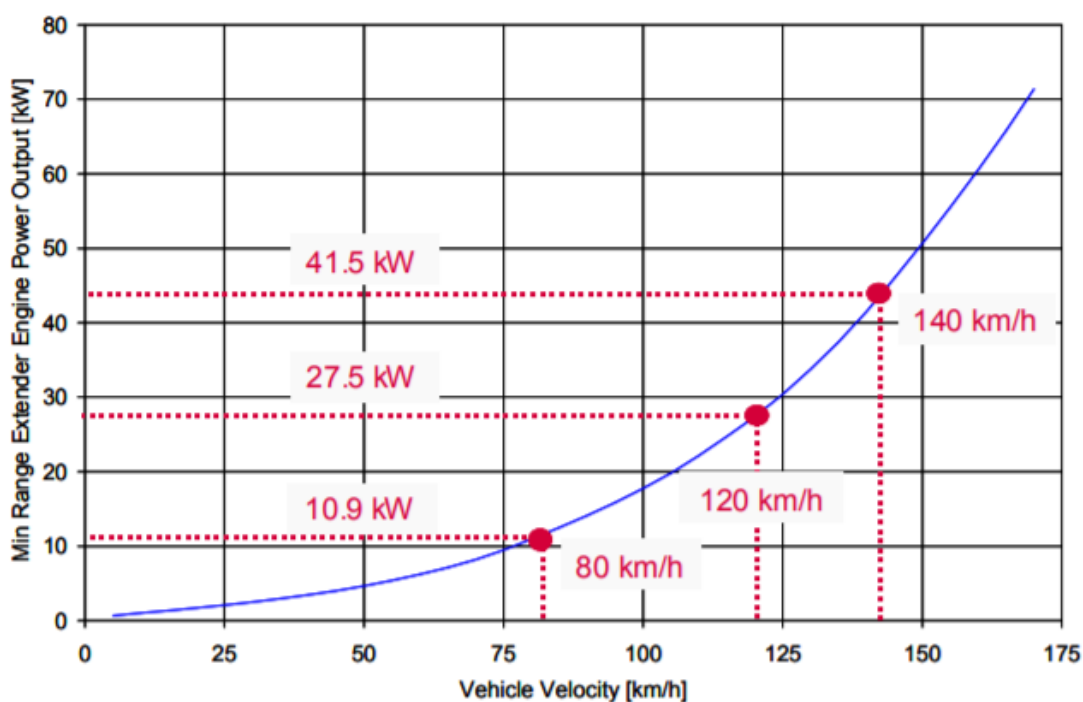


Рисунок 10 – Зависимость требуемой минимальной мощности Range Extender при движении с заданной скоростью [13]

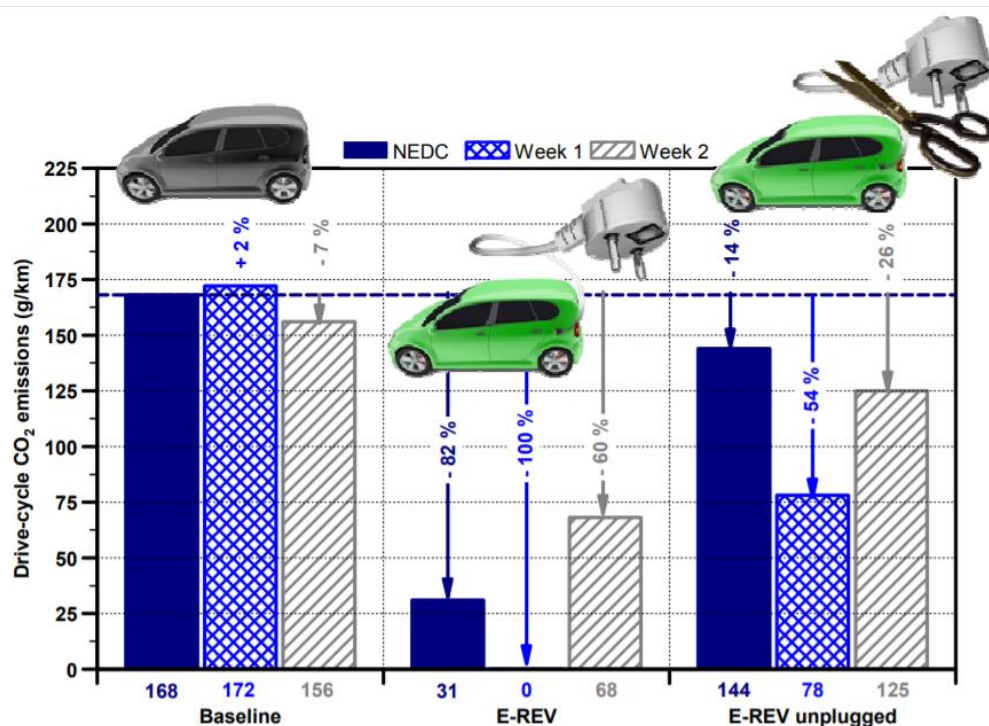
- NEDC (NEW EUROPEAN DRIVING CYCLE) - данный ездовой цикл применяться с 01.01.2000 года, который описывает движение в городе и на трассе. За время около 20 минут цикл NEDC проходит дистанции

в 11 км. Выполняется 12 остановок и разгонов на протяжении всего цикла; скорость средняя измерительного цикла составляет 33,6 км/ч;

- Week1 – типовой цикл, имитирующий движение автомобиля в городе и пригороде, с двумя относительно короткими поездками в день (см. рисунок 2.8).

- Week2 – аналогичный цикл Week1, отличающейся большей длиной поездки и количеством поездок в день.

Однако, проведенные дополнительно исследования по оценке токсичности электромобиля (BEV, Battery Electric Vehicle) с удлинителем пробега и гибридным автомобилем (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle) группой ученых из Познаньского технологического университета (Poznan University of Technology, Poland) пришли к несколько иным выводам [12].



Baseline – автомобиль с бензиновым двигателем;
 E-REV – электромобиль с удлинителем пробега и возможностью зарядки аккумуляторных батарей от сети;
 E-REV unplugged - электромобиль с удлинителем пробега и без возможности зарядки аккумуляторных батарей от сети.

Рисунок 11 – Зависимость снижения выбросов CO₂ при различных условиях движения автомобиля [13]

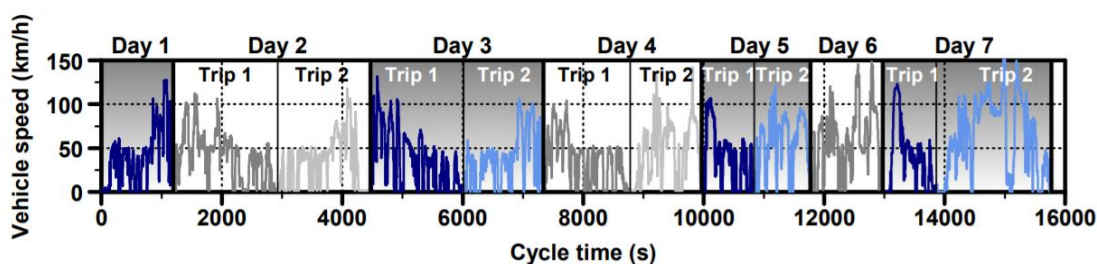
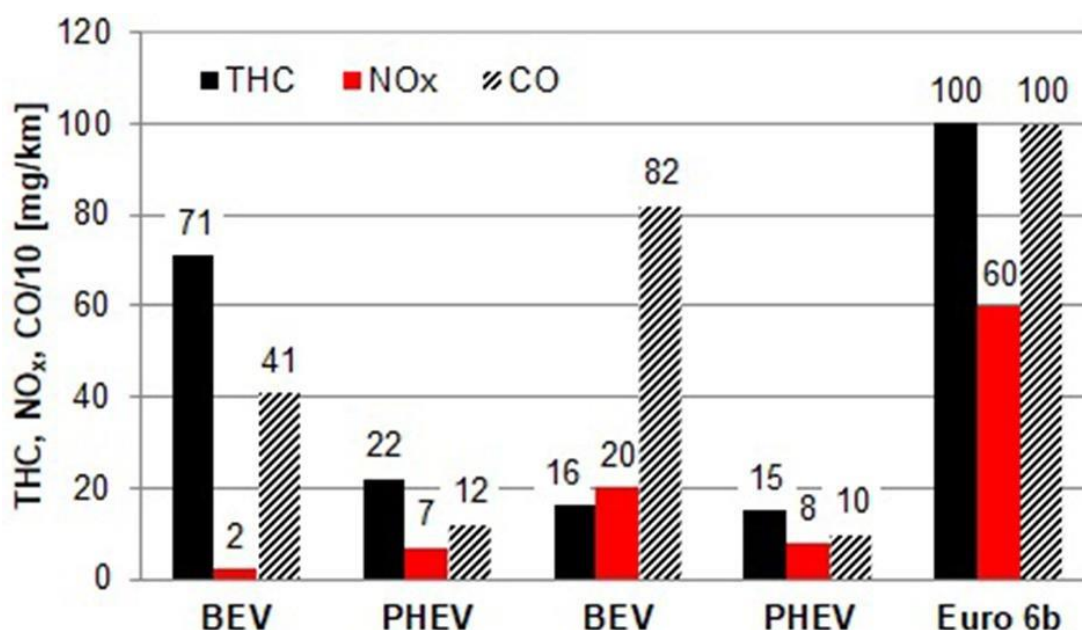


Рисунок 12 - Типовой цикл имитирующий движение автомобиля в городе и пригороде, с двумя относительно короткими поездками в день

Испытания по определению выбросов токсичных компонентов на автомобилях PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) и BEV (Battery Electric Vehicle), в которых двигатель внутреннего сгорания использовался в качестве расширителя пробега показали, что при движении автомобиля по циклу RDE (Real Driving Emissions) автомобили выполнили требования правил ЕВРО 6b (см. рисунок 13). Автомобили PHEV в ходе испытаний показали себя, как более экологичный транспорт.



BEV (Battery Electric Vehicle) с расширителем пробега Range Extender
PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

Рисунок 13 - Сравнение выбросов токсичных компонентов [14]

Определенный интерес представляет доклад, представленный на конференции «Electromobility+» [26] по теме «Electric Vehicle with Range Extender as a Sustainable Technology» (Электрический транспорт с удлинителем пробега как жизнеспособная технология).

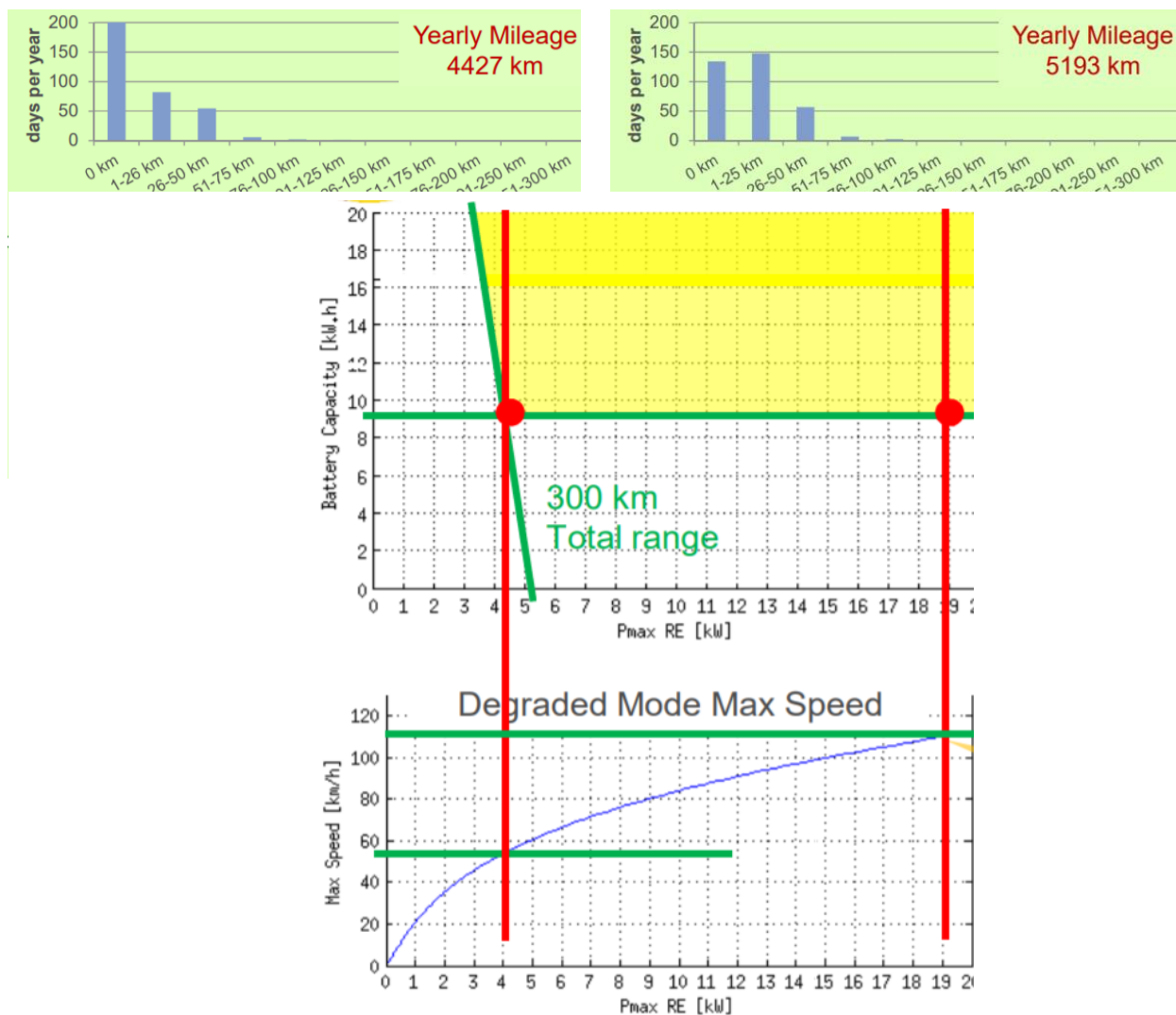


Рисунок 16 – Зависимость необходимой мощности RE от скорости движения и емкости аккумуляторных батарей (условие пробег электромобиля составляет 300 км) [14]

Основная цель доклада: оценка перспектив электромобилей с удлинителем пробега. В докладе рассматривались следующие вопросы:

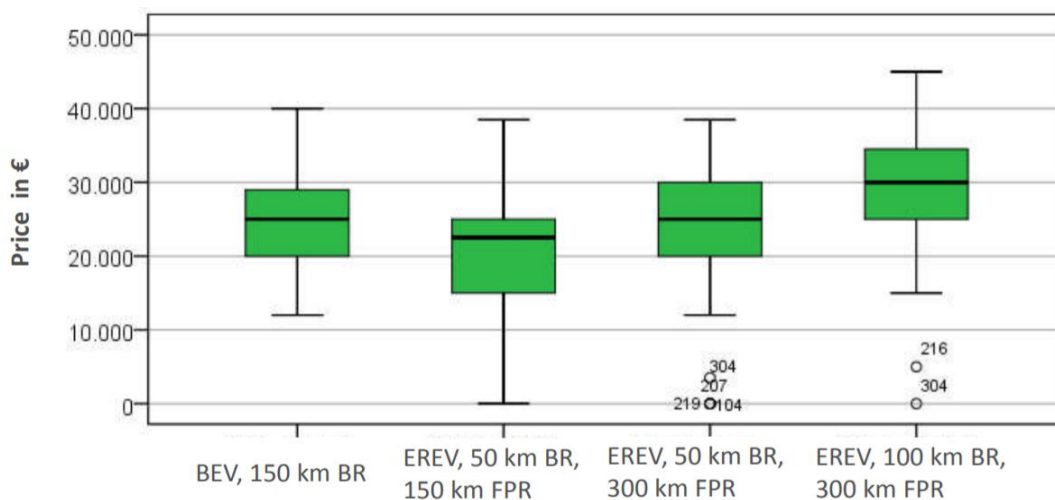
- оптимизация соотношения размер/стоимость аккумуляторов;
- гарантированный пробег автомобиля.

На рисунках 14 – 17 представлены некоторые основные графики, представленные в докладе. В частности, на рисунке 14 15 представлены

статистические данные по годовому пробегу автомобилей в таких странах как Германия и Франция.

Из рисунков 14 и 15 можно видеть, что максимальный ежедневный пробег электромобиля не превышает 300 км.

На рисунке 17 представлено оценка стоимости электромобилей, выполненных по различным схемам.



BEV – электромобиль без RE; EREV – электромобиль с RE;
FPR – общий пробег автомобиля; BR – пробег автомобиля на одном заряде аккумуляторов

Рисунок 17 - Оценка стоимости электромобилей [14]

Из представленного рисунка видно, что с точки зрения стоимости автомобиля с сохранением пробега 300 км является автомобиль:

- запас хода на аккумуляторных батареях – 50 км;
- RE обеспечивает дополнительный пробег электромобиля 100 км. (при мощности RE – 4-5 кВт) или 250 км. (при мощности RE -19 – 20 кВт).






Small Class	Reference BEV 	Cluster 2 ICE Cost Based 	Cluster 2 ICE Cost Based 
Battery Size (kW.h)	16	9	9
RE Size (kW)	-	5	5
Weight	1200	1159	1159
Yearly elec. Consumption (kW.h/y)	 771 / 904	628	767
Yearly gasoline Consumption (L/y)	-	52	49
12 years Total Cost (€) <i>Purchase</i> <i>Energy during 12y</i>	 30820 / 32210 29600 1200 / 2600	27070 25150 1920	28280 25150 3130

Рисунок 18 - Сравнение стоимости владения автомобиля, оснащенного RE [14]

Для иллюстрации на рисунке 18 представлено сравнение стоимости владения автомобиля, оснащенного RE по характеристика схожими с электромобилем типа.

Таким образом, на основании рассмотренных выше материалов предлагается концепция удлинителя пробега (RE) основные параметры которой представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры удлинителя пробега (RE)

	L7-024D/ L7-024D (RE)	L7-024/ L7-024 (RE)	L7-0241/ L7-0241 (RE)
Привод автомобиля	Передний	Передний	AWD 4x4
Мощность электрического привода, кВт	15	15	15
Емкость батарей, кВт ч	10/5	10/5	20/10
Мощность RE, кВт	3-5	5-7	5-7
Сухой вес RE, кг	-/70	-/100	-/100
Пробег, км	250	350	450

3 Испытание силового агрегата на соответствие требованиям Stage

3.1 Общие положения

Выполняя работы приняли экспериментальный метод исследований, который заключается в снятии характеристик двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что объясняется необходимостью получения результатов, соответствующих реальным значениям исследуемого объекта, и невозможностью выполнить исследование теоретическим методом, это связано со сложностью исследуемого процесса и теоретического описания.

3.2 Цель испытаний

Цель работы: в условиях моторного стенда, определить базовые характеристики ДВС применяемого в составе силовой установки Range Extender, а также зависимости выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами двигателя.

Подготовили и провели испытания следующие:

- моторный бокс (стенд) оборудовали системой подачи топлива, включая средства измерений и управления;
- выполняются подготовительные и пусконаладочные работы [28];
- проводятся экспериментальные исследования;
- оформляется текущий анализ результатов экспериментальных работ.

3.3 Объект испытаний

Объектами испытаний является поршневой, одноцилиндровый, четырёхтактный, с искровым зажиганием двигатель рабочим объёмом $V_h = 0,6$ л. Разработаны производителем двигателя: сама конструкция двигателя,

его систем (ЭСУД, исключая электронную систему управления); условие функционирования двигателя.

3.4 Условия проведения испытаний

Проводят испытания в моторном боксе, содержащем оборудование в соответствии с ГОСТ 14846 - 81, при температуре воздуха T_a (20 - 40 °С) и давлении, соответствующем диапазону значений изменения атмосферного давления.

По результатам измерений рассчитывают атмосферный фактор F по формуле:

- для двигателей без наддува

$$F = \left(\frac{99}{p_a} \right) \left(\frac{T_a}{298} \right)^{0,7} \quad (3.1)$$

Результаты испытаний считают достоверными, если в течение времени проведения испытаний фактор F остается в пределах $0,93 < F < 1,07$.

В период проведения испытаний техническое обслуживание и эксплуатация двигателя и его систем осуществляется, а также техническое обслуживание моторного стенда и систем измерения осуществляется специалистами ФГБОУ ВО «ТГУ»

Порядок взаимодействия организаций, участвующих в испытаниях определяется условиями Гранту ИИФ № 1/32-ИП/2020 от 14.09.2020 г.

3.5 Методика испытаний

Подготовка стенда и методика испытаний двигателя.

На рисунке 19. приведены схемы содержимого моторного бокса при работе на бензине и на газовом топливе. Обозначения приняты:

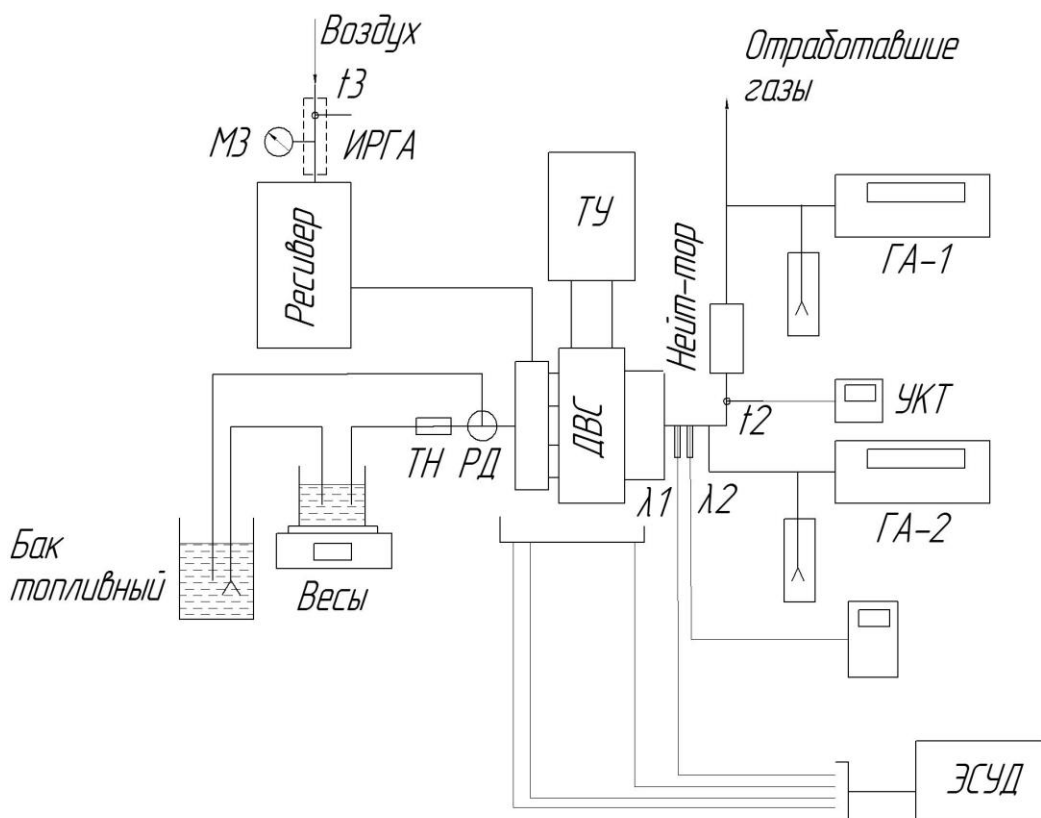


Рисунок 19 - Принципиальная схема испытательного стенда при работе ДВС на жидком топливе

- ГА-1, ГА-2 - газоанализаторы;
- МЗ - манометр и/или датчик давления;
- ТН - топливный насос;
- РД - регулятор давления в топливной системе;
- УКТ - универсальный измеритель температуры;
- $\lambda 1$ - широкополосный λ -зонд;
- $\lambda 2$ - штатный датчик кислорода ЭСУД;
- t_1 , t_2 , t_3 - датчики температур;
- ИРГА - измеритель расхода воздуха;
- ТУ - тормозное устройство;
- ЭСУД - электронная система управления двигателем;
- ДВС - двигатель внутреннего сгорания.

Подготавливаются системы бокса, проводятся первые испытания, по результатам которых уточняются и определяются параметры и настройки как самого стенда, так и измерительного оборудования.

Выполнение экспериментальной работы и ее последовательность.

Экспериментальная работа в следующей последовательности:

- проводится запуск ДВС и после его прогрева устанавливается заданный режим работы, характеризуемый частотой вращения вала двигателя и нагрузкой;
- снимается одна из характеристик, предусмотренных программой испытаний (регулирующая, нагрузочная, холостого хода).

Режимы работы двигателя определяются согласно ГОСТ ISO 8178-4-2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах»

Результаты испытаний порядок их обработки и анализа.

Измерения следующих параметров, в процессе проведения испытаний, приведенных в таблице 5.

В ходе выполнения работы может изменяться количество параметров (каналов измерений), средства и способ измерения, с целью повышения точности измерений и получения дополнительной информации о рабочем процессе. Средства, порядок и погрешность измерений окончательно выбранных при проведении испытаний отражаются в итоговом отчете.

Регистрация результатов измерений производится в соответствии с предусмотренными данным типом устройств возможностями: манометра, газоанализатора, температуры, параметров работы ДВС - в соответствии с предусмотренными ЭСУД возможностями программного управления.

Таблица 5 – Измеряемые при испытаниях параметры

№	Параметр	Тип измерительного средства	Количество каналов измерений	Места установки первичных измерителей
1	Атмосферные температура и давление.	По ГОСТ 14846-81	По ГОСТ 14846-81	По ГОСТ 14846-81
2	Крутящий момент	Тормозная установка	1	Моторный бокс
3	Частота вращения вала двигателя	По ГОСТ 14846-81	1	То же
4	Расход топлива	То же	1	“ ”
5	Угол опережения зажигания	“ ”	1	“ ”
6	Температуры воздуха на входе в двигатель.	“ ”	1	“ ”
7	Температуры охлаждающей жидкости	По ГОСТ 14846-81	По ТУ ДВС	“ ”
8	Отработавших газов ДВС состав.	Газоанализатор	CO, CH, NO _x , CO ₂	Выпускная труба ДВС
9	Расход воздуха	ЭСУД ДВС	1	Впускная труба ДВС
10	Температура отработавших газов	Термопара ХК, измеритель температуры УКТ-38	1	Выпускная труба ДВС

Порядок анализа испытаний:

Определить параметры работы ДВС в соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81, в частности:

- по формуле определяется эффективная мощность:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9550} [кВт] \quad (3.2)$$

где M - крутящий момент двигателя в Нм, n – частота вращения коленчатого вала в мин⁻¹;

- по формуле определяется расход жидкого топлива (бензина):

$$G_m = 3,6 \cdot 10 \cdot \frac{\Delta G_m}{\tau} \left[\frac{кг}{ч} \right], \quad (3.3)$$

где ΔG_m – масса (навеска) топлива расходуемая за время проведения измерений, τ - время измерения.

По ГОСТ 14846-81 определяют другие показатели, в частности, удельного расхода, среднего эффективного давления и др.

Определение количества токсичных компонентов в ОГ определяется с учетом методик, предусмотренных ГОСТ 31967-2012 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения».

Удельный средневзвешенный выброс i -го вредного вещества рассчитывают по формуле:

$$e_i = 0,446\mu_i \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} V_{exhj} W_j}{P_e \sum_{j=1}^m \overline{P}_{ej} W_j} \quad (3.4)$$

где μ_i - молекулярная масса i -го вредного вещества либо его эквивалент по приведению, кг/кмоль;

P_e – номинальная или полная мощность двигателя, кВт;

\overline{P}_e - относительная мощность двигателя, %;

W_j – весовой коэффициент j -го режима;

V_{exhj} - объемный часовой расход отработавших газов, приведенный к нормальным условиям во «влажном» или «сухом» состоянии, м³/ч;

c_i - объемная концентрация в отработавших газах i -го вещества, %.

Объемный расход ОГ измеряют любым прямым методом с последующим приведением к стандартным атмосферным условиям либо рассчитывают по измеренным значениям расхода воздуха и топлива на каждом режиме испытаний по формуле:

$$V_{exhj} = V_{air} + F_f B \quad (3.5)$$

где F_f — коэффициент приведения к нормальным атмосферным условиям расхода неразбавленных продуктов сгорания различных топлив (м³/кг), принимаемой по таблице 4 для «сухого» или «влажного» состояния ОГ, (или коэффициент состава топлива).

V_{air} – объемный часовой расход воздуха, приведенный к нормальным атмосферным условиям (давление $p_a = 101,3$ кПа, температура $T_a = 273$ К), м³/ч;

B – массовый расход топлива, кг/ч.

Таблица 6 – Значение коэффициента состава топлива

Вид топлива	Значение коэффициента состава топлива, м ³ /кг, для состояния отработавших газов	
	«влажное»	«сухое»
Моторное	0,72	- 0,74

Для расчета объемного расхода ОГ допускают другие стандартные методы, например, метод баланса углерода и кислорода [27].

3.6 Метрологическое обеспечение

Средства измерений, применяемые в испытаниях, должны иметь технические паспорта и действующие сроки поверок.

Допускается применять не аттестованные средства измерения, однако при этом необходимо выполнить не менее трех измерений на одном выбранном режиме с определением погрешностей по ГОСТ 8-207-76. Величина погрешности должна составлять не более 5%.

Таблица 7 – Измерительное оборудование

Наименование средств измерений	Тип, фирма	Класс точности или погрешность	Диапазон измерений
1	2	3	4
Тормоз гидравлический	SCHENK № LLF0401		
Весы для измерения крутящего момента	SCHENK № NRD6732	± 0,5	1 - диапазон: 0 ÷ 20 кг·с 2 - диапазон: 15 ÷ 50 кг·с

Продолжение таблицы 7

Канал измерения числа оборотов: - датчик числа оборотов	ЭСУД 40904.3847010 DG-6-K, Bosch 0 261 210 302	$\pm 20 \text{ мин}^{-1}$	$(0 \div 4000) \text{ мин}^{-1}$
Температура окружающей среды: - термосопротивление	ТСП-Н Pt100	$\pm 2 \%$	$(-50 \div 400) \text{ }^\circ\text{C}$
Давление окружающей среды: - барометр-анероид	МД-49-2 №154	± 1	$(600 \div 800) \text{ мм рт.ст.}$
Измеритель давления топлива в рампе	Манометр	Кл. т. 2,5	$(0 \div 6,0) \text{ кгс/см}^2$
Канал измерений температуры отработавших газов: - преобразователь - термопара	УКТ-38-Щ4-ТП ХК Т-49-5	$\pm 1 \%$ $\pm 2 \%$	$(0 \div 1000) \text{ }^\circ\text{C}$ $(-200 \div 1200) \text{ }^\circ\text{C}$
Канал измерений температуры охлаждающей жидкости:	ЭСУД 40904.3828000 TF-W,Bosch 0 280 130 093	$\pm 5 \%$	$(-35 \div 150) \text{ }^\circ\text{C}$
Канал измерения расхода воздуха: - счетчик газа	ИРГА-2	$\pm 0,2 \%$	$(0 \div 500) \text{ м}^3/\text{ч}$
Канал измерения давления и температуры воздуха во впускном коллекторе	ЭСУД 40905.3829010 DS-S3-TF, Bosch 0 261 230 217	Не менее 2%	$(0 \div 0.1) \text{ МПа}$
Измеритель влажности окружающего воздуха	Гигрометр психометрический ВИТ-2	0,2	$(10 \div 100) \%$ относ. влаж.

Продолжение таблицы 7

Состав отработавших газов:			
СН (углеводороды)	Газоанализатор фирма «МЕТА» «Автотест02.03 .П»	Абс. ± 10 ppm $\pm 5\%$	(0 ÷ 200) ppm (200 ÷ 2000) ppm
СО (оксид углерода)		Абс. $\pm 0.03\%$ $\pm 3\%$	(0 ÷ 1) % (1 ÷ 5) %
СО ₂ (диоксид углерода)		Абс. ± 0.5 $\pm 4\%$	(0 ÷ 12.5) % (12.5 ÷ 16) %
λ -параметр		Не нормируется	
NO _x (окислы азота)		Абс. ± 50 ppm $\pm 5\%$	(0 ÷ 1000) ppm (1000 ÷ 5000) ppm
Измеритель λ -параметр: - преобразователь - датчик кислорода широкополосный	Innovate motorsport LM- 1 Bosch 0258 007361	± 0.01	(0 ÷ 2)
Весы электронные	DL-3000WP	Абс. ± 0.02	(0.01 ÷ 3200) гр.

3.7 Программа испытаний

Испытания по циклу D2 ISO 85281 проводятся последовательно на всех режимах испытательного цикла согласно их нумерации в порядке возрастания.

В режиме каждого цикла фиксируются следующие показатели работы двигателя:

- расход топлива B , кг/ч;
- расход воздуха V_{air} , м³/ч или G_{air} , кг/ч;
- крутящий момент двигателя $M_{кр}$, Нм;
- вращения коленчатого вала, эго частота n , мин⁻¹;
- концентрация монооксида углерода C_{co} , %;
- концентрация оксидов азота C_{NO} , ppm;
- концентрация углеводородов C_{CH} , ppm.

- угол опережения зажигания УОЗ, гр. п.к.в.

Перед началом работ необходимо убедиться в отсутствии течей технической жидкости как моторного стенда, так и двигателя. Произвести доливку технических жидкостей в случае необходимости. Целесообразно проверить герметичность топливных магистралей. В свою очередь проверить работоспособность и затем осуществлять прогрев средств измерений.

Таблица 8 – Испытательный цикл

Номер режима (цикл D2)	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	-
Частота вращения	Объявленная частота вращения, $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$					Промежуточная частота вращения					Минимальная частота вращения холостого хода
Крутящий момент, %	100	75	50	25	10	-	-	-	-	-	-
Крутящий момент, Нм	32,8	26,3	14,0	7,4	4,5	-	-	-	-	-	-
Мощность, кВт	10,3	8,3	4,4	2,3	1,4	-	-	-	-	-	-
Весовой коэффициент	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-

Также происходит пуск и прогрев двигателя. Двигатель прогревают при нагрузке не менее 80% от объявленной (номинальной или полной) мощности до стабилизации параметров двигателя согласно рекомендациям изготовителя. Второй этап в цикле проводится измерение параметров двигателя. Все этапы проводят в той последовательности, которая определяется выбранным испытательным циклом. Минимальная продолжительность режима составляет 10 мин. В случае необходимости продолжительность режима может быть увеличена, например, когда надо накопить достаточное количество материала для пробы или, когда надо дождаться стабилизации параметров режима крупного двигателя.

Измерение и запись концентрации газообразных компонентов выпуска в любом режиме должны производиться в течение не менее 3 мин.

при условии, что параметры режима стабилизировались, а значения частоты вращения и крутящего момента соответствуют требованиям данного режима. В соответствии с ISO 8178-1 пункт 13.2 для расчета выбросов должны использоваться только данные, полученные в течение последних 60 с из указанного 3-минутного периода.

Режимы испытаний могут повторяться при условии, что двигатель будет подготовлен путем работы на предшествующем режиме. Подготовка к работе на каждом режиме испытательного цикла должна проводиться в соответствии с ISO 8178-1 пункт 12.3. Если промежуток времени между окончанием одного режима и началом другого режима составляет более 20 мин., но не превышает 4 ч, двигатель должен быть (повторно) подготовлен к работе на очередном режиме путем прогона предшествующего режима. Если этот промежуток времени превышает 4 ч, двигатель должен быть подготовлен к работе на очередном режиме в соответствии с ISO 8178-1 пункт 12.3.

Если в любой момент испытательного режима произошел отказ измерительного оборудования, либо частота вращения или нагрузка двигателя не соответствуют требованиям ISO 8178-1 подпункт 12.7.1, испытательный режим считается недействительным и может быть прекращен. Испытательный режим может быть возобновлен при условии подготовки двигателя путем прогона предшествующего режима.

Дополнительно для более точных результатов необходимых при калибровке двигателя проводилось определение механических потерь двигателя методом холодной прокрутки на электрическом тормозе MEZ MS 2812-4. Для иллюстрации на рисунке 20 представлена силовая установка в составе тормозного стенда.



Рисунок 20 - Силовая установка в составе тормозного стенда
Результаты испытаний по определению механических потерь
представлены в приложении Б.

3.8 Комплектация ЭСУД двигателя и характеристика датчиков и исполнительных механизмов

Комплектация ЭСУД двигателя представлена в таблице 9.

Характеристики датчиков и исполнительных механизмов ЭСУД представлены ниже.

Датчик абсолютного давления с встроенным датчиком температуры 40905.3829010 DS-S3-TF, Bosch 0 261 230 217.

Таблица 9 – Комплектация ЭСУД

№	Наименование	Обозначение	Кол-во
1	Дроссельный модуль с электроприводом дроссельной заслонки и ДПД	21126-1148010, Bosch 0 280 750 526	1
2	ДПКВ Датчик синхронизации КВ индуктивного типа	40904.3847010 DG-6-K, Bosch 0 261 210 302	1
3	ДТОЖ Датчик температуры ОЖ NTC-типа	40904.3828000 TF-W, Bosch 0 280 130 093	1
4	ДДТВ Датчик давления и температуры воздуха во впускном коллекторе	40905.3829010 DS-S3-TF, Bosch 0 261 230 217	1
5	Датчик Детонации	40904.3855000 KS-4-S Bosch 0 261 231 176	1
6	Датчик кислорода (лямбда-зонд), четырехпроводной, с управляемым электроподогревом:	Датчик кислорода типа ДК 889 аналог 25.368889 ф. Delphi	1
7	Бензиновые форсунки (электромагнитные, двухфакельные)	40904.1132010 EV14EL, Bosch 0 280 158 237	1
8	Катушка зажигания (индивидуальные, трансформаторного типа, без коммутатора)	«СОАТЭ» 407.3705000 аналог BWBSK 4075 (Корея) 40904.3705000-01	1
9	Свеча зажигания	NGK CR7 (или аналог)	1
10	Комплект жгутов проводов	Мика Мотор	1
11	Блок управления	АБИТ А 12.2	1
12	Реле стартера	411.3787-02 «Энергомаш»	1
13	Главное реле	40.3787 «Энергомаш»	1
14	Ключ зажигания «Кл.15»	21230-3704010 «ДААЗ»	1

Таблица 10 – Калибровка датчика давления

U _{Pa} , В	0	0,156	0,313	0,469	0,625	0,781	0,938	1,094	1,25	1,406	1,563
P _a , кПа	10,3	13,7	17,3	20,8	24,4	27,9	31,3	34,9	38,4	42	45,5
U _{Pa} , В	1,719	1,875	2,031	2,188	2,344	2,5	2,656	2,813	2,969	3,125	3,281
P _a , кПа	48,9	52,5	56	59,6	63,1	66,5	70,1	73,6	77,1	80,7	84,1
U _{Pa} , В	3,438	3,594	3,75	3,906	4,063	4,219	4,375	4,531	4,688	4,844	5
P _a , кПа	87,6	91,1	94,4	97,7	101	104	106,8	109,2	111,5	111,7	112

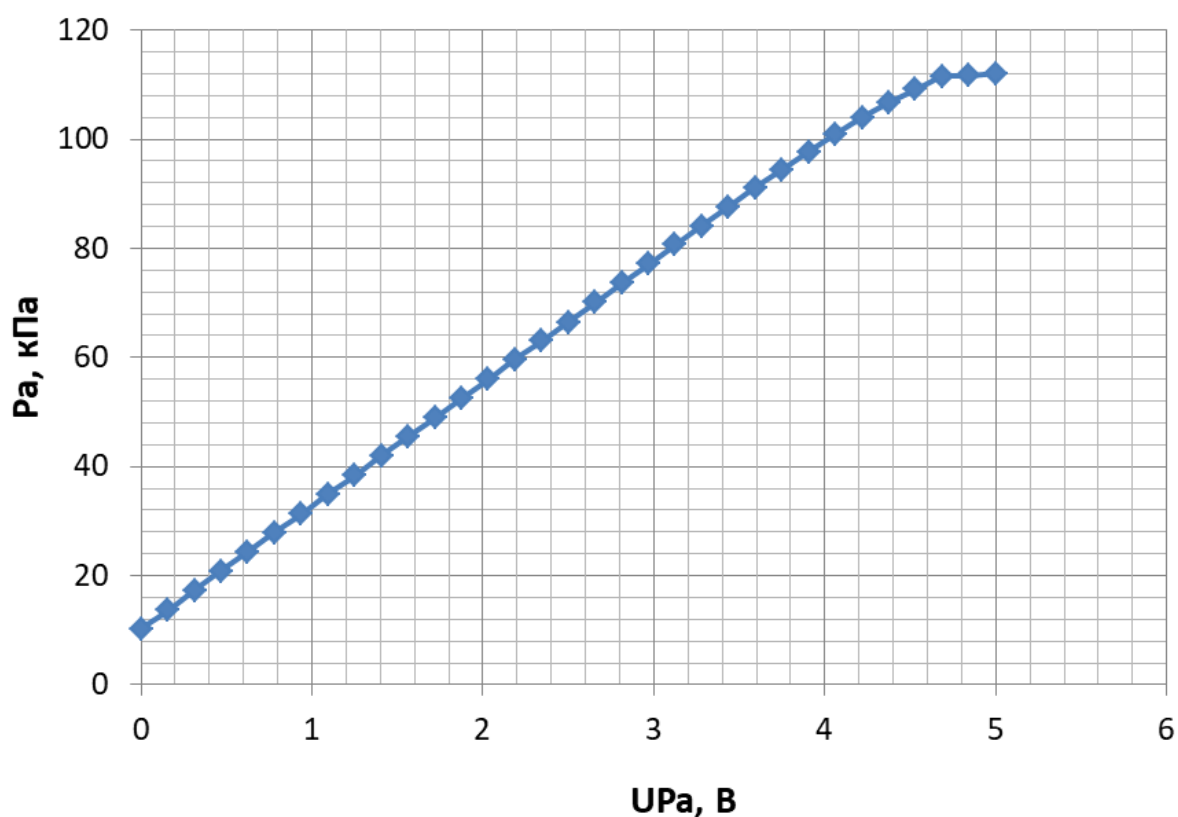


Рисунок 21 – Зависимость напряжения (U_{Pa}) от давления (P_a)

Таблица 11 – Калибровка датчика температуры

U _{Ta} , В	0	0,156	0,313	0,469	0,625	0,781	0,938	1,094	1,25	1,406	1,563
T _a , С	157	134,5	110,5	93	80,2	70,8	63,7	58,2	53,5	49,3	45,4
U _{Ta} , В	1,719	1,875	2,031	2,188	2,344	2,5	2,656	2,813	2,969	3,125	3,281
T _a , С	41,5	37,6	33,8	29,9	26,2	22,6	19,2	15,9	12,9	10,1	7,4
U _{Ta} , В	3,438	3,594	3,75	3,906	4,063	4,219	4,375	4,531	4,688	4,844	5
T _a , С	4,6	1,8	-1,4	-5	-9,2	-14,1	-19,9	-26,7	-34,3	-42,6	-51,5

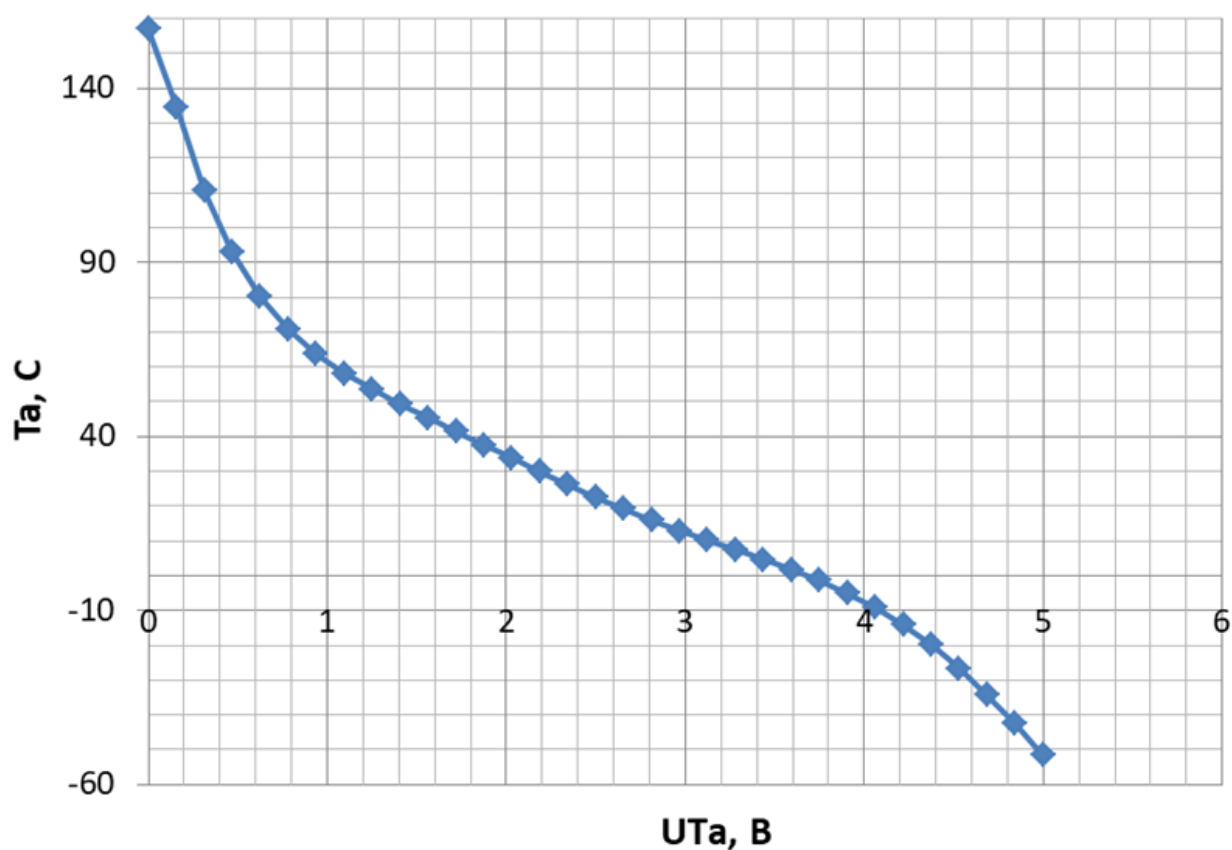


Рисунок 22– Зависимость напряжения ($U_{та}$) от температуры (T_a)

Катушка зажигания индивидуальная «СОАТЭ» 407.3705000 аналог BWBSK 4075 (Корея) 40904.3705000-01.

Таблица 12 – Время накопления в зависимости от величины напряжения бортовой сети

УБС, В	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Время, мс	5	5	4,33	3,67	3	2,92	2,83	2,75	2,67	2,58	2,5	2,5	2,5	2,5

Датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ) 40904.3828000 TF-W, Bosch 0 280 130 093.

Таблица 13 – Калибровка ДТОЖ

U _{Тож} , В	0	0,156	0,313	0,469	0,625	0,781	0,938	1,094	1,25	1,406	1,563
T _{ож} , °С	138,3	104,2	77,2	63,2	52,8	45,5	40	35,6	30,3	27,6	24
U _{Тож} , В	1,719	1,875	2,031	2,188	2,344	2,5	2,656	2,813	2,969	3,125	3,281
T _{ож} , °С	21,2	18,1	15,4	13,3	10,7	7,9	4,8	1,3	-1,7	-5,3	-8,7
U _{Тож} , В	3,438	3,594	3,75	3,906	4,063	4,219	4,375	4,531	4,688	4,844	5
T _{ож} , °С	-12,4	-15,8	-19,7	-23,5	-27,5	-31,1	-35	-41	-48	-58,4	-74,4

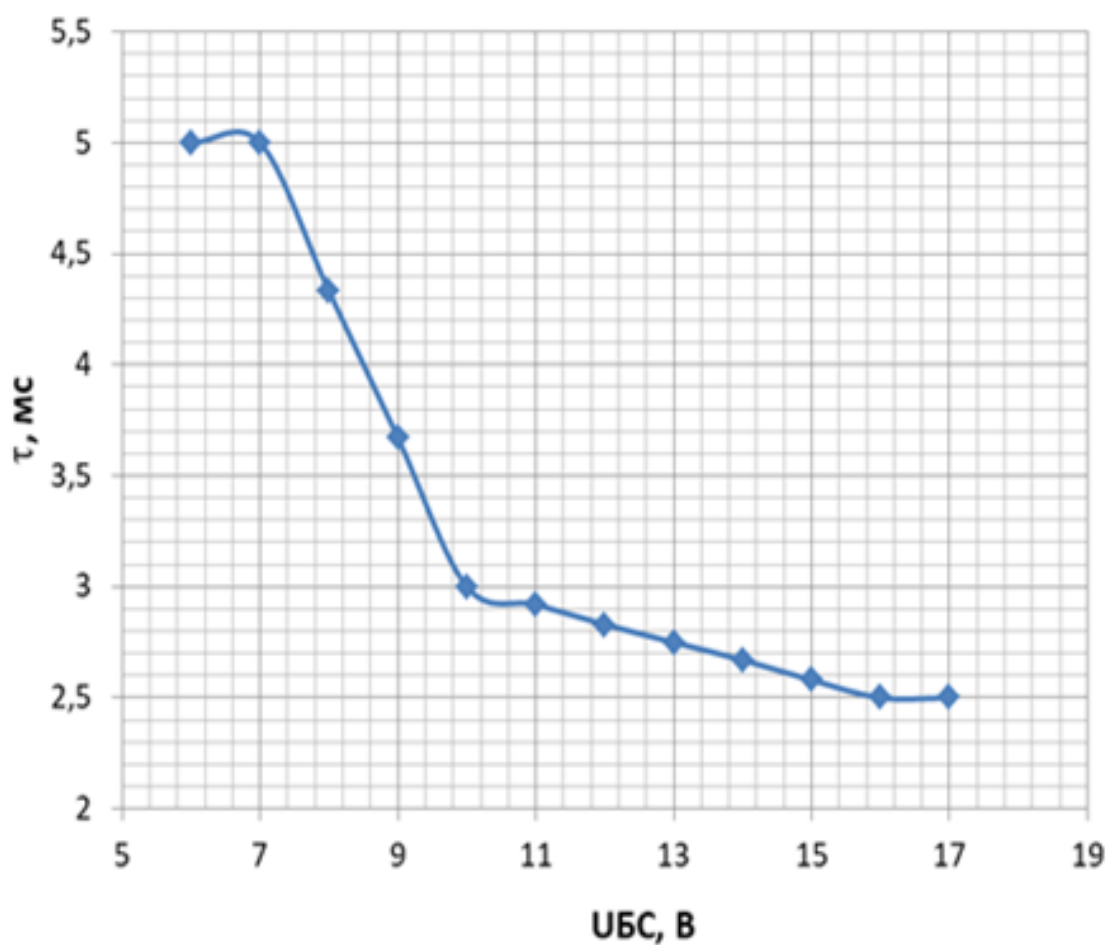


Рисунок 23 - Время накопления в зависимости от величины напряжения бортовой сети

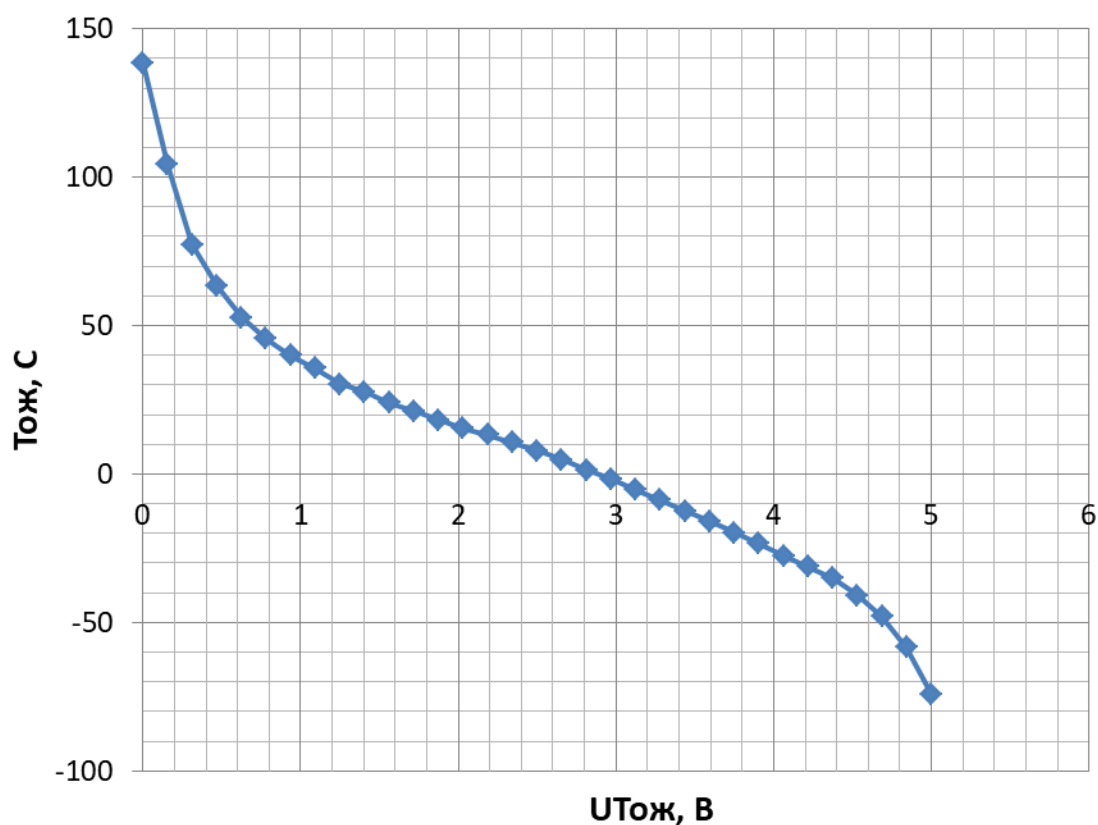


Рисунок 24 – Зависимость напряжения (UТож) от температуры охлаждающей жидкости (Тож)

Датчик кислорода OSP+ № 25368889 (ф.Delphi)

Таблица 14 – Калибровка датчика кислорода

UDk, В	0,06	0,079	0,098	0,118	0,137	0,156	0,2	0,325	0,45	0,56	0,648
Знач. Dk	1,262	1,183	1,103	1,051	1,029	1,023	1,016	1,01	1,009	1,008	1,007
UDk, В	0,693	0,72	0,732	0,744	0,756	0,768	0,781	0,793	0,805	0,817	0,829
Знач. Dk	1,008	1,006	1,006	1,006	1,004	1,003	1	0,997	0,992	0,988	0,982
UDk, В	0,841	0,853	0,865	0,877	0,889	0,902	0,914	0,926	0,933	0,94	
Знач. Dk	0,977	0,97	0,957	0,944	0,927	0,901	0,874	0,848	0,83	0,816	

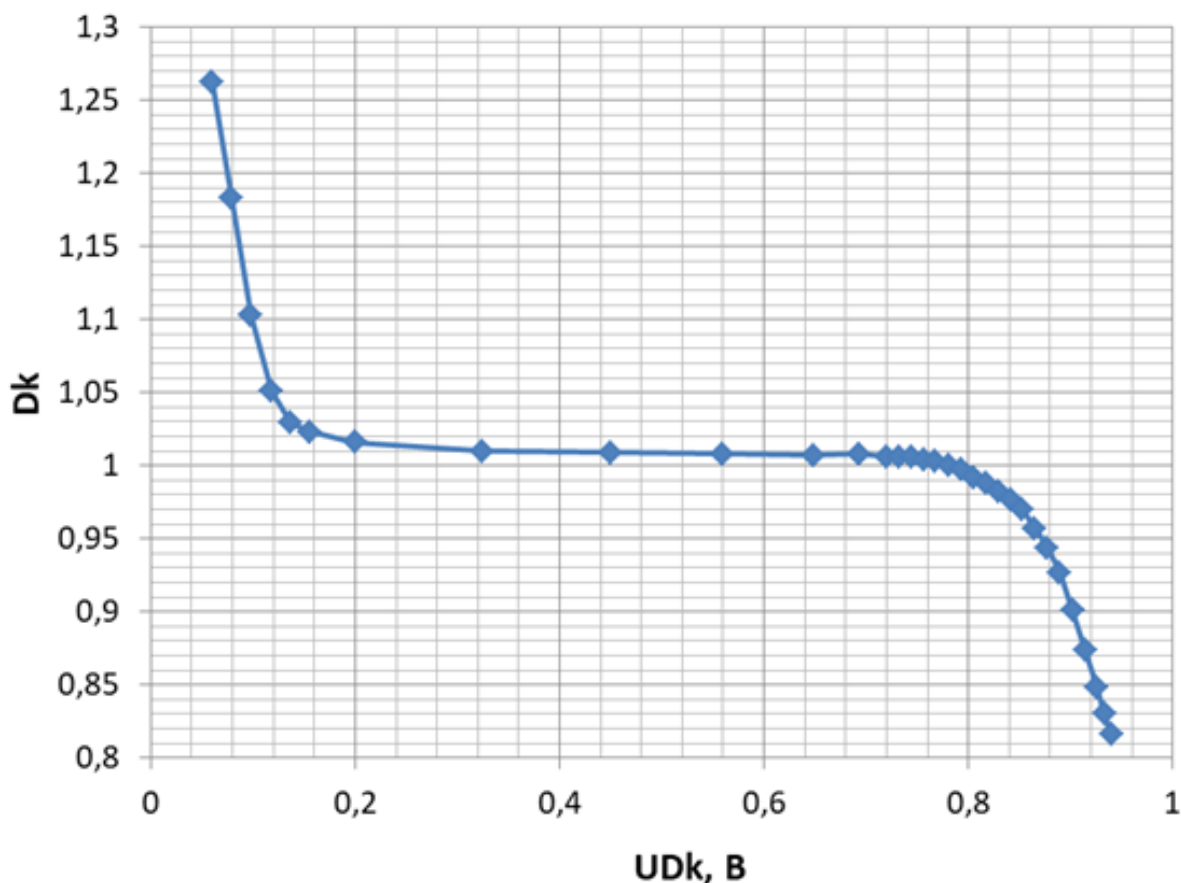


Рисунок 25 – Зависимость напряжения (UD_k) от коэффициента избытка воздуха (D_k)

3.9 Требования по охране труда

Перед проведением экспериментальных работ разрабатывается и утверждается инструкция по охране труда. К работам допускаются лица, которым провели инструктаж, который регистрируется в журнале.

3.10 Результаты испытаний

В виде протоколов представлены первичные испытания и результаты.

Изменение удельного эффективного расхода топлива (нагрузочная характеристика) рисунок 26. Для минимальной токсичности отработавших

газов выбирались параметры регулирования двигателя, такие как состав смеси α , угол опережения зажигания и др.

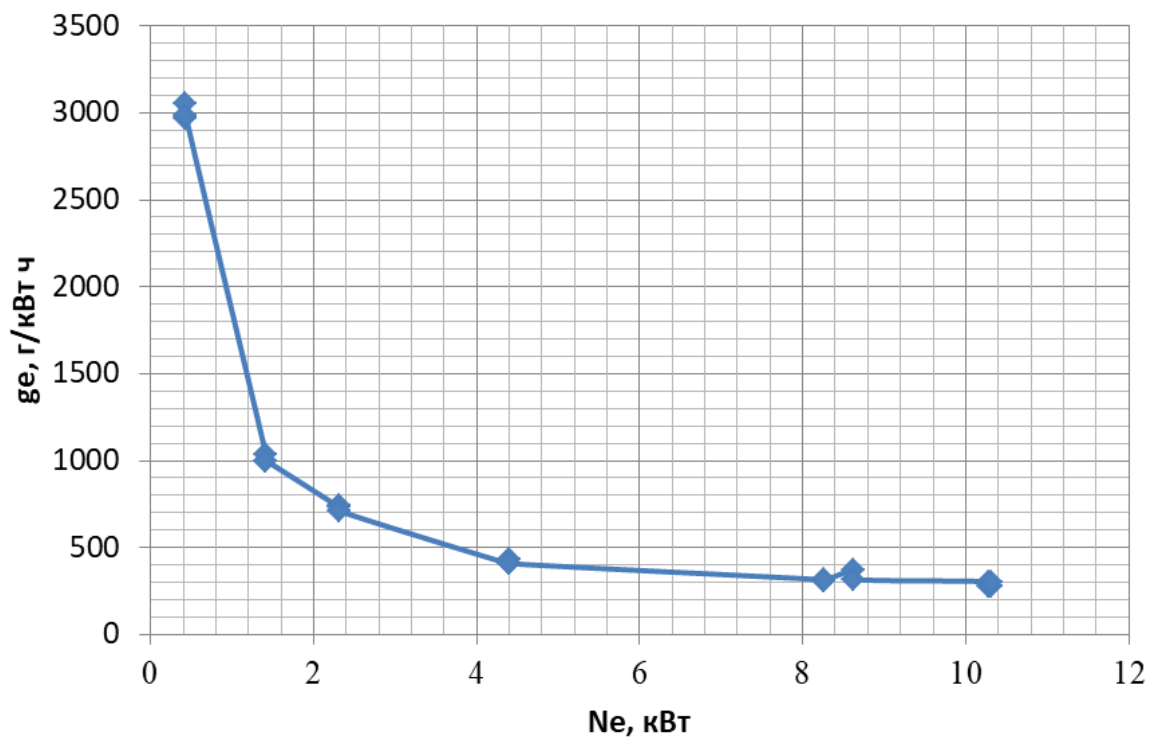


Рисунок 26 – Удельный эффективный расход топлива ($n = 3000 \text{ мин}^{-1}$)

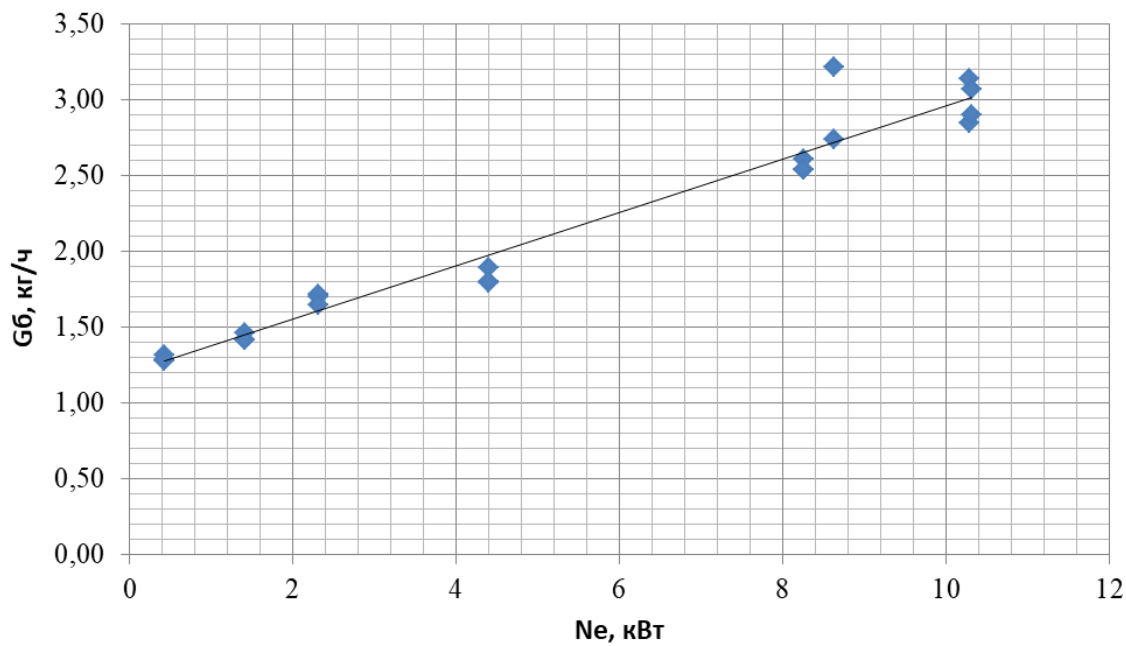


Рисунок 27– Зависимость часового расхода топлива ($n = 3000 \text{ мин}^{-1}$)

В таблице 15 результаты оценки токсичности отработавших газов и их сравнение с нормами ГОСТ 31967 -2012.

Таблица 15 – Удельные средневзвешенные выбросы токсичных компонентов

Параметр	Результаты испытаний	Норма удельных средневзвешенных выбросов при постановке на производство	
		до 2016 г.	после 2016 г.
Удельный средневзвешенный выброс оксидов азота (NO_x), $g_{NO} / (кВт \cdot ч)$	1,26	10	6
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO), $g_{CO} / (кВт \cdot ч)$	1,25	3,5	1,5
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH), $g_{CH} / (кВт \cdot ч)$	0,127	1	0,4

Делаем выводы, по результатам экспериментальных работ, о возможности выполнения действующих норм токсичности двигателем GK194MS попадающего под действие требований ГОСТ 31967-2012 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения» и ГОСТ ISO 8178-4-2013 «Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 3. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах».

4 Техническое описание и технические характеристики АЭСУ

Автономная электрогенераторная силовая установка «РЕЗЕРВ» (далее - АЭСУ) предназначена для использования в составе электромобиля и использования для выработки электроэнергии для зарядки/подзарядки тяговых аккумуляторных батарей электромобиля (далее - АКБ) в случае

отсутствия возможности зарядки АКБ от электрических сетей или иных источников электроэнергии.

АЭСУ эксплуатируется в составе электромобиля, предназначенного для перевозки пассажиров и различных грузов по дорогам всех технических категорий, рассчитанного на эксплуатацию при температурах окружающего воздуха от плюс 55°С до минус 40°С и относительной влажности воздуха 100% при плюс 25°...35°С при запылённости воздуха до 1,0г/м³, в том числе по дорогам, расположенным на высоте не более 2700м над уровнем моря при соответствующем снижении экономичности двигателя внутреннего сгорания АЭСУ (далее – ДВС АЭСУ).

АЭСУ используются в качестве источников питания постоянного/переменного тока напряжением 60 /380 В при автономной зарядке тяговых АКБ электромобиля.

АЭСУ применяются для решения следующих основных задач:

- используется в качестве источника питания постоянного/переменного тока напряжением 60 /380. В при автономной зарядке тяговых АКБ электромобиля в случае отсутствия возможности зарядки АКБ от электрических сетей или иных источников электроэнергии, в том числе – при обеспечении возможности продолжения движения электромобиля с одновременным осуществлением процесса автономной зарядки /подзарядки тяговых АКБ электромобиля;
- используются в качестве аварийного / резервного источников питания постоянного / переменного тока напряжением 60/380. В широкого применения на территориях или в зонах, где какие-либо иные источники электроэнергии недоступны.

АЭСУ состоит из следующих компонентов (узлов, агрегатов блоков):

- бензиновый ДВС;
- генератор;

- ЭСУД;
- электрооборудование;
- система диагностики;
- несущая рама.

На рисунках 28 – 33 представлены виды вид АЭСУ

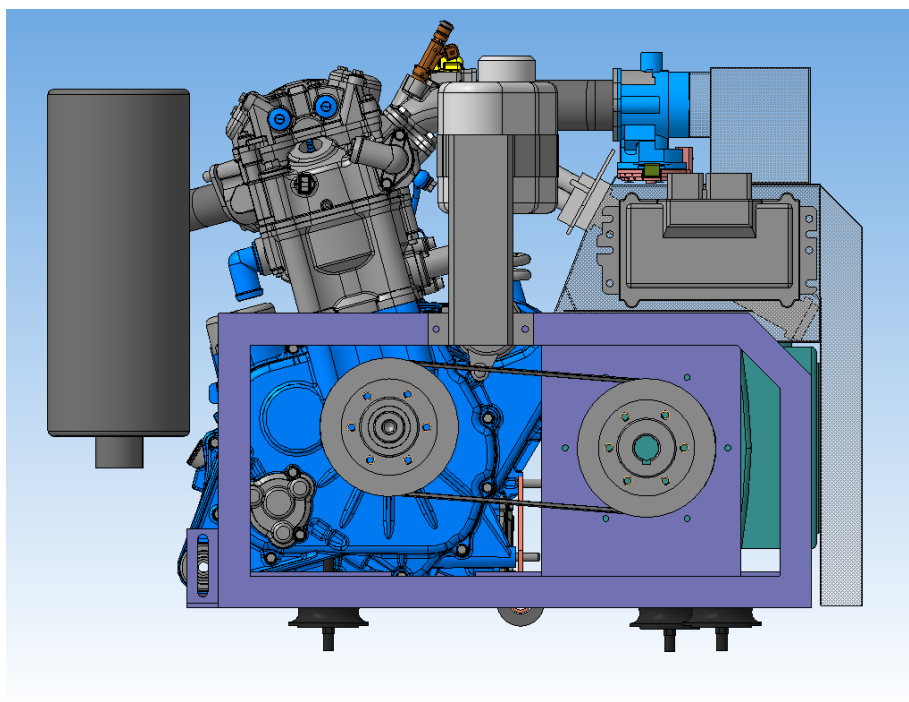


Рисунок 28 – Вид спереди

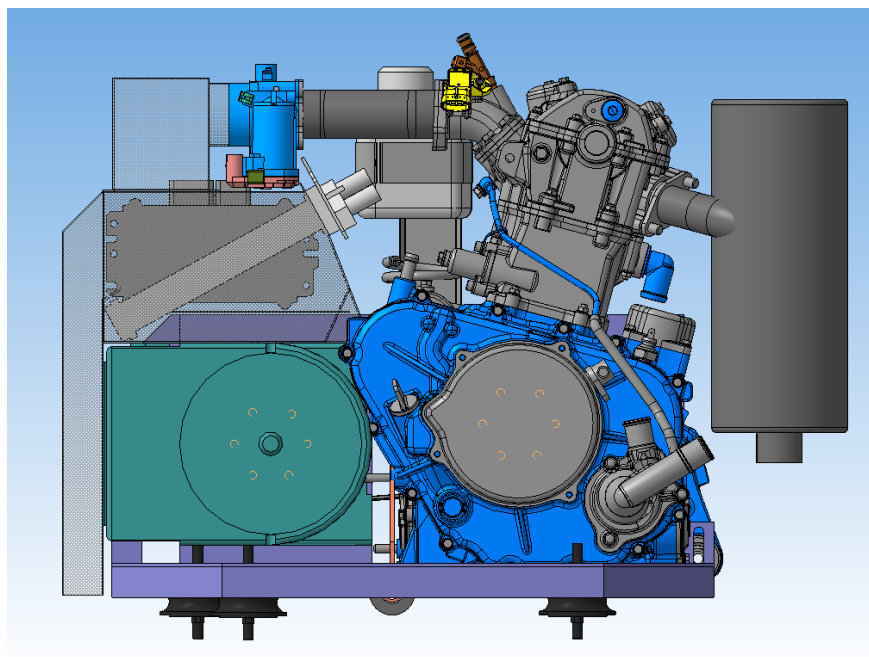


Рисунок 29 – Вид сзади

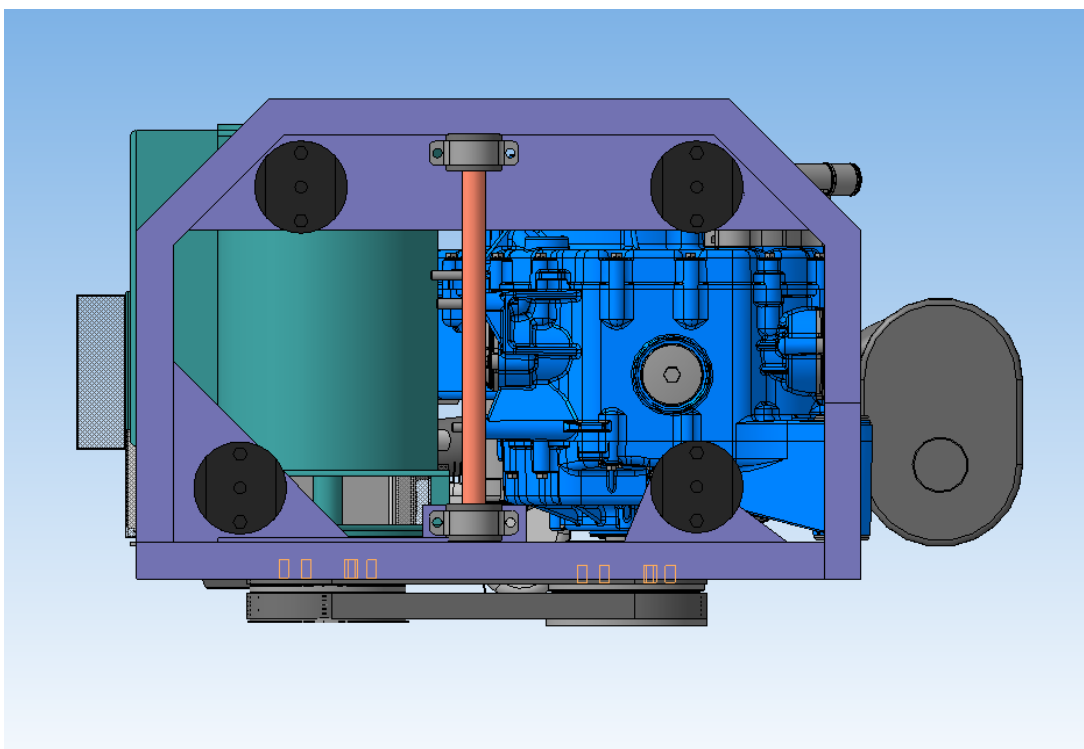


Рисунок 30 – Вид снизу

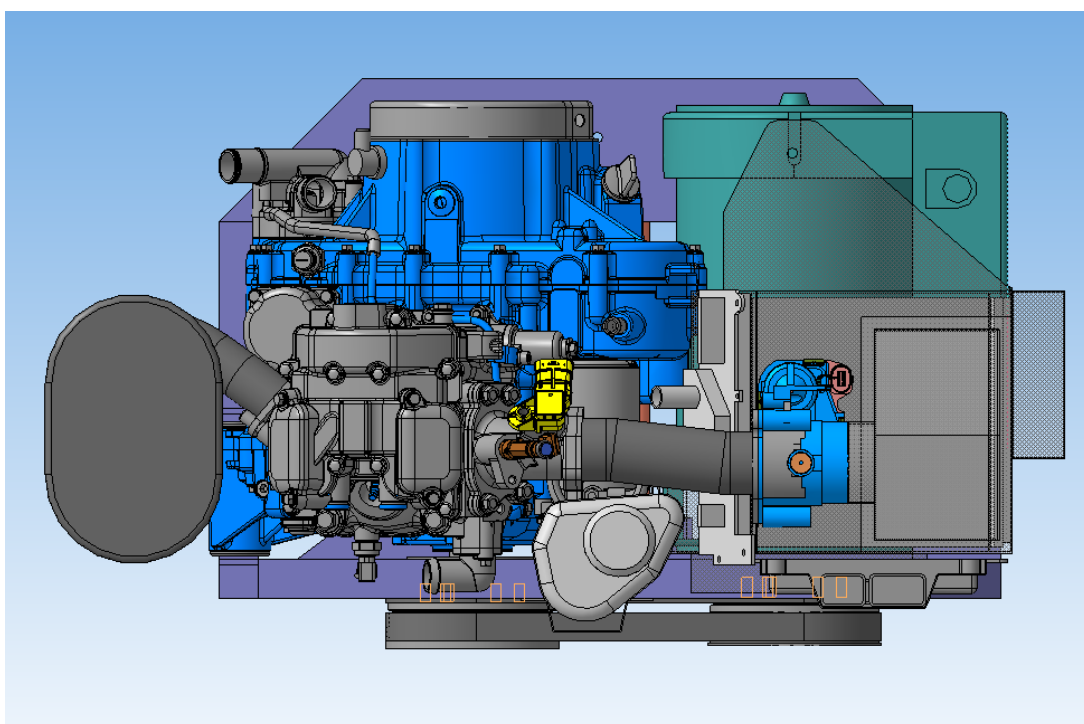


Рисунок 31 – Вид сверху

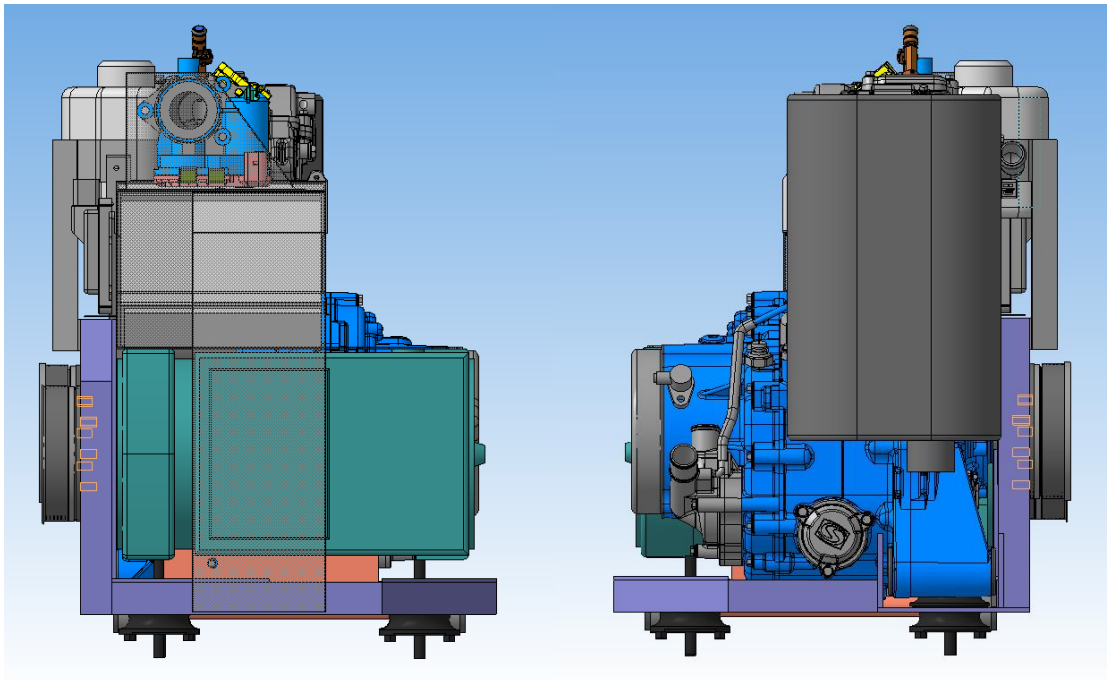


Рисунок 32 – Вид справа и слева соответственно

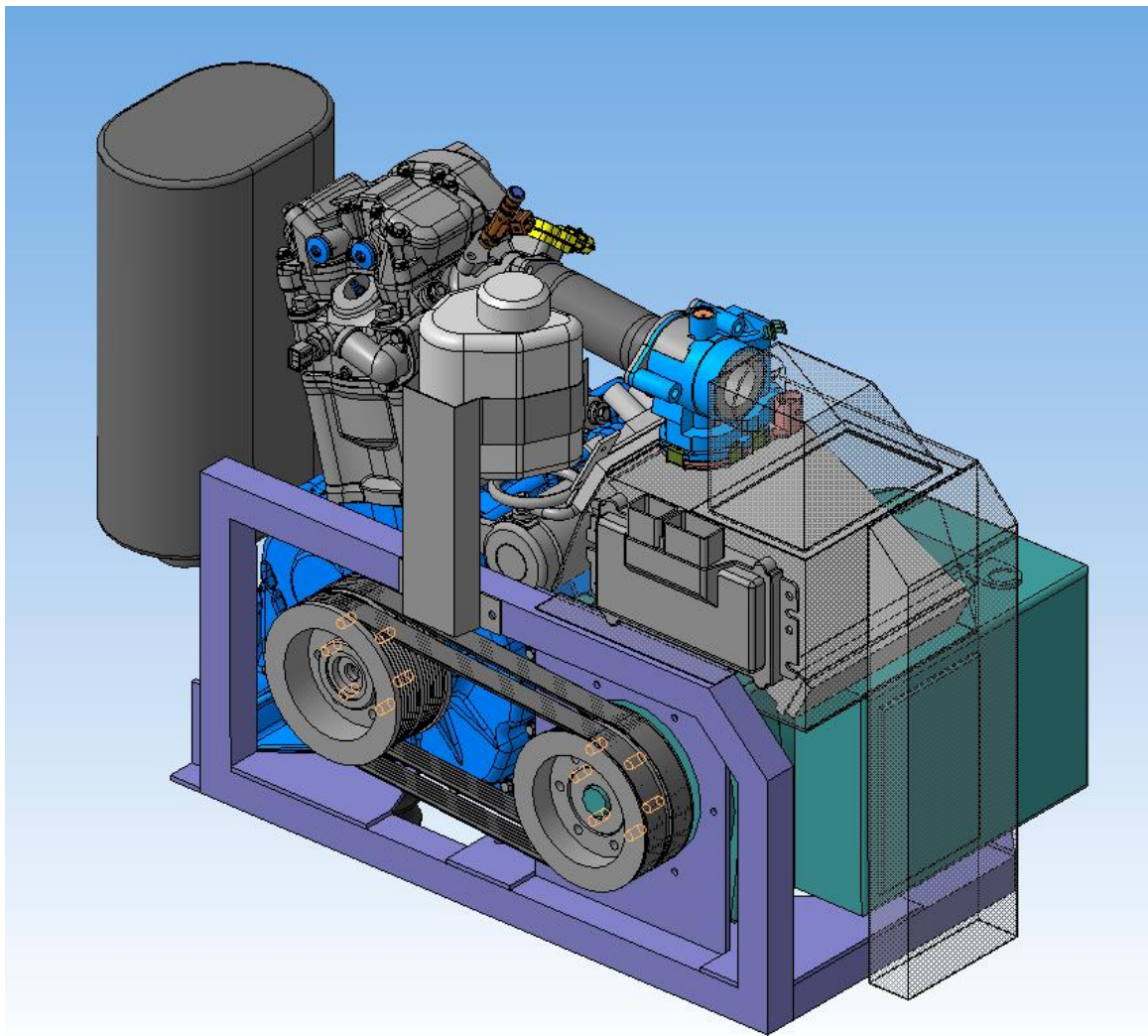


Рисунок 33 - Общий вид АЭСУ

4.1 Назначение

АЭСУ предназначена для использования в составе электромобиля и обеспечивает зарядку батарей электромобиля в случае отсутствия возможности зарядки от электрических сетей.

Состав АЭСУ. АЭСУ состоит из следующих компонентов (узлов, агрегатов блоков):

- несущая силовая рама для монтажа элементов конструкции;
- поршневой двигатель внутреннего сгорания (ПДВС);
- генератор синхронный/асинхронный постоянного/переменного тока;
- муфта или ременная передача, соединяющая ПДВС и генератор;
- система подачи и питания топливом силовой установки;
- электронная система управления силовой установкой (ЭСУ)
- система автоматического поддержания частоты вращения при принятии/снятии нагрузки;
- автономная система энергоснабжения с базовым напряжением 12В;
- система контроля работы и диагностики;
- система дистанционного управления;
- система пуска и останова, в том числе и экстренных.

Для обеспечения требований по шуму конструкцией АЭСУ и ее несущей рамы предусмотрена возможность размещения АЭСУ в шумоизолирующем кожухе.

Для обеспечения требований по токсичности отработавших газов (ОГ) конструкцией ДВС АЭСУ и ее несущей рамы предусмотрена возможность оснащения АЭСУ системой нейтрализации ОГ.

Номинальная мощность АЭСУ при нормальных условиях 5 ± 2 кВт

Используемое топливо – бензин неэтилированный марки АИ-92-К4(К5) по ГОСТ 32513 или марки АИ-95-К4(К5) по ГОСТ 32513.

Время выхода на рабочий режим работы не более $5 \pm 0,5$ мин.

Время непрерывной работы $5 \pm 0,5$ часов;

Конструкция АЭСУ обеспечивает стабильный пуск, надежную и устойчивую работу, сохранение своих технических характеристик при:

- температуре окружающей среды от - 30 до + 50 °С;
- давлении окружающей среды (760 ± 40) мм.рт. ст.;
- относительно влажности воздуха от 20 до 70 %.

Система и конструкция АЭСУ обеспечивает возможность ускоренных пусков и нагружений длительностью не более 5 мин.

Время пуска и нагружения АЭСУ согласованно с условиями работы оборудования электромобиля.

Допустимая пиковая нагрузка не более 10 % от заявленной мощности АЭСУ длительностью не более 1-го часа.

Снижение фактической мощности в процессе эксплуатации в течение межремонтного периода не превышает 5 % номинальной.

Электронная система управления двигателем АЭСУ.

Управление пусками, остановами и работой под нагрузкой осуществляется дистанционно с приборной панели установки.

САУ обеспечивает:

- автоматический пуск с выходом на режим заданной нагрузки;
- стабилизацию заданного режима;
- автоматическое регулирование частоты вращения;
- контроль параметров АЭСУ;
- аварийную сигнализацию.

Система диагностики АЭСУ выполняет следующие информационные функции:

- предоставление информации на дисплеи в объеме, достаточном для контроля за работой АЭСУ;
- сигнализацию аварийных ситуаций.

АЭСУ имеет клапан, обеспечивающий полное прекращение подачи топлива по команде САУ.

В течение межремонтного периода показатели надежности составляют:

- средняя наработка на отказ 40 ч;
- коэффициент надежности пуска не менее 0,9;
- вероятность безотказной работы системы за время работы в течение 500 ч не менее 0,95.

Критерием предельного состояния являются разрушения, при которых невозможно выполнение заявленных параметров и характеристик.

Критериями отказов являются видимые или невидимые разрушения элементов, проявляющиеся в появлении посторонних звуков, течи эксплуатационных жидкостей, стуков и невыполнении заявленных характеристик.

Ресурс АЭСУ:

- средний ресурс между капитальным ремонтом 500 ч;
- ресурс до списания 3000 ч.

В течение периода работы 1000 ч, а также в период регламентных работ допускается замена отказавших элементов из состава запасных частей (ЗИП). Заявленный ресурс АЭСУ выполняется при условии соблюдения правил ее эксплуатации, технического обслуживания и хранения.

4.2 Техническая характеристика двигателя и его систем

Техническая характеристика двигателя его представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Техническая характеристика двигателя

Тип	Параметр
Бензиновый, с впрыском топлива и воспламенением от искры	
Число цилиндров	1
Число тактов	4
Расположение цилиндров	Вертикально
Рабочий объем двигателя, л	0,6
Степень сжатия	9,8
Направление вращения коленчатого вала (со стороны шкива)	левое
Номинальная мощность брутто по ГОСТ 14846, кВт.	10
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	3000 ± 100
Минимальная частота вращения коленчатого вала холостого хода, мин ⁻¹	1400± 100
Максимальная частота вращения коленчатого вала холостого хода, мин ⁻¹	5500 ± 50
Максимальная рабочая частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	5500 ± 50
Система подачи топлива	Впрыск бензина электромагнитными форсунками во впускные каналы головки цилиндров.
Воздушный фильтр	С сухим сменным фильтрующим элементом
Система вентиляции	Закрытая, с клапаном, ограничивающим разрежение в картере двигателя

Продолжение таблицы 16

Система смазки	Комбинированная (под давлением и разбрызгиванием)
Масляный фильтр	Полнопоточный, неразборный, тонкой очистки
Система охлаждения	Жидкостная, закрытая, с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости
Термостат	Одноклапанный, с температурой открытия клапана $65 (80) \pm 2$ °С
Электронная система управления	Управляет впрыском топлива и зажиганием
Датчики системы управления	
Датчик температуры охлаждающей жидкости	- Терморезистивный
Датчик давления и температуры	- абсолютного давления – встроенный пьезорезистивный элемент; температуры воздуха – терморезистивный.
Датчик синхронизации	Индукционного типа
Датчик детонации	Пьезоэлектрический
Топливная рампа	Бессливная
Дроссельный модуль	С электрическим приводом и датчиком положения дроссельной заслонки потенциометрического типа
Катушки зажигания	Индивидуальные, трансформаторного типа

Продолжение таблицы 16

Свечи зажигания	Искровые, с помехоподавляющим резистором. Зазор между электродами свечей зажигания 0,70...0,85 мм
Электрооборудование [29]	Постоянного тока, однопроводное, отрицательные клеммы источников и потребителей соединены с корпусом двигателя
Номинальное напряжение, В	12
Генератор	Со встроенным выпрямительным блоком и регулятором напряжения.
Стартер	Редукторный, с дистанционным электромагнитным включением

4.3 Эксплуатационные материалы, применяемые в двигателе

Топливо

Основное топливо – неэтилированный бензин экологического класса 5 с октановым числом 95 по исследовательскому методу по ГОСТ 32513, ГОСТ Р 51866. Допускается применение неэтилированных бензинов экологического класса 5 с октановым числом по исследовательскому методу 92 по ГОСТ 51105 и 95 по ГОСТ Р 51866, ГОСТ 32513.

Марки топлива приведены в таблице 17.

Охлаждающие жидкости

Заправочный объём системы охлаждения двигателя (объём рубашек охлаждения блока и головки цилиндров) - 1 л. Для заливки в систему охлаждения двигателя использовать охлаждающие жидкости, приведенные в таблица 18.

Таблица 17 - Марки топлива

Основное		Дублирующее		
ГОСТ 32513	ГОСТ Р 51866	ГОСТ 32513	ГОСТ Р 51105	ГОСТ Р 51866
АИ-95-К5	«Премиум Евро-95» вид III (АИ-95-5)	АИ-92-К5, АИ- 98-К5	Регуляр-92 (АИ-92-5)	«Супер Евро- 98» вид III (АИ-98-5)

Таблица 18 – Охлаждающие жидкости

Основные	Дублирующие	Температурный диапазон применения
ОЖ-40 «Лена» ТУ 113-07-02	Тосол-А40М ТУ 6-57-95	выше -40 °С
ОЖ-40 «Тосол-ТС» ТУ2422-006-36732629	«Термосол» А-40 ТУ 301-02-141	
ОЖ-65 «Лена» ТУ 113-07-02	Тосол-А65М ТУ 6-57-95	выше -65 °С
ОЖ-65 «Тосол-ТС» ТУ2422-006-36732629	«Термосол» А-65 ТУ 301-02-141	

Моторное масло

Заправочный объём системы смазки двигателя 1 л сухого двигателя.

Для заливки в двигатель применять моторные масла классов вязкости по классификации SAE и групп эксплуатационных свойств по классификации API и ААИ, как указано в таблице 19.

Таблица 19 – Классификация моторных масел

API	ААИ	SAE	Температурный диапазон применения
SG и выше (SH, SJ, SL, SM, SN и т.д.)	Б4 и выше (Б5, Б6 и т.д.)	0W-30	всесезонно, в северных районах
		0W-40	
		5W-30	
		5W-40	
		10W-20	
		10W-30	всесезонно, в средней полосе
		10W-40	
		15W-20	
		15W-30	
		15W-40	
		20W-30	всесезонно, в южных районах
		20W-40	
20W-50	лето, в средней полосе		
20			
30	лето, в южных районах		
40			
50			

Заключение

На основании результатов выполненных работ можно сделать следующие выводы:

1. Проведенный анализ показывает перспективность рынка электротранспорта и Range Extender, в мире и в РФ. Потребуется 10-15 лет чтобы значительно увеличить объемы продаж всех новых легковых автомобилей, которые имеют все шансы достигнуть 50 % от продаж. Объем продаж в некоторых странах, как Китай, страны Европейского Союза величина достигнет значения в 70%.
2. Рынок Range Extender является относительно новым, однако ряд автомобильных концернов, таких как BMW, AUDI и ряд других уже освоили серийное производство Range Extender. Следует отметить, что рынок Range Extender в РФ представлен только серийными изделиями, установленными на автомобили указанных выше концернов.
3. Расчёты целевых параметров Range Extender показал, что наиболее перспективным с позиции применения двигателя внутреннего сгорания, являются двигатели с принудительным воспламенением, с водяным охлаждением, рабочим объемом 300 – 600 см³. Следует отметить, что отечественные серийно выпускаемые двигатели такой размерности отсутствуют.
4. В ходе выполнения работ были разработаны:
 - технические требования на элементы Range Extender;
 - программа и методика определение зависимости базовых характеристик одноцилиндрового двигателя для Range Extender;
 - проведены работы по компоновочным решениям как самого Range Extender, так и в составе рамы имитирующей заднюю часть автомобиля;

- изготовлены и испытаны опытные образцы Range Extender (2 варианта мощностью 7 и 3 кВт);
 - разработана эскизная конструкторская документация на опытные образцы;
 - разработана документация необходимая для сертификации Range Extender;
 - разработана эксплуатационная документация на Range Extender;
 - разработана система диагностики Range Extender.
5. Результаты испытаний силового агрегата Range Extender показали возможность выполнения соответствия требованиям нормам токсичности Stage.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Hoofman, N., In-Life Range Modularity for Electric Vehicles: The Environmental Impact of a Range-Extender Trailer System [Electronic resource] / Nils Hoofman [et al.] // Appl. Sci.. – 2018. – Vol. 8(7). – No. 1016. – . – MDPI, 2020 – . – Режим доступа : <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/7/1016>. – Загл. с экрана.

2 Wu, D., Intelligent Hydrogen Fuel Cell Range Extender for Battery Electric Vehicles [Electronic resource] / Dongxiao Wu [et al.] // World Electric Vehicle Journal. – 2019. – Vol. 10 (29). – . – MDPI, 2020 – . – Режим доступа : <https://www.mdpi.com/2032-6653/10/2/29/htm>. – Загл. с экрана.

3 Minnrich, J.P., Mobile Range Extender Coupled with Combined Heat and Power Generation [Electronic resource] / J. P. Minnrich [et al.] // ATZ. – 2016. – Vol. 118(5). – P. 74 - 79. – ResearchGate, 2020 – . – Режим доступа : https://www.researchgate.net/publication/310466150_Mobile_Range_Extender_Coupled_with_Combined_Heat_and_Power_Generation. – Загл. с экрана.

4 Wolschendorf, J., Rzemien, K., and Gian, D., "Development of Electric and Range-Extended Electric Vehicles Through Collaboration Partnerships," SAE Int. J. Passeng. Cars - Electron. Electr. Syst. 3(2):215-219, 2010, <https://doi.org/10.4271/2010-01-2344>

5 Path to hydrogen competitiveness: A cost perspective, 2020 URL: <https://hydrogencouncil.com/en/path-to-hydrogen-competitiveness-a-cost-perspective/>(accessed on 5 October 2020)

6 Handbook of Hydrogen Storage. Edited by Michael Hirscher Copyright 2010 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-32273-2

7 Ford Transit Custom Plug-In Hybrid Breaks Cover In The UK // URL: <https://fordauthority.com/2017/09/ford-transit-custom-plug-in-hybrid-breaks-cover-in-the-uk/> (accessed on 5 October 2020)

8 Немцы представили новое поколение гибрида Audi A1 e-tron. Леонид Попов (дата обновления: 13.06.2013) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.drive.ru/news/audi/51b9bf8e94a656ca1d000039.html?amp=1> (дата обращения: 05.10.2020)

9 Электро-компакт BMW i3 // URL: https://auto.ironhorse.ru/bmw-i3_3360.html (дата обращения: 05.10.2020).

10 Немцы представили новое поколение гибрида Audi A1 e-tron. Леонид Попов (дата обновления: 13.06.2013) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.drive.ru/news/audi/51b9bf8e94a656ca1d000039.html?amp=1> (дата обращения: 05.10.2020)

11 Электро-компакт BMW i3 // URL: https://auto.ironhorse.ru/bmw-i3_3360.html (дата обращения: 05.10.2020).

12 Bassett, M., Fraser, N., Brooks, T., Taylor, G. et al., “A Study of Fuel Converter Requirements for an Extended-Range Electric Vehicle,” SAE Int. J. Engines 3(1):631-654, 2010, doi: 10.4271/2010-01-0832.

13 Bassett, M., Thatcher, I., Bisordi, A., Hall, J. et al., “Design of a Dedicated Range Extender Engine,” SAE Technical Paper 2011-01-0862, 2011, doi: 10.4271/2011-01-0862.

14 Bassett, M., Hall, J., OudeNijeweme, D., Darkes, D. et al., “The Development of a Dedicated Range Extender Engine,” SAE Technical Paper 2012-01-1002, 2012, doi: 10.4271/2012-01-1002.

15 The Electric Vehicle Outlook is Bloomberg NEF // 2020 Bloomberg Finance L.P. URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook> (accessed on 15 October 2020)

16 Какие города отказываются от машин и зачем это нужно [Электронный ресурс] // Евгений Делюкин, 26.09.2018 // URL: <https://vc.ru/future/46544-kakie-goroda-otkazyvayutsya-ot-mashin-i-zachem-eto-nuzhno> (дата обращения: 15.10.2020)

17 Рынок электромобилей в России за 9 месяцев 2019 года [Электронный ресурс] // Автостат, 11.11.2019 // URL: <https://www.autostat.ru/infographics/41715/> (дата обращения: 15.10.2020).

18 «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» (ЭС-35) [Электронный ресурс] <https://minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/>

19 Innovation in Batteries and Electricity Storage [Электронный ресурс] Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data [Electronic resource]. – IEA, 2020. – . – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/innovation-in-batteries-and-electricity-storage>. – Загл. с экрана.

20 Fuel Economy Guide [Электронный ресурс] <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2020.pdf>

21 <http://osoko.ru/> В Соединённых Штатах Америки изобретён электроприцеп [Электронный ресурс] http://osoko.ru/publ/avtonovosti/v_soedinjonnykh_shtatakh_ameriki_izobretjon_e_hlektropricer/2-1-0-21786.

22 Novate.ru - о дизайне популярно и познавательно [Электронный ресурс] <https://novate.ru/blogs/200912/21539/>.

23 Мировой разработчик в области электромобилей Electric Motors and Vehicles Company (EMAV), объявил о начале сотрудничества с Mopar - подразделением Chrysler по производству запчастей и компонентов. [Электронный ресурс] <https://www.autodela.ru/main/top/news/Electric-Motors-and-Vehicles-Company>

24 Прицеп для электрического автомобиля icarbio.ru [Электронный ресурс] <http://icarbio.ru/news/2014/july/nomadic-power-trailer.html>

25 SETIS - SET Plan information system [Электронный ресурс] https://setis.ec.europa.eu/system/files/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf

26 Electric Vehicle with Range Extender as a Sustainable Technology, «Electromobility+», 6-7 Февраля 2014 г., Копенгаген.

27 Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение автомобиля, способы расчета параметров основных потребителей: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.

28 Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации автомобилей и тракторов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Вологда: "Инфра-Инженерия", 2016. 928 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/95768>, (дата обращения: 07.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

29 Киреева Э.А., С.Н. Шерстнев, под общим ред. С.Н. Шерстнева. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов). - Москва, 2013. - 864с.

30 Бусыгин Б.П. Электромобили. Учебное пособие. МАДИ, 1979, 37 с.