

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 Анализ возможности выполнения перспективных норм токсичности REEV

Студент

Р.Р. Гумяров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., профессор Д.А. Павлов

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

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	4
Перечень обозначений и сокращений.....	6
1 Экологические стандарты «Евро 0 - 6» для автомобилей с ДВС, которые используют в качестве топлива бензин	7
2 Применение альтернативных топлив для выполнения перспективных норм токсичности	11
3 Тенденции развития электромобилей.....	17
3.1 Современное состояние рынка электромобилей.....	17
3.2 Типы электромобилей.....	23
3.3 Электромобили BEV.....	24
3.4 Электромобили PHEV	27
3.5 Принцип работы plug-in hybrid.....	30
3.6 Преимущества использования plug-in hybrid	31
3.7 Электромобили HEV.....	32
3.8 Электромобили REEV.....	36
4 Методика оценки эффективности и расчет параметров REEV	45
4.1 Анализ результатов расчета, при работе электромобиля REEV ...	63
5 Методика оценки эффективности и расчет параметров REEV	71
5.1 Анализ результатов расчета, при работе электромобиля REEV....	71
6 Экспериментальная оценка экономических и экологических показателей REEV.....	79
6.1 Общие положения.....	79
6.2 Цель испытаний.....	79
6.3 Объект испытаний.....	79
6.4 Условия проведения испытаний.....	80

6.5 Методика испытаний.....	80
6.6 Программа испытаний.....	83
6.7 Комплектация ЭСУД двигателя и характеристика датчиков и исполнительных механизмов.....	84
6.8 Результаты испытаний.....	88
Заключение.....	90
Список используемых источников.....	91
Приложение А Формулы для расчета REEV двигателей на КПГ.....	95

Введение

На сегодняшний день автомобили являются одной из неотъемлемых частей в жизни человека. Автомобили ежедневно делают жизнь человека в разы комфортнее и проще. Большое число автомобилей, которые оснащены ДВС, негативно влияет на окружающую среду, экологию. Современные стандарты требуют существенного ограничения выброса в атмосферу NO_x , ТНС, CO_2 , NMHC. Россия в 2005 году ратифицировала Киотский регламент по сокращению выбросов в окружающую среду углекислого газа (CO_2).

Согласно этому, тема данной работы по выполнению норм токсичности стандарта REEV бензиновыми двигателями, на сегодняшний день, является приоритетной.

Задачи, которые будут решены при выполнении работы, которые помогут обеспечить выполнение поставленных целей:

- изучение состояния данного вопроса по выбранной теме диссертации на данный промежуток времени;
- определение и отработка зависимостей вредных токсичных компонентов с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, которые работают на КПП, бензине, в условиях стенда по испытаниям моторов;
- обработка и сопоставление результатов, которые будут получены в исследовании перспективными и действующими нормами по токсичным выбросам;
- подготовка необходимого перечня требований и рекомендаций для осуществления усовершенствования представленного двигателя.

Объектом исследования является электромобиль с увеличенным запасом хода REEV.

Предметом исследования являются показатели экологичности и топливной экономичности электромобиля.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное определение соответствия требованиям перспективных норм токсичности электромобиля, оснащенного REEV.

Научная новизна данной работы:

- предложенная методика оценки токсичности выбросов отработанных газов двигателя позволяет существенно сократить выбросы показателя CO₂ в атмосферу;

- проведены сравнительный анализ влияния на экологические показатели электромобиля, оснащенного REEV, различных видов топлив (бензин, КПГ).

Практическая значимость работы:

- результаты работы могут быть использованы при проектировании и создании электромобилей REEV, дают возможность спрогнозировать развитие предложенного способа улучшения экономических и экологических параметров двигателя, но и также отметить наиболее перспективные направления их исследования.

Публикации:

По теме данного исследования была опубликована статья в издании «Научный альманах» № 4-1 (76) «Анализ влияния видов топлива на режимы работы REEV».

Структура магистерской диссертации:

Данная диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения с основными результатами и выводами, содержит 24 рисунков, 9 таблиц, списка использованных источников (30 источников), 1 приложение. Основной текст изложен на 94 страницах.

Перечень сокращений и обозначений

В данной работе применяются следующие сокращения и обозначения:

АКБ – аккумуляторная батарея;

ГИБДД РФ – государственная инспекция безопасности дорожного движения Российской Федерации;

ООН – организация объединенных наций;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

КПД – коэффициент полезного действия;

СПГ – сжатый природный газ;

BEV – это электромобиль с батарейным питанием;

PHEV — это гибридный автомобиль с электромотором и ДВС;

NEV — это тип гибридного электромобиля и транспортного средства, который одновременно сочетает электрическую силовую установку;

1 Экологические стандарты «Евро 0 - 6» для автомобилей с ДВС, которые используют в качестве топлива бензин

Согласно данным ГИБДД РФ на 1 марта 2021 года всего в регионах России было зафиксировано приблизительно 56 миллионов транспортных средств. Из которых 86% (или 48,16 млн) – являются легковыми автомобилями, а 7,84 млн – это коммерческие легковые автомобили.

Ежегодно происходит ужесточение экологических требований к эксплуатации и производству автотранспортных средств. Был введен запрет на применение в процессе производства автомобилей опасных и вредных веществ, таких как: кадмий, свинец, фреоны, кобальт, 6-валентный хром).

Непрерывно ужесточаются требования к содержанию токсичных веществ в отработанных газах двигателей – окислов азота (NO_x), окиси углерода (CO). На сегодняшний день также актуально сокращение выбросов углекислого газа (CO_2). Данный показатель связан с расходом топлива в автомобилях и разрушением озонового слоя.

«Проблема, связанная с экологичностью отработанных газов автотранспортных средств, впервые возникла в 60-х годах двадцатого века в тот момент, когда автомобили получили наиболее широкое использование. Многие страны Европы, которые находились на сравнительно маленькой территории, стали первыми применять требования и экологические стандарты для автомобилей.

Самым первым стандартом, который был введен, стал Евро-0. Данный стандарт был введен в 1988 году Европейской экономической комиссией ООН, который требовал сокращения уровня окисла азота, углерода и других вредных веществ в выхлопных газах» [26].

Россия придерживается стандартам токсичности, установленным в Европе, но, к сожалению, их реализация отстает на 6-7 лет. На рисунке 1 показаны проценты загрязнения выхлопными газами в зависимости от типов транспорта.

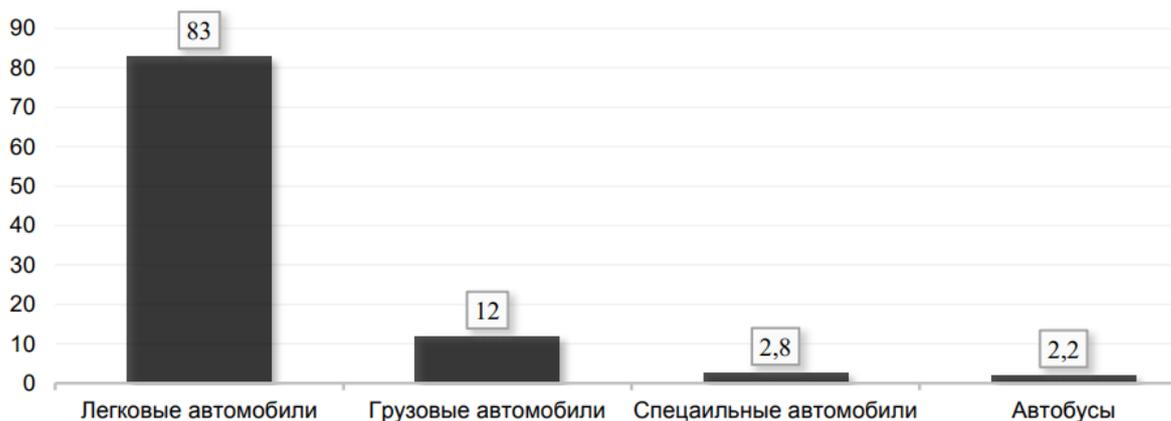


Рисунок 1 – «Процент загрязнения выхлопными газами» [1]

«Европейские экологические стандарты довольно строго ограничивают предельное количество загрязняющих атмосферу и токсичных веществ в отработавших газах автомобилей. Очередной новый стандарт «Евро» все более сильнее ужесточает данные ограничения, сокращая интенсивность загрязнения планеты» [3].

Европейскими экологическими стандартами строго регулируется выброс представленных ниже веществ:

- Оксид углерода (CO),
- Углеводороды (CH),
- Твердые частицы (PM),
- Количество твердых частиц (PN);

Рассмотрим основные ограничения по стандарту «Евро – 0»:

- CO (окись углерода): 11,2 г/кВт-ч,
- NO_x (оксиды азота): 14,4 г/кВт-ч,
- CH (углеводороды): 2,4 г/кВт-ч;

Количество твердых частиц и дыма данный стандарт не регламентировал и не накладывал никаких ограничений.

«Экологический стандарт «Евро-1» был принят в 1992 году директивой 91/441/ЕЕС. Этот стандарт регулировал процентное содержание токсичных

веществ в отработавших газах таким образом, чтобы выброс углеводородов был не более 0,72 г/км, оксида углерода (CO) не более 2,72 г/км, а оксидов азота (NO_x) не более 0,27 г/км. Данный стандарт распространялся на грузовые, легковые и специальные транспортные средства, которые, в свою очередь продавались и эксплуатировались в Европейском союзе. Тех автовладельцев, чьи автомобили не могли соответствовать новым нормам, обязали немедленно модернизировать свои автомобили путем установки каталитических нейтрализаторов для достижения необходимых предельных значений выбросов по новому стандарту «Евро-1». В противном случае нарушение этого стандарта влекло за собой наложение штрафов» [3].

«Экологический стандарт «Евро-2» был введен в Европейском союзе в 1996 году» [20]. Согласно вновь введенному стандарту, действовали совершенно новые ограничения по количеству веществ в выхлопе, а именно:

- CO (окись углерода): не более 2,8 г/км,
- CH (углеводороды): не более 0,5 г/км,
- NO_x (оксиды азота): не более 0,15 г/км;

В 2005 году данный стандарт был введен в России. К тому же были наложены ограничения на импорт автомобилей, которые не могли соответствовать новому стандарту.

Экологический стандарт «Евро-3» был принят в Европейском союзе в 2000 году. Стандарт «Евро-3» еще больше ужесточил требования и сократил допустимый лимит выбросов, примерно на 40%:

- CO (окись углерода): не более 2,3 г/км,
- CH (углеводороды): не более 0,2 г/км,
- NO_x (оксиды азота): не более 0,08г/км;

Экологический стандарт «Евро-4» был введен в Европейском союзе в 2005 году. Данный стандарт ужесточает требования к содержанию опасных веществ на 70%, относительно предыдущего стандарта., а именно:

- CO (окись углерода): не более 1,0 г/км;

- CH (углеводороды): не более 0,1 г/км,
- NO_x (оксиды азота): не более 0,08 г/км;

Сокращение выбросов до норм, предусмотренных новым стандартом, достигалось благодаря применению специальных нейтрализаторов либо фильтров очистки выхлопных газов. Это позволило уменьшить выбросы токсичных веществ почти в 2 раза.

Экологический стандарт «Евро-5» был введен в Европейском союзе в 2009 году для легкового транспорта. Основные ограничения стандарта «Евро-5»:

- CO (окись углерода): не более 1,0 г/км,
- CH (углеводороды): не более 0,1 г/км,
- NO_x (оксиды азота): не более 0,06 г/км;

В России стандарт «Евро-5» начал действовать на все автомобили с начала 2016 года.

«Экологический стандарт «Евро-6» был введен в Европейском союзе в 2015 году для легкового транспорта. Согласно данному стандарту, выбросы углекислого газа легковыми автомобилями должны будут составлять меньше 130 граммов на один километр пути» [18]. Основные ограничения стандарта «Евро-6»:

- CO (окись углерода): не более 1,0 г/км,
- CH (углеводороды): не более 0,1 г/км,
- NO_x (оксиды азота): не более 0,06 г/км;

«В России стандарт «Евро-6» начал действовать на все автомобили с июня 2019 года» [5].

2 Применение альтернативных топлив для выполнения перспективных норм токсичности

Для поддержания и улучшения экологической обстановки во всем мире были введены новые специальные экологические стандарты, которые характеризуют все транспортные средства по количеству токсичных веществ, выброс которых производится в атмосферу. В России, на сегодняшний день, начиная с июня 2019 года, продолжает действовать стандарт «Евро-6». Установленные предельно максимальные нормы выбросов и градация автомобильного транспорта по классам позволяют нам существенно уменьшить количество выбросов и осуществлять контроль за эксплуатацией и производством транспортных средств.

Для выполнения более жестких стандартов контроля за выбросами автомобилей, потребуются транспортные средства, работающие на альтернативном топливе.

Предполагается, что для этого могут потребоваться специализированные и оптимизированные системы, которые используют абсолютно новые стратегии управления для того, чтобы достигнуть необходимые значения по количеству выбросов, согласно экологическим стандартам.

На сегодняшний день существуют следующие основные виды альтернативных топлив:

- Сжиженный нефтяной газ.

«Сжиженный нефтяной газ уже пытались использовать в качестве топлива для автомобилей. К примеру, в конце 1990-х годов Opel, Volvo, а также ряд других производителей предлагали его в качестве выбора для своих двухтопливных моделей. Такие автомобили запускались на бензине, а затем, после прогрева, переходили на сжиженный нефтяной газ. В континентальной Европе и в других частях мира «СНГ», или «автогаз», как его часто называют, остается третьим по популярности видом топлива после

бензина и дизельного топлива. Он производит меньше вредных выхлопных газов, и он в два раза дешевле, чем бензин. Однако нужно учитывать его большой расход – ровно в два раза по сравнению с обычным жидким бензином» [13];

- Водород,

«Водород – топливо, которому уже много десятилетий пророчат большое будущее, которое никак не хочет наступать. С одной стороны, известно, что из выхлопной трубы заправленного водородом автомобиля будет вылетать только водяной конденсат, но, с другой, также хорошо изучено, что выделение (производство) водорода крайне дорого (дороже бензина и уж тем более газа), к тому же его хранение взрывоопасно, по крайней мере, в баллонах под давлением, а в специальных ячейках безопасно, но дорого. Топливный элемент автомобиля работает путем объединения водорода из бака с кислородом для производства электроэнергии, на которой работает двигатель. Фактически автомобиль имеет свой собственный бортовой генератор, а не держит электроэнергию в батарее» [22];

- Биоэтанол,

«Биоэтанол получается в процессе переработки растительного сырья для использования в качестве биотоплива. Полученный этанол затем смешивается с бензином или дизельным топливом для получения нового типа топлива, которое может быть использовано в большинстве автомобилей с ДВС как с небольшими конструкционными изменениями, так и без. Количество биоэтанола, смешанного с ископаемым топливом, колеблется от 10% (E10) до 15% (E85). С экологической точки зрения использование биоэтанола имеет смысл, поскольку углекислый газ, который он производит при сжигании в двигателе, компенсируется газами, поглощенными им во время его производства. Недостаток – повышенный расход» [30];

- Сжиженный природный газ.

«В мире насчитывается около 20 миллионов транспортных средств, использующих СПГ (сжатый под большим давлением до жидкого

состояния природный газ). Многие из них – автобусы и грузовики, которые работают в городских условиях, что позволяет им свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду. СПГ на 75% уменьшает выбросы твердых частиц в атмосферу по сравнению с дизельным топливом, а также создает меньше углекислого газа, чем бензин, и до 90% меньше оксида азота» [25];

- Биодизель.

«Плюсом биодизельного топлива можно считать то, что его получают из восстанавливаемых органических элементов. В зависимости от поколения биодизеля (всего их три) топливо могут получать из рапса и других сельхозкультур, из жиросодержащих отходов и из липидов микроводорослей. Промышленное производство биодизеля обходится дороже, чем получение дизельного топлива из нефти, поэтому этот вид горючего прижился слабо. Плюс к этому биодизель сложно назвать нейтральным веществом – растворяющие свойства у него получше будут, чем у обычного дизеля, поэтому фильтры нужно менять чаще, чтоб они не пришли в негодность» [27];

- Пропан.

«Важно отличать пропан от сжиженного газа. Пропан можно назвать СПГ, но не весь СПГ состоит из пропана. Немногие автомобили работают исключительно на пропане, и большинство из них используют его как биотопливо, где они работают сначала на бензине, а затем переключаются на пропан, чтобы уменьшить выбросы. Поскольку пропан – это газ, ему нужен большой резервуар для хранения достаточного его количества. Двигатель будет сжигать на 27% больше пропана, чтобы достичь той же мощности, что и бензин. Стоит также отметить, что пропан работает наилучшим образом в холодных климатических условиях» [29];

Для осуществления улучшения показателя экономичности двигателя и снижения количества вредоносных выбросов в атмосферу нужно непременно

воздействовать на его рабочий процесс. Диаграмма сравнение видов топлива представлена на рисунке 2.

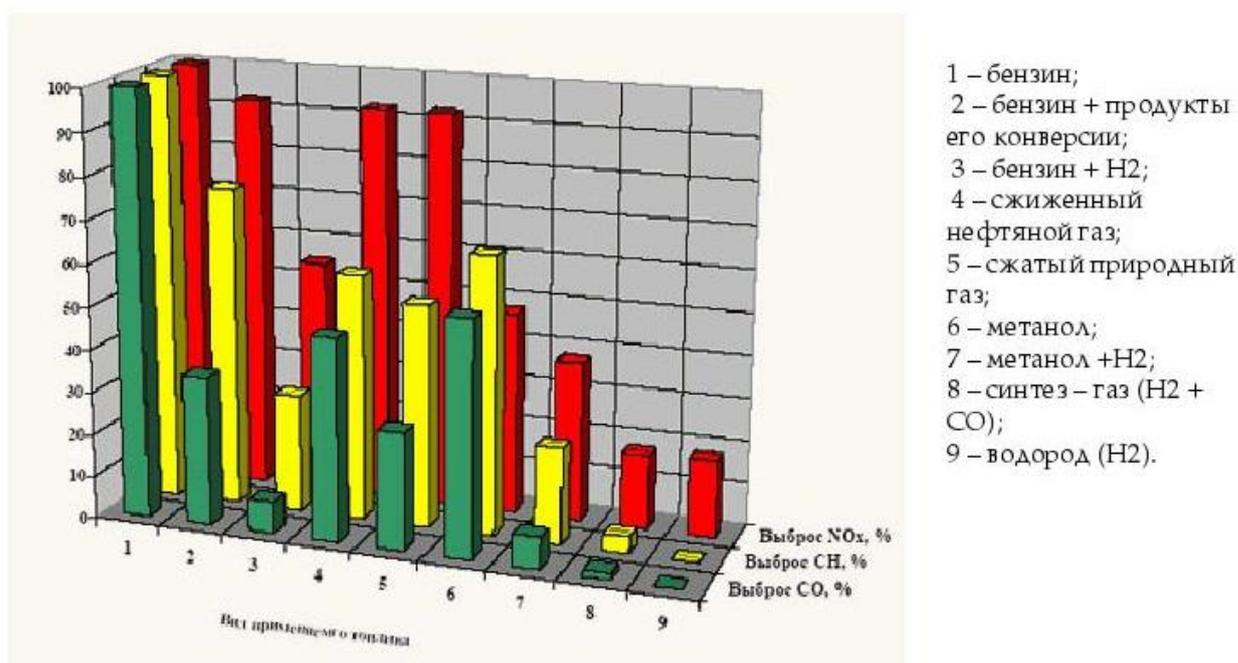


Рисунок 2 – «Сравнение показателей выбросов различных видов топлива» [2]

Из данной диаграммы видно, что в отличие от бензина, показатели выбросов у которого самые высокие, водород практически не выделяет вредных выбросов в окружающую среду, что является немаловажным критерием для выбора топлива.

Силовые агрегаты, которые используют газ в виде топлива, имеют значительно более высокий коэффициент полезного действия (КПД), в отличие от агрегатов, работающих лишь на бензиновом топливе. У природного газа самым главным компонентом является метан. Октановое число у него приблизительно равно 115 – 130. По данной характеристике можно существенно увеличить в силовом агрегате степень сжатия.

За прошедшие 10-15 лет газовые двигатели применяются все больше и больше, в частности, в различных газопоршневых установках, гибридных установках, такие как стационарные и транспортные. На рисунке 3 показаны

некоторые зависимости определенного ряда параметров работы ДВС, при осуществлении работы двигателя на бензине и природного газа с добавлением водорода.

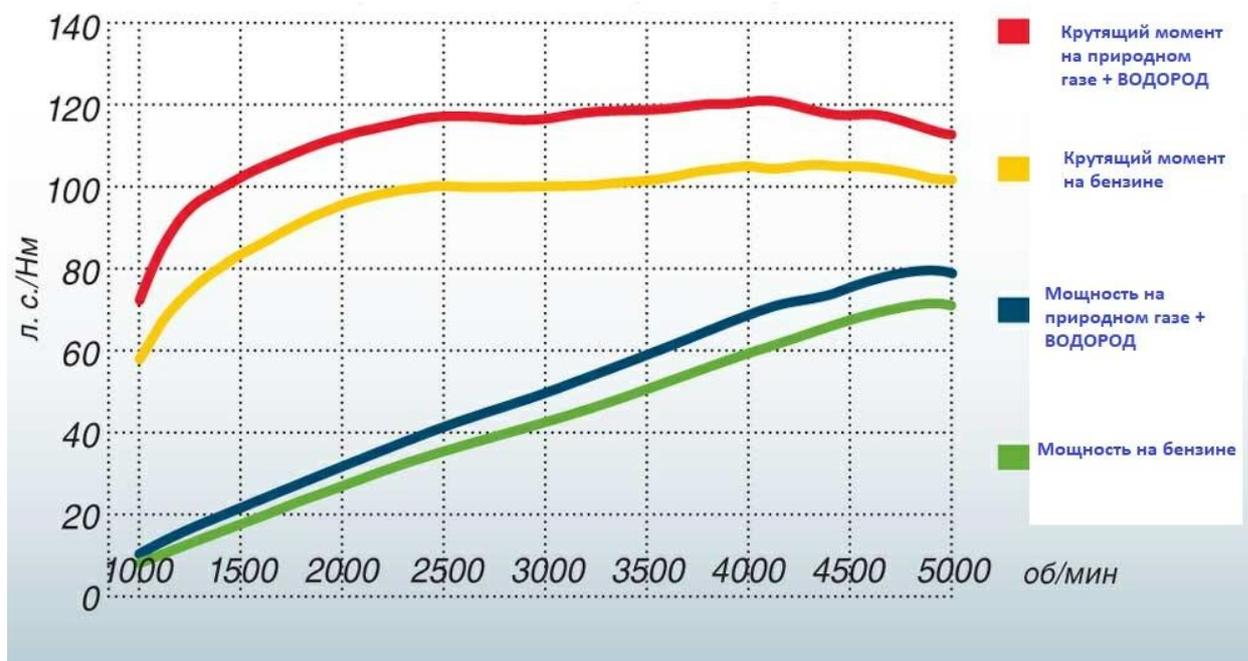


Рисунок 3 – «Внешние скоростные характеристики работы ДВС на бензине и природном газе с добавлением водорода» [4]

Абсолютно точно стоит отметить, что добавки водорода в двигатель без смены режима работы способствуют не только улучшению качества сгорания топлива, но и способствуют выполнению экологических норм. Однако, за что и ценится водород, так это за возможность перевода работы двигателя в наиболее экономичные режимы. Водородная энергетика была сформирована как направление развития технического прогресса в середине 80-х годов двадцатого столетия. По ходу того, как увеличивалась область различных исследований, которые связаны с использованием водорода, его получением, хранением, становились более очевидными экологические преимущества водорода в разнообразных областях. Неоднократные успехи в развитии водородных технологий ярко показали, что при использовании водородного топлива показатели в работе агрегатов и систем выходят на

новый уровень. Выполненные технические и экономические исследования показали: водород - вторичный энергоноситель, то есть он стоит на порядок больше, нежели привычные природные топлива. Однако его применение во многих случаях экономически более целесообразно уже на данный момент. Исходя из этого, работы по вопросу водородной энергетике во многих странах относятся к наиболее приоритетным направлениям развития техники и науки, и так же находят весьма немалую финансовую поддержку. «Английская компания ITM Power создала компактный и, относительно недорогой электролизёр для осуществления заправки автотранспорта водородом. Необходимо заметить, что данный проект ITM Power был направлен на использование водородного топлива для ДВС, что соответственно организовать намного дешевле и проще, нежели переход машин на силовые установки, которые используют водородное топливо. Кроме того, на ближайшие несколько лет компания рассматривает водород только в виде дополнительного топлива, дешёвого и удобного решения, которое, в свою очередь поможет смягчению изменения климата и сокращению выбросов парниковых газов. Однако стоит заметить, что в отличие от двухтопливной BMW - 7, где сам водород хранится в криогенном баке в жидком состоянии, и от двухтопливной модели Mazda RX-8, которая в свою очередь питается водородом, находящимся в газообразном состоянии, которые хранится под давлением 350 атмосфер. Электролизёр от фирмы ITM Power потребляет от штатной сети мощность в 10 киловатт. На первых испытаниях одна заправка, произведенная от данного электролизёра, дала возможность опытному автомобилю пройти путь аж в 40 километров на одном лишь водороде, после чего ДВС плавно перешёл на бензин. О дате старта производства домашней заправки, абсолютно точно ничего утверждать нельзя, однако британцы хотят уже в следующем году запустить серийный выпуск некой линейки электролизёров» [10].

3 Тенденции развития электромобилей

Актуальность и необходимость внедрения электродвигателей вместо двигателей внутреннего сгорания, разумеется, можно обосновать различными способами. Одним из самых простых способов является разность в коэффициенте полезного действия (КПД). ДВС являются менее эффективными, нежели электродвигатели. «Данный момент можно увидеть на примере грузоподъемных механизмов и тяжелой техники, т.е. там, где используются электродвигатели довольно большой мощности для обеспечения механического движения.

3.1 Современное состояние рынка электромобилей

Главной проблемой использования электротехнических решений в транспорте является портативное питание. Аккумуляторные батареи слишком дороги, для того чтобы использовать их гораздо чаще, нежели сгораемое топливо» [8].

Несмотря на то, что проблема загрязнения городов довольно сильно ужесточает требования к экологичности обычного автомобильного топлива, современный мир так и не перешел полностью к гибридным видам транспорта на 100%.

Ограниченное количество запасов нефти в мире, а особенно в ЕС, и, следовательно, экономические риски необходимо рассматривать как одни из самых важных движущих сил для сокращения зависимости от ископаемого топлива и необходимости в разработке абсолютно новых альтернативных вариантов и решений. Для решения тех проблем, которые возникают в ходе разнообразных рекламных стратегий альтернативных видов транспортных средств, нужно проанализировать аналогичную политику в области электрического транспорта. Исследовательская работа в области питания электромобилей крайне актуальна на сегодняшний день. В России рынок

электромобилей только начинает свой рост. Однако тенденция развития показывает, что рано или поздно, но значимая часть городского автотранспорта будет преобразована в электротранспорт.

«Очевидно, что в настоящее время ДВС практически достигли своего теоретического предела по экономичности и экологическим показателям, и дальнейшее значимое улучшение этих показателей вряд ли возможно. Такие показатели, как надежность и стоимостные показатели ДВС не имеют теоретического предела, но динамика их развития достигла такого состояния, когда даже незначительное их улучшение требует все больших временных и материальных затрат и уже не представляется экономически целесообразным.

В то время как перспективы развития и усовершенствования автомобильных электродвигателей и аккумуляторов представляются весьма обширными, а объему ресурсов, требуемые для такого развития в настоящее время имеют отрицательную динамику. Всё это позволяет уверенно прогнозировать уменьшение доли автомобилей в ДВС в будущем и рост числа электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой. Сектор гибридных автомобилей претерпел качественные изменения. Появляется все больше гибридных автомобилей, в которых ДВС перестает быть основным двигателем, и ему все чаще отводится вспомогательная роль. Подобные гибридные автомобили могут уже заряжать аккумуляторы от внешних источников питания и использование внутреннего ДВС для этой цели уже не является необходимым» [28].

«А этот факт, в свою очередь позволяет ряду аналитиков относить такие автомобили к «электрическим» и учитывать их в статистических обзорах именно как электромобили. Основным сдерживающим фактором для расширения сектора электромобилей на данном этапе становится не малая емкость аккумулятора, а недостаточно развитая инфраструктура для их использования. Поощрительные программы для владельцев электромобилей, принятые правительствами ряда стран и существенно более низкая стоимость

эксплуатации привели к тому, что более высокая на данном этапе цена электромобиля уже утрачивает значение фактора, удерживающего потребителя от покупки» [3].

«Согласно расчетам Vygon Consulting из доклада «Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития» только за счет экономии на топливе за 5 лет (при ежегодном пробеге в России стоимость владения электромобилем за пять лет может быть сопоставима со стоимостью владения бензиновой машиной. Для Европы, где стоимость топлива существенно выше, этот срок будет меньше» [24].

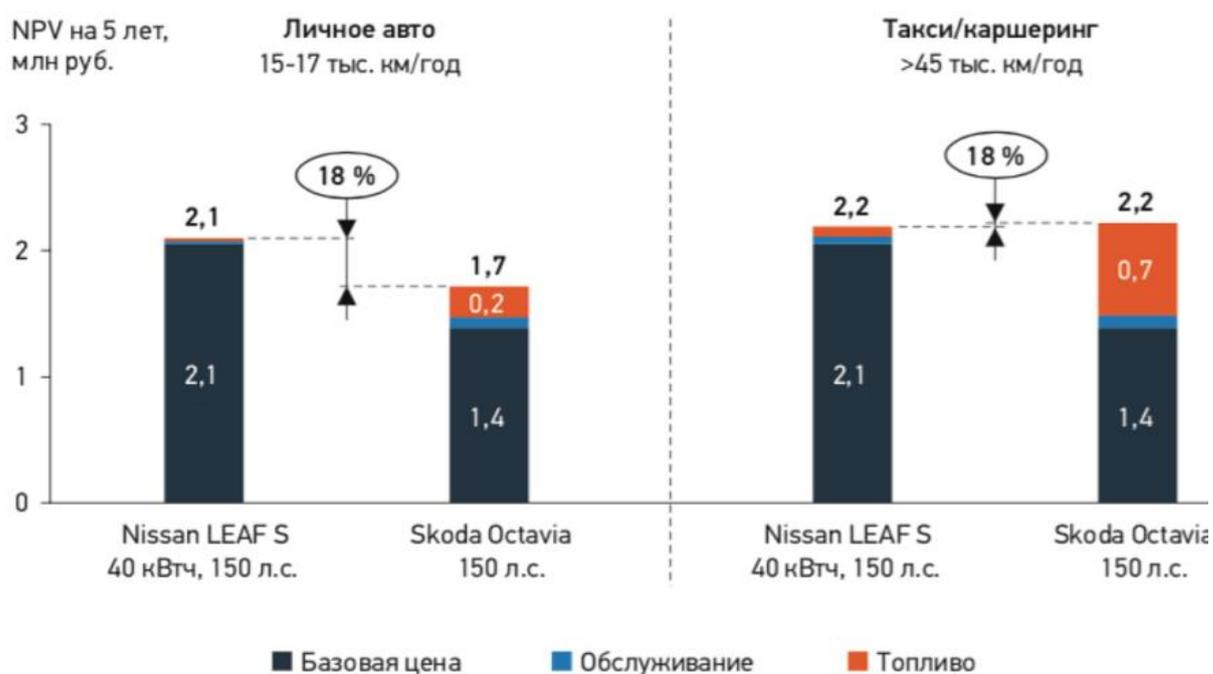


Рисунок 4 – «Сравнение использования топлива и энергии на личном автомобиле и каршеринге» [3]

«На первое место, в качестве фактора, удерживающего от покупки электромобиля выходят сложности с подзарядкой на трассе (недостаточное количество зарядных станций), существенно большее время зарядки, и еще не сформировавшаяся до конца инфраструктура обслуживания электромобилей.

Тем не менее, тот факт, что уже согласованы стандарты зарядного интерфейса автомобилей, позволяет надеяться, что решение этих проблем – вопрос недалекого будущего. При оценке динамики роста автомобилей следует принимать во внимание, во-первых, тот факт, что эта динамика пока еще очень неравномерна по странам мира и регионам. Лидеры, такие как США или Китай демонстрируют впечатляющий рост, в то время как в странах третьего мира и даже в некоторых странах Евросоюза (например, Кипр) электромобиль все еще остается редкой экзотикой. Во-вторых, само понятие «Электромобиль» еще до конца не сформировалось, и некоторые эксперты относят к Электромобилям, как автомобили только с электрическим двигателем, так и гибридные автомобили с возможностью внешней подзарядки. В то время, как другие готовы под термином «электромобили» понимать машины с исключительно электрической силовой установкой» [3].

«Тем не менее, независимо от подхода можно увидеть сходную картину экспоненциального роста для любого сектора этого рынка. Так по данным EV- volumes, который под термином «Электрокар» понимает как чисто электрические автомобили (BEV), так и гибриды (PHEV), в 2014 году объем рынка «электрокаров» (а именно BEV+PHEV) в период с 2014 по 2020 год вырос почти в 19 раз. Со 170 тыс. до 3.2 миллиона в год. При этом средний ежегодный рост на всем протяжении этого периода составлял 50+-10%, что говорит об экспоненциальном росте» [15].

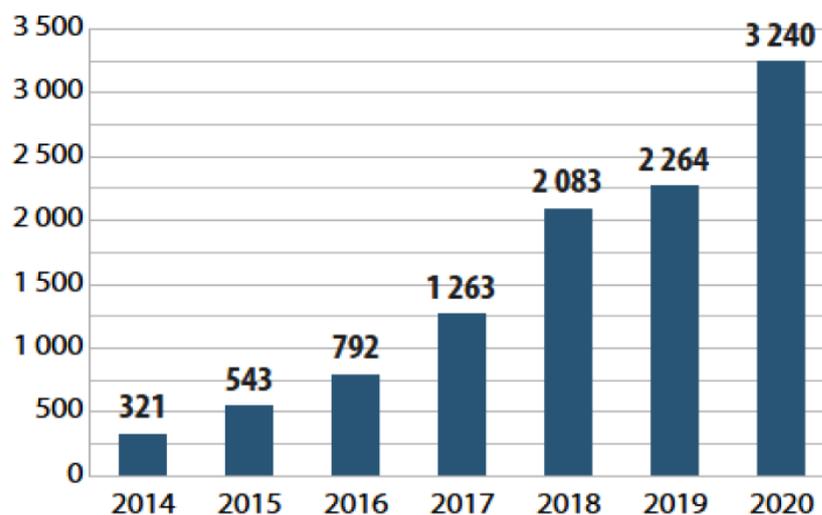


Рисунок 5 – «Динамика мирового рынка электромобилей в 2012-2020 гг., тыс. ед.» [3]

«Объем российского рынка электромобилей незначителен в сравнении с США, Китаем или европейскими странами. Его доля составляет менее 0,1% от глобального потребления. Одним из барьеров развития отечественного рынка электромобилей в России является ориентированность промышленности на добычу нефти и газа. Наличие электротранспорта в стране снижает спрос на углеводороды. Поскольку продажа продуктов нефтегазовой отрасли является основополагающим источником формирования бюджета России, то государство нельзя назвать заинтересованной стороной в массовом развитии рынка электромобилей. Объем рынка электромобилей до 2014 года не превышал ста единиц. Активный рост объемов продаж электромобилей начался с 2014 года. Серьезное влияние на увеличение потребления оказало снижение цен на популярные модели машин. Стоимость электрокаров Mitsubishi i-MiEV составляла около 1 млн руб., что 44,5% меньше, чем в 2013 году. Это стало возможно после обнуления таможенной пошлины на электромобили, которая была установлена в странах Таможенного союза. В 2015 году снижение рынка электромобилей обусловлено повышением курса национальной валюты. Поскольку стоимость электромобилей выше,

чем обычных автомобилей, то с увеличением курса доллара, цена их также значительно возросла. Об этом свидетельствует снижение российского рынка электромобилей в 2015 году на 17,1% до 116 единиц» [3].

«Распространению электромобилей в России способствует проявление интереса к ним со стороны бизнеса. Использование электромобилей в корпоративных автопарках активно рассматривается со стороны крупных логистических компаний, операторов такси и каршеринга. Например, компания экспресс-доставки DHL Express в 2015 году начала эксплуатацию машин с электродвигателями для доставки продукции и документов по Москве и Московской области, а оператор такси Яндекс Такси использует электрокары Tesla. В 2016 году отмечался спад продаж. Японскому концерну Mitsubishi пришлось прекратить поставки электромобиля популярной марки i-MiEV из-за увеличения курса йены. Заметное оживление на рынке электромобилей в России началось с 2017 года. В этом году объем продаж составил 95 единиц, что больше на 14,5%, чем в предыдущем периоде. Увеличение продаж связано с укреплением рубля и выходом на рынок новых моделей электрокаров от популярных брендов (Nissan, BMW, Jaguar и пр.). В последующие годы темпы роста развития рынка начали увеличиваться еще больше. Так, в 2018 году прирост составил 51,6%, в 2019 году – 145,1%, а в 2020 году – 94,6%. Это связывают с появлением новых моделей машин» [14].

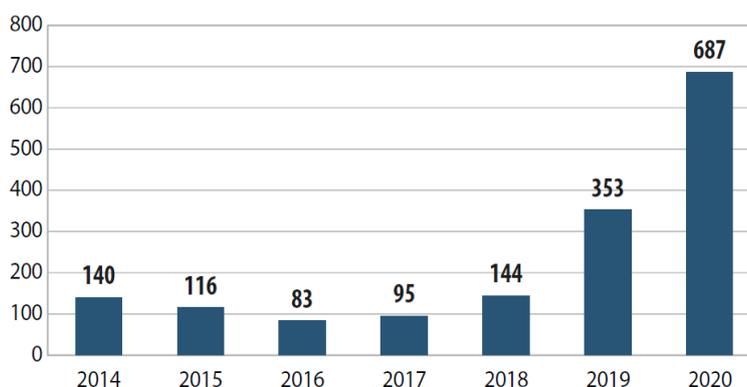


Рисунок 6 – «Динамика российского рынка новых электромобилей в натуральном выражении в 2014-2020 гг., шт.» [3]

3.2 Типы электромобилей

Рассмотрим и разберем что же из себя представляет электромобиль, какие бывают виды и действительно ли будущее в сфере автомобильного транспорта за ними. Электромобиль – это автомобиль, которого приводит в движение один либо несколько электродвигателей с использованием в качестве питания независимый источник электроэнергии, например такие как: аккумуляторы, конденсаторы, топливные элементы и т. п.), но никак не двигатель внутреннего сгорания. Электромобиль необходимо отличать как от автомобилей с электрической передачей и двигателем внутреннего сгорания, так и от трамваев и троллейбусов. Под термином электромобиль так же подразумевается автомобиль, у которого используется электрическая энергия для привода ведущих колёс, которая в свою очередь получена от химического источника тока. На рисунке 7 показаны основные типы электромобилей.

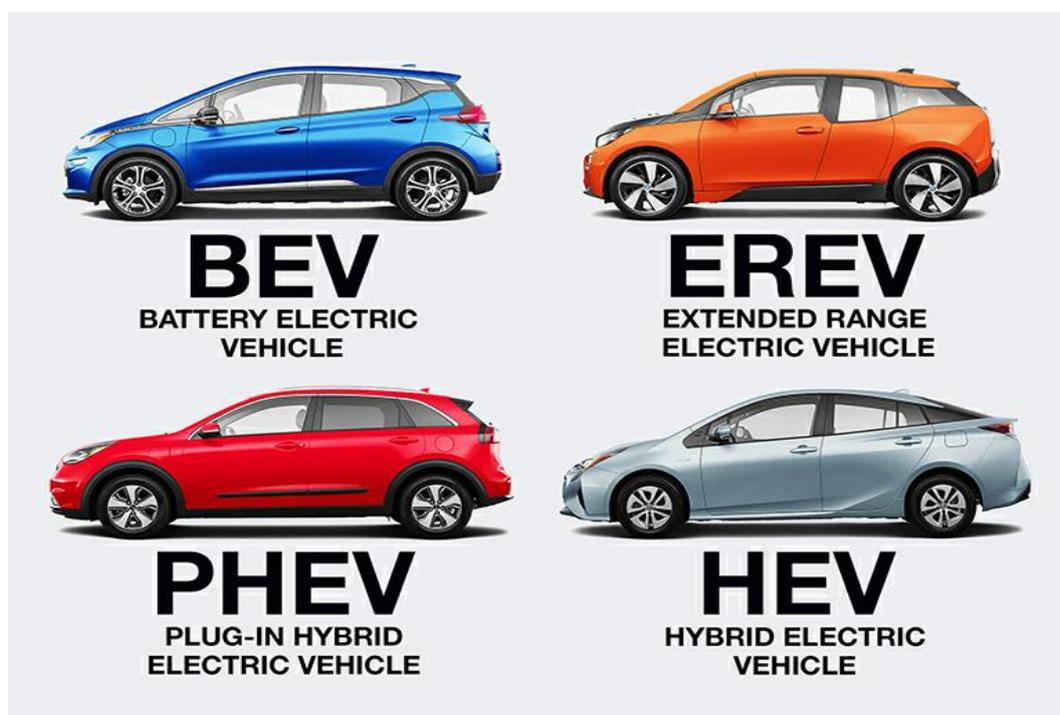


Рисунок 7 – «Основные типы электромобильной индустрии» [2]

3.3 Электромобили BEV

BEV – это электромобиль с батарейным питанием, который получает абсолютно всю энергию от своих аккумуляторов и электродвигателей. В нем полностью отсутствует ДВС. В электродвигателе используются аккумуляторы, которые производят свою зарядку от источника электроэнергии, т. е. от зарядного устройства либо от сетевой розетки. Примером такого типа электромобилей может послужить Volkswagen e-Golf. Надежный и практичный электромобиль VW e-Golf впервые выпущен в Франкфурте в начале 2013 года. Характеристики данного электромобиля:

- Ёмкость литий-ионной батареи - 36 кВт*ч;
- Пробег автомобиля без подзарядки – 300 км;
- Мощность электродвигателя - 136 л.с.;
- Время разгона с 0 до 100 км/ч – 9.6 сек.;
- Максимальная скорость – 150 км/ч;
- Годы производства: с 2017 по настоящий момент;
- Тип кузова - 5-ти дверный хетчбэк;
- Компоновка переднеприводная, переднемоторная;
- Колёсная формула: 4 × 2;
- Объем багажника – 340 л.;
- Сегмент C.

Аккумуляторные электромобили осуществляют свою работу лишь на накопленной электроэнергии. Основными компонентами такого электромобиля являются: высоковольтная батарея, один или несколько электродвигателей постоянного или переменного тока и контроллера, который необходим для управления силовой электроникой. Электродвигатель, по сравнению с ДВС, обеспечивает высокий и постоянный крутящий момент в довольно широком диапазоне скоростей,

начиная от 0 км/ч. Следовательно, большинству электромобилей BEV не нужна ни понижающая коробка передач, ни все более усложненные элементы и системы управления двигателем, которые в свою очередь были спутником ДВС и их трансмиссиям. Все эти сложные системы были внедрены для того, чтобы автомобиль мог соответствовать стандартам евро, но при этом сохранил ходовые качества. В итоге трансмиссия электромобиля более проста по сравнению с обычными автомобилями.

«Единственным действующим отечественным производителем электромобилей является АО «АВТОВАЗ». В 2012 году компания перешла от выпуска опытных образцов к мелкосерийному производству. Электромобиль разработан на базе автомобиля Lada Kalina. Технические характеристики: масса транспортного средства – 1,2 тонны, максимальная скорость – 140 км/ч, 8-часовая зарядка от обычной розетки для пробега в городском режиме. Всего была выпущена партия в 100 экземпляров. Отсутствие спроса на электромобили Lada Ellada сделали дальнейшее расширение развитие производства практически невозможным. По состоянию на 2019 год новых выпускаемых партий на предприятии не наблюдалось, поскольку завод продает электромобили Lada Ellada, которые не может реализовать с 2013 года. Цена на электромобиль составила 1,2 млн руб. При запуске в серийное производство цена снизилась бы до 700-800 тыс. руб. К основным минусам электромобиля относится недолгий срок службы аккумулятора (до 3 000 циклов подзарядки), низкий запас хода (не более 100 км на практике) и длительность заряда батареи от бытовой сети (от 8 часов). В конце 2015 года на автозаводе «Lada Ижевск» начал осуществляться выпуск электромобилей Lada Vesta EV. Новый электрокар призван заменить ранее разработанную Lada Ellada в кузове универсал» [3].

Электромобиль BEV также может изготавливаться по более меньшей цене, нежели сопоставимые автомобили, укомплектованные ДВС, но при этом используемые материалы, в основном, более дорогостоящие. Так же немаловажное отличие электромобиля BEV от автомобиля с ДВС, так это то,

что он не требует дополнительных систем, таких как, например, стартер, кпп или системы выхлопа. Исследование, которое провел «Institut für Automobilwirtschaft», показало то, что необходимое своевременное обслуживание электромобилей обходится до 33% меньше, чем у обычного ДВС. Зарядка электромобилей BEV производится от электросети, где эффективность зарядного устройства вполне может достигать показателей от 58 до 88%. Сам по себе двигатель более чем эффективен. КПД такого двигателя находится в промежутке от 84% до 96% во полном диапазоне скоростей. Преобразование с аккумулятора - постоянного тока в переменный ток для двигателя при помощи инвертора – возможно лишь с КПД в районе 94%. Этот показатель дает общий КПД более 68%. В свою очередь, эффективность автомобилей с ДВС менее 20%, но в некоторых автомобилях, использующих в качестве топлива - дизель, показатели на данный момент достигают 40%. Доступные на сегодняшний день электромобили BEV наиболее схожи с обычными автомобилями по дизайну, безопасности и комфорту. Одними из самых популярных примеров производства электромобилей являются Renault Zoe, Nissan Leaf, которые в свою очередь ведут конкурентную борьбу с Chevrolet / Opel Bolt, Tesla Model S Jaguar XJ, Mercedes S-Class и BMW 7-Series. Большое количество производителей используют уже существующие платформы для проектирования и дальнейшего производства своих электромобилей либо заимствуют конструкцию BEV из моделей, либо технологий.

CO₂ выделяется только в момент процесса производства BEV, но также необходимо отметить, что CO₂ абсолютно не выделяется самим BEV. Однако сеть, отправляющая энергию на зарядные станции BEV, для пополнения батареи все же может выделять CO₂. Учитывая этот факт, электромобили выбрасывают на 45 - 50% меньше CO₂, нежели автомобили с обычным ДВС.

3.4 Электромобили PHEV

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) — это гибридный автомобиль с электромотором и ДВС. Аккумулятор необходимо заряжать от внешних источников энергии. Как правило, аккумулятор PHEV имеет достаточно большую ёмкость, нежели чем у обыкновенных гибридов. Соответственно и запас хода на одном баке гораздо больше.

Особенности данных электромобилей:

– Абсолютно новая автономная зарядная станция для производства зарядки подключаемых к данной сети гибридов.

– Система, которую используют топливные элементы имеет ограниченный постоянный срок службы и гораздо меньшую стоимость, при сравнении ее с АКБ.

– Зарядная станция у данных электромобилей полностью автономная, именно поэтому нет никакой необходимости в местных электросетях. Данная станция полностью основана на возобновляемых источниках энергии.

– Новейшая схема МРРТ, в которой есть функция регулирования шага, применима не только к фотоэлектрической, но и к ветровой части данной станции.

Принцип работы плагин гибридного автомобиля показан на рисунке 8:

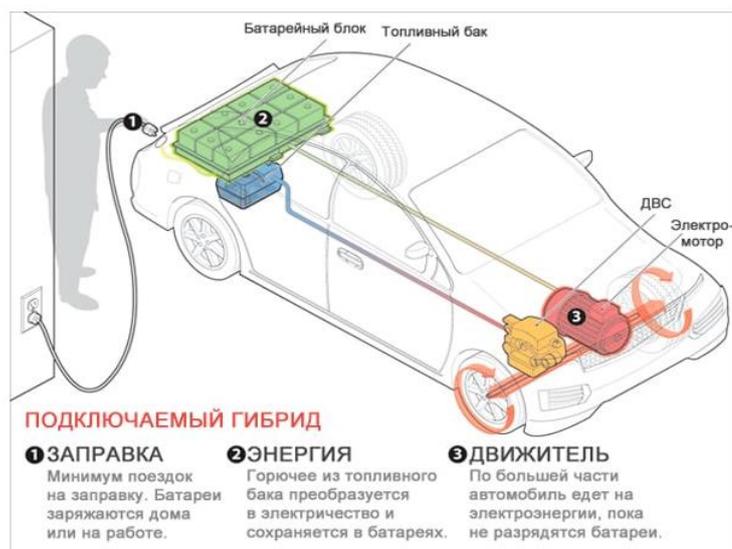


Рисунок 8 – «Принцип работы плагин гибридного автомобиля и его основные узлы» [6]

Примером гибридного электромобиля с электродвигателем и ДВС является Range Rover PHEV. Характеристики данного электромобиля:

- Пробег автомобиля:
 - без подзарядки (на электродвигателе) – 48 км;
 - без дозаправки – 827 км;
 - Мощность электродвигателя + ДВС – 404 л.с. PHEV P400e
- показывает высокие характеристики из-за успешного сочетания электродвигателя и ДВС;

- Время разгона с 0 до 100 км/ч – 6.8 сек.;
- Максимальная скорость – 210 км/ч;
- Расход топлива на 100 км – 2.8 л.;
- Выброс CO₂ – 64 г/км;
- Годы производства: с 2019 по настоящий момент;
- Объем багажника – 472 л.;

В печатных и интернет-публикациях за последнее время очень много информации о подзаряжаемых гибридах:

– Какое-то количество плагин-гибридов прошли тесты в государственных организациях и коммерческих США;

– Наиболее крупные автомобильные концерны следом друг за другом выпускают все более новые прототипы подключаемых гибридных автомобилей для того, чтобы представить их на различных международных выставках;

– некоторые автомобильные компании уже сейчас готовы поведать о дате запуска производства плагин-гибридных электромобилей.

На данный момент это никак не помогает обычному покупателю купить в личное использование такое автотранспортное средство. А все из-за очень высокой стоимости. В то время как вышел самый первый прототип плагин-гибрида, так в тот же момент и начали поступать подобные варианты автотранспортных средств от многих автопроизводителей.

Расход 2 литра бензина на 100 км это реально? Учреждение “California Cars Initiative” в 2005 году уверенно показало, что такие показатели расхода топлива вполне реальны. Родоначальники данной организации Рон Гремплен и Феликс Краплер внесли существенные изменения в модель 2004 года выпуска - Toyota Prius на плагин-гибридный прототип. Дальность пробега, данного плагин – гибрида равняется 160 км. Данную дистанцию автомобиль потратил всего лишь 3 л топлива. После осуществления данного проекта компания “CalCars” проводит кампании о появившихся преимуществах электромобилей и подзаряжаемых гибридных электромобилей для общественности, законодателей и производителей.

С каждым днем увеличивается перечень предприятий, изготавливающих модификации или специальное оборудование. Большое количество компаний проектирует и создает автомобили для использования в государственных автопарках. Однако, принимает заказы так же и от частных лиц.

3.5 Принцип работы plug-in hybrid

Основой плагин - гибридов является силовая установка, состоящая из бензинового и электрического двигателей. В плагин-гибридном электромобиле первую главную роль играет электромотор, который приводит электромобиль в движение. Бензиновый ДВС включается в работу при сильном нажатии на газ либо довольно быстром наборе скорости. Данный механизм дает плагин-гибриду следующие преимущества:

- минимальный расход топлива на 100 км движения плагин - гибрида;
- довольно большой запас хода;
- плагин – гибрид является «наиболее экологичной версией автотранспортного средства, оборудованного ДВС»;
- весьма существенная экономия топлива;
- уменьшение выбросов в атмосферу углекислого газа.

Компании по производству плагин - гибридов предлагают достаточно большой выбор модификаций. На сегодняшний день существуют несколько сотен сервисов и огромное количество оборудования. Главный секрет плагин – гибридного электромобиля заключается в аккумуляторах, а точнее в материалах их производства, а именно:

1. Свинцово-кислотные аккумуляторные являются наиболее доступными, но в то же время — уменьшает запас хода. Данный аккумулятор производит среднее количество энергии — 2,5 - 3 кВт*ч.

Минусы данного АКБ: низкая производительность (для обеспечения высокой производительности необходимо использовать более крупногабаритные блоки), недолговечность.

Плюсы данных АКБ: достаточная минимальная безопасность, доступность.

2. Никель-металлгидридные аккумуляторные батареи находятся в середине рейтинга, оставленного на основании «энергетического

разнообразия». Абсолютно нормальное соотношение аккумулированной энергии и стоимости. Данный АКБ производит примерно 4 - 5 кВт*ч.

Минусы данных АКБ: довольно невысокая (средняя) производительность.

Плюсы данных АКБ: безопасность и долговечность.

3. Литий-ионные АКБ, на данный момент, находятся на вершине эволюции аккумуляторных батарей. Запас бортовой энергии у этого типа АКБ составляет 9 кВт*ч. Благодаря этому пробег плагин-гибридного автомобиля увеличивается на 60-70 км.

Минусы данных АКБ: очень высокая стоимость (цена может достигать 12 000\$).

Плюсы данных АКБ: хороший уровень безопасности, долговечность, внушительное количество энергии, небольшой вес блоков, наращивание запаса хода.

3.6 Преимущества использования plug-in hybrid

В плагин - гибриде соединились преимущества электрокаров и обыкновенных автомобилей с ДВС. Пилоты, управляющие подключаемыми гибридными агрегатами, на относительно небольшие дистанции ездят только на электричестве. Весьма неплохо уменьшенный топливный двигатель используется только лишь для полной либо частичной подзарядки аккумуляторной батареи. Так же ДВС может быть использован как основной двигатель в автомобиле. Если учитывать экономию топлива, то плагин-гибриды, несомненно обладают внушительным преимуществом, если сравнивать с другими его версиями:

– осуществление движения на биотопливе (биодизель либо 85-процентный этанол) полностью исключает использование топлива;

– модели плагин - гибридов имеют в два раза больше экономии топлива, нежели бензиновый аналог тех же габаритов и с такими же характеристиками, а также чистого гибрида;

Мировая автомобильная промышленность все больше производит свое движение в сторону электрификации. За прошедшие 10 лет практически все крупные компании начали выпуск своих гибридных автомобилей с подзарядкой от сети. Для покупателя в России доступны плагин - гибриды 2 и 3 поколения Toyota Prius, Toyota Camry Hybrid Lexus RX450h, Lexus RX400h, Honda Civic Hybrid. В 2022 году в стране существенно возрастет количество плагин-гибридных автомобилей из-за сокращения таможенных пошлин. На данный момент б/у автомобили более популярны из-за своей стоимости. Цена же абсолютно нового плагин-гибрида приблизительно на 25-30% больше, чем его аналога, работающего на бензиновом топливе.

3.7 Электромобили HEV

Гибридный электромобиль (HEV) - тип гибридного электромобиля и транспортного средства, который одновременно сочетает электрическую силовую установку (трансмиссию гибридного автомобиля) с силовой установкой ДВС. Наличие электрического силового агрегата необходимо для достижения существенной производительности и экономии топлива. Наиболее ярким примером HEV является Toyota Prius Hybrid. Данный гибрид обеспечивает самый низкий расход топлива (бензина) (от 55 до 65 миль в час) среди автомобилей, которые используют ДВС.

К достоинствам гибрида необходимо отнести:

- максимальное значение КПД (в этом типе механизма);
- неизменные и стабильные обороты;
- существенная экономия топлива;

– можно пренебречь установкой в агрегат коробки передач и сцеплением.

– Минусами гибрида являются:

– энергия утрачивает определенное количество в процессе его преобразования;

– высокая цена аккумуляторной батареи, его вес довольно большой.

Принцип работы гибридного автомобиля представлен на рисунке 9.

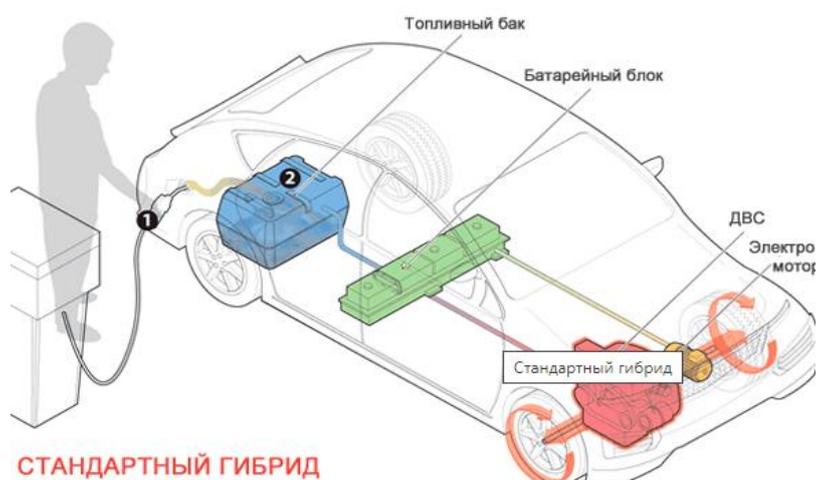


Рисунок 9 – «Принцип работы гибридного автомобиля, его основные узлы и агрегаты» [7]

Ярким и наиболее интересным примером гибридного автомобиля в мире является Audi A6 Hybrid. Успешное сочетание функциональности и красивого дизайна, элегантности и экономичности – все эти показатели описывают новый Audi A6. Вместе с данной моделью производитель претендует на лидерство в автомобильном первенстве.

Технические характеристики гибридного автомобиля Audi A6 Hybrid:

- Время разгона с 0 до 100 км/ч – 5.1 сек.;
- Максимальная скорость – 240 км/ч;
- Расход топлива на 100 км – 6.2 л.;
- Рабочий объем двигателя 2.0 л;

- Годы производства: с 2019 по настоящий момент;
- Объем багажника – 375 л.;

«Изначально идея электрической КПП, а именно замены механической КПП электрическими проводами, непосредственно была осуществлена непосредственно на большегрузных самосвалах и ж/д транспорте. Применение данной схемы обосновано большой сложностью воплощения механической передачи значительного, но так же при этом неизменного, крутящего момента на ведущие колеса транспортного средства. ДВС обладают некой нагрузочной характеристикой, у которой есть оптимальные показатели лишь в небольшом интервале, который смещён в сторону более высоких оборотов. Данный недостаток компенсируют с помощью применения механических КПП, которые, в свою очередь, непременно ухудшают общий КПД системы из-за собственных потерь. Так же еще одной сложностью является практическая невозможность смены направления вращения вала двигателя для того, чтобы обеспечить задний хода» [4].

«Сама нагрузочная характеристика электродвигателя абсолютно равномерна на протяжении всего диапазона рабочих частот. Электродвигатель может быть мгновенно остановлен, запущен и реверсирован. Также он не требует холостого хода, что соответственно позволяет полностью исключить из такого механизма как трансмиссия механизм сцепления. Так же в некоторых случаях позволяет полностью от неё избавиться путем размещения электродвигателей в самих колёсах» [16].

При условии применения электротрансмиссии двигатель, который работает на обыкновенном топливе, придает вращение электрогенератору. «В результате, вырабатываемый электрический ток через систему управления подается на электродвигатели, которые, собственно, и приводят в движение автомобиль. Именно в этом случае корректно сравнение с размещённой электростанции на электромобиле, которая вырабатывает электрический ток

для осуществления его движения» [5]. Принципиальная схема работы гибрида в общем аналогична, хотя и неплохо модифицирована, в первую очередь за счет добавления промежуточного накопителя электрической энергии. Аккумуляторной батареи, у которой емкость меньше, чем у полностью электрического электромобиля, естественно и меньше вес.

«Гибридный автомобиль сочетает преимущества обычного автомобиля с ДВС и электромобиля: весьма немалый КПД электромобилей (75—92 % по сравнению с 30—45 % у обычных автомобилей с ДВС) и весьма большой запас хода без дозаправки автомобиля с ДВС. Считается, что главной причиной старта производства легковых гибридных транспортных средств стал именно рыночный спрос на такой тип автомобилей, как нестранно вызванный довольно высокими и вечно растущими ценами на нефть и систематическим ужесточением экологических требований к автомобилям. Благодаря постоянному совершенствованию технологий и налоговым льготам покупателям либо производителям гибридов, именно такой тип автомобилей, порой может оказаться дешевле обычных. Во многих странах владельцам гибридных автомобилей предоставляются так же и другие льготы, например такие как: право пользования выделенной отдельной полосой на автострадах, освобождение от оплаты дорожного налога, бесплатными автомобильными стоянками» [5].

Гибриды стали хорошим решением неких недостатков электромобилей таких как: весьма внушительная масса аккумуляторных батарей, необходимость их продолжительной зарядки, недостаточный уровень развития инфраструктуры станций пополнения заряда и весьма небольшая дальность пробега. «В результате владелец гибрида получает абсолютно все преимущества электромобиля, даже без одного из самых больших недостатков — ограничения лимита по пробегу за произведенный один заряд батареи. Автомобиль можно использовать как обычный электромобиль значительную часть пробега, а в момент падения заряда ниже отведенного уровня, запускается небольшой дизельный либо бензиновый двигатель и

машина осуществляет дальше свое движение как гибрид, приводя в работу ТЭДы и производя зарядку накопителей. После того, как накопители наберут 100% заряда двигатель выключается. Затем данный цикл повторяется» [21].

3.8 Электромобили REEV

Range Extended Electric Vehicle (REEV) — это электромобиль с увеличенным запасом пробега. В REEV энергию для аккумулятора вырабатывает относительно небольшой топливный генератор.

Принцип работы и основные узлы электромобилей REEV показаны на рисунке 10:

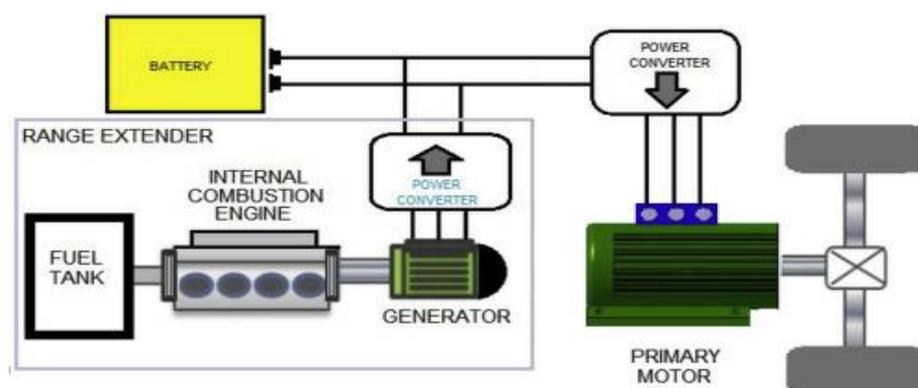


Рисунок 10 – «Принцип работы электромобиля с увеличенным запасом хода REEV, его основные узлы и агрегаты» [9]

«На сегодняшний день электромобили REEV - это наилучшая альтернатива топливным автомобилям, которая поможет сохранить привычный комфорт передвижения на любые расстояния, сократив при этом потребление топлива и выбросы вредных веществ. Однако современные плагин-гибриды любят еще за одну особенность — возможность их использования в качестве чистых электромобилей в городских условиях. Для современных плагин-гибридов — запас хода на электротяге — такой же

важный критерий выбора при покупке, как расход топлива, управляемость или цена» [4]. Электромобиль REEV является полностью электрическим автомобилем. Абсолютно вся движущая сила электромобиля обеспечивается за счет электродвигателя, но с небольшим ДВС, который обеспечивает выработку дополнительной необходимой электроэнергии.

Как альтернативу его так же нужно рассматривать как гибрид с намного большей аккумуляторной батареей, а конкретно 15–20 кВтч. Когда АКБ разряжен до выбранного уровня, двигатель включается и начинает свою работу для того, чтобы осуществить пуск генератора, который начинает питать электродвигатель и заряжать аккумулятор. Именно эта компоновка позволяет преодолеть установленное ограничение диапазона, которое присуще BEV. На небольших дистанциях электромобиля REEV вполне могут функционировать в чисто электрическом режиме. Т. е. в этот момент они являются абсолютно такими же энергоэффективными и экологически чистыми, как BEV (в отличие от последовательных и параллельных гибридов с меньшими аккумуляторными батареями и весьма ограниченным электрическим диапазоном). На достаточно больших расстояниях REEV используют систему «ICE» для того, чтобы поддержать заряд АКБ, но при этом потребляют намного меньше топлива, нежели обычные «ICEV». Такое явление присуще по двум причинам:

– Двигатель REEV намного меньше, нежели у обычного «ICEV». Ему необходима лишь средняя потребляемая мощность, так как пиковая мощность обеспечивается за счет АКБ. Однако, двигателю «ICEV» необходимо так же выдерживать скачки пиковой мощности, таких как, например, ускорения.

– Двигатель REEV осуществляет свою работу с постоянной скоростью вращения, а двигатель «ICEV» зачастую работает на высоких либо низких скоростях вращения, при которых в той либо иной ситуациях его эффективность крайне невысока.

Особенность REEV является расширитель диапазона Range Extender. «Расширитель диапазона топливная вспомогательная силовая установка (APU), которая расширяет диапазон действия аккумуляторного электромобиля, приводя в действие электрический генератор, который заряжает аккумулятор транспортного средства. Такое расположение известно как гибридная трансмиссия серии. Наиболее часто используемыми расширителями диапазона являются двигатели внутреннего сгорания, но могут использоваться топливные элементы или другие типы двигателей. Автомобили с расширителем диапазона также упоминаются как электромобили с увеличенным запасом хода (REEV), электромобили с увеличенным запасом хода (REEV) и аккумулятор с увеличенным запасом хода - электромобиль (BEV) от Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB). Ключевая функция расширителя диапазона - увеличить запас хода автомобиля. Автономность запаса хода является одним из основных препятствий на пути коммерческого успеха электромобилей, а увеличение дальности действия транспортного средства при разряженной батарее помогает уменьшить беспокойство по поводу запаса хода» [12].

«Конструкция автомобиля с расширением диапазона также может снизить потребление расширяющегося диапазона топлива (например, бензин), используя основное топливо (например, аккумуляторную батарею), при этом сохраняя запас хода автомобиля, работающего на одном топливе, с питанием от топлива, увеличивающего запас хода, такого как бензин. Топливо с увеличенным запасом хода обычно считается менее экологически и экономически безопасным в использовании, чем основной источник топлива, поэтому система управления транспортным средством отдает предпочтение использованию основного топлива, если оно доступно. Однако из-за ограничений дальности действия с основным источником топлива топливо для увеличения дальности позволяет транспортному средству получить многие из затрат и экологических преимуществ основного топлива, сохраняя при этом полный диапазон движения источника топлива для

увеличения дальности. Например, в Chevy Volt питание от аккумуляторной батареи от электросети может быть дешевле и экологичнее, чем сжигание бензина (в зависимости от источника выработки электроэнергии), но из-за компромисса между запасом хода чистого электромобиля и его аккумулятором. Размер, добавление бензина, увеличивающего запас хода, многие считают хорошим компромиссом, позволяющим придать Chevy Volt значительно больший запас хода. Однако сколько выгод от использования основного топлива зависит от того, как движутся автомобили. Например, первое поколение Chevy Volt будет работать на 100% от батареи от электрической сети в течение первых 60 км (37 миль), в то время как второе поколение Volt будет работать от 100% заряда батареи в течение первых 85 км (53 мили). при полной подзарядке между поездками. Однако, если тот же Chevy Volt проезжает сотни миль в день, ему потребуется значительное количество бензина, так как батарея будет быстро разряжаться. При использовании бензинового двигателя для выработки мощности для двигателей номинальная экономичность составляет 6,4 л / 100 км (37 миль на галлон US) и 5,6 л / 100 км (42 миль на галлон US). для моделей разных поколений. Следовательно, очень важно понимать характер вождения обычного пассажира, чтобы полностью понять влияние, которое эти автомобили с увеличенным запасом хода будут иметь в реальном мире. Многие автомобили с расширителем запаса хода, в том числе Chevrolet Volt и BMW i3, могут заряжать свои аккумуляторы от сети, а также от расширителя диапазона, и поэтому являются разновидностью гибридного электромобиля (PHEV). Когда расширитель запаса хода использует обычное топливо, он может заправляться на обычных заправочных станциях, что обеспечивает им такой же диапазон движения, как и у обычных автомобилей» [11].

«Поскольку REEV приводится в движение только электродвигателем, он может избавиться от веса и стоимости, связанных с системой коробки передач трансмиссия, обычно используется в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания. Кроме того, поскольку расширителю диапазона нет

необходимости увеличивать или уменьшать выходную мощность в соответствии с потребностями транспортного средства в мощности (эта задача решается с помощью электродвигателя), расширитель диапазона может быть подобран таким образом, чтобы удовлетворить требования средней мощности транспортного средства, а не его пиковую мощность. Требуемая мощность (например, при ускорении). Расширитель диапазона также может работать намного ближе к своей наиболее эффективной скорости вращения. Эти конструктивные особенности позволяют REEV очень эффективно преобразовывать энергию ископаемого топлива в электроэнергию и движение транспортного средства» [19].

Электромобиль REEV начинает путь с аккумуляторной батареей «SoC», с зарядом, близким к 100%. Абсолютно вся мощность электромобиля обеспечивается электрическим двигателем, который, в свою очередь, получает энергию только лишь от аккумулятора. При этом, естественно, отсутствуют выбросы вредных для окружающей среды выхлопных газов. Аккумуляторная батарея частично подзаряжается абсолютно при каждом действии рекуперативного торможения. В момент, когда аккумулятор разряжен до определенной SoC, отмеченной на рисунке 8. При определенных трех уровнях развития ситуации серьезности: зеленом, оранжевом и красном – электромобиль автоматически переходит в режим увеличенной дальности. Во то время, когда электромобиль REEV осуществляет свою работу в данном режиме, ДВС подключается только по мере определенной необходимости для того, чтобы поддерживать и подзаряжать аккумулятор в пределах нужного диапазона SoC, который отмечен красной и зеленой пунктирными линиями. Но, после завершения поездки АКБ SoC возвращается с питанием, на 100% взятым из сети.

Разнообразные режимы работы REEV указаны на рисунке 11.

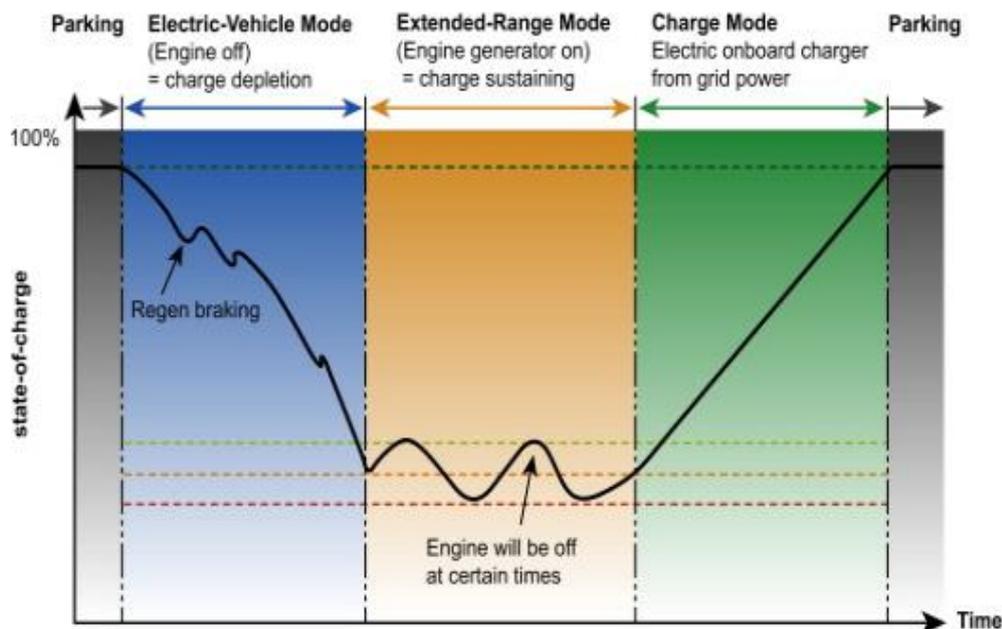


Рисунок 11 – «Разнообразные режимы работы REEV» [1]

Система REEV идет намного дальше, нежели PHEV. Он практически полностью убирает разрыв между АКБ BEV и HEV, так как он сочетает в себе все их преимущества. REEV предлагает потребителю абсолютно электрическую тягу с имеющимся у нее преимуществом нулевого локального выброса вредных веществ. В момент, когда аккумуляторная батарея разряжена до определенного уровня, генератор приводится в действие, с помощью относительно небольшого ДВС. Генератор, в свою очередь выдает выработанную электрическую энергию для электродвигателя, который приводит в движение сам электромобиль. Несомненно, благодаря данному принципу максимальное значение пробега без дозарядки электромобиля будет несколько увеличена, а имеющийся недостаток BEV - ограниченный диапазон – с помощью данного метода можно преодолеть.

«В будущем возможность будет заменить поршневой двигатель с микро-газовой турбины в качестве расширителя диапазона. Компания Jaguar выпустила гибридный концепт-кар C-X75, который является E-REV с двумя небольшими газовыми турбинами (каждый 35 кг) для зарядки

аккумулятора (15 кВт/ч литий-иона). Четыре электродвигателя 145 кВт, по одному на каждом из колес, могут управлять 1350-килограммовой машиной до 205 миль/ч (330 км/ч) с общим крутящим моментом 1600 Нм. С-X75 имеет электрическую дальность 70 миль (113 км) и 60-л топливный бак» [17].

Ярким примером REEV является подзаряжаемый электромобиль Chevrolet Volt 2.

«General Motors описывает Chevrolet Volt как электромобиль, оснащенный батареей на 16 кВтч плюс «расширяющий диапазон» бензиновый внутренний двигатель внутреннего сгорания (ICE) как генераторная установка и поэтому окрестил Volt «электромобилем с увеличенным запасом хода» или E-REV. В интервью в январе 2011 года главный инженер Chevy Volt Памела Флетчер назвала Volt «электромобилем с увеличенным запасом хода». Volt работает как полностью электрический автомобиль первые 40–80 км (от 25 до 50 миль) в режиме разряда. Когда емкость аккумулятора падает ниже предварительно установленного порога после полной зарядки, автомобиль переходит в режим поддержания заряда, и система управления Volt выберет наиболее оптимально эффективный режим движения для повышения производительности и повышения эффективности на высоких скоростях. Согласно подсчету миль, пройденных General Motors в режиме реального времени владельцами Volt в Северной Америке, к середине июня 2014 года они накопили более 800 миллионов км (500 миллионов миль) на полностью электрических автомобилях. GM также сообщила, что владельцы Volt ездят более 63% в полностью электрическом режиме. Владельцы Volt, которые регулярно заряжают, обычно проезжают более 1560 км (970 миль) между заправками и посещают заправочную станцию реже одного раза в месяц. В аналогичном отчете, выпущенном GM в августе 2016 года, сообщается, что владельцы Volt накопили почти 2,4 миллиарда км (1,5 миллиарда миль), проехав их в режиме EV, что составляет 60% от их общего количества пройденных миль» [23].

Chevrolet Volt 2 имеет абсолютно полностью электрическую силовую установку, то есть непосредственно только сам электродвигатель приводит в движение ведущие колеса при любых режимах эксплуатации. Электроэнергия, которая необходима для осуществления работы электродвигателя подается литий-ионными аккумуляторными батареями с общей энергией примерно 16 кВтч. Литий-ионная аккумуляторная система обеспечивает запас хода без подзарядки в чистом электрическом режиме примерно 80 км, чего вполне достаточно для абсолютного большинства поездок. В момент, когда аккумулятор разряжается до predetermined SoC, электромобиль автоматически переключается в рабочий режим расширенного диапазона. ДВС запускается и вводит в работу генератор, который в свою очередь подает выработанное количество электроэнергии на электродвигатель либо немного добавляет заряд аккумулятору. Так как у ДВС естественно меньше мощности, нежели чем у электродвигателя, то нужно, чтобы АКБ обеспечивала именно пиковую мощность даже при работе в режиме увеличенного диапазона. Для зарядки Chevrolet Volt 2 достаточно будет абсолютно любой обычной бытовой розетки на 120 В. Однако стоит заметить, что розетка на 230 В преимущественно сократит протяженность зарядки приблизительно до 3 часов. Топология Chevrolet Volt 2 представлена на рисунке 12.

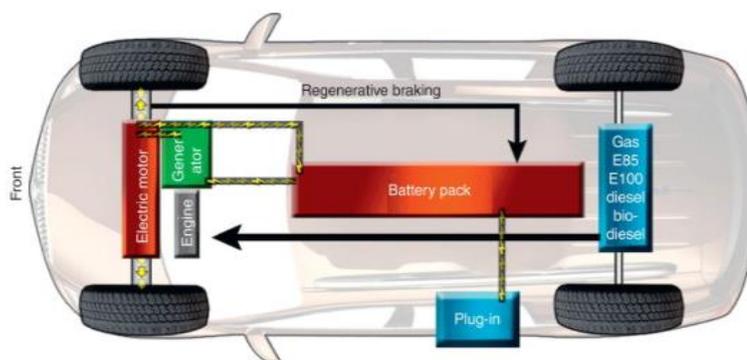


Рисунок 12 – «Топология Chevrolet Volt 2» [1]

Технические характеристики гибридного автомобиля Chevrolet Volt 2:

- Время разгона с 0 до 100 км/ч – 8.5 сек.;
- Максимальная скорость – 160 км/ч;
- Расход топлива на 100 км – 2.0 л.;
- Рабочий объем двигателя 1.5 л.;
- Мощность двигателя – 102 л.с.;
- Мощность электромотора – 110 кВт (150 л.с.)
- Стартер – генератор – 45 кВт (61 л.с.)
- Общая мощность силовой установки – 190 – 200 л.с.;
- Максимальный крутящий момент - 398 Нм;
- Расход электроэнергии на 100 км – 15 – 18 кВтч;
- Объем топливного бака – 33 л.;
- Запас хода (общий) – 500 – 550 км;

4 Методика оценки эффективности и расчет параметров REEV

За базовый автомобиль была взята Лада «Гранта», так как это один из самых распространенных и хорошо продаваемых автомобилей из линейки волжского автозавода за последние 7 лет. В качестве топлива для REEV используется бензин АИ – 95. Все базовые характеристики, масса кузова и всех запасных частей были взяты из данного автомобиля.

Расчет REEV для автономного пробега в 300 км:

$$Q_1 = G \cdot L \cdot p / O_1, \quad (1)$$

где Q_1 - количество энергии ДВС, необходимая для прохождения

дистанции длиной 1 км (МДж);

G (бенз) - количество теплоты, выделяемое при сгорании 1 л АИ-95 (МДж);

L - расход топлива в "смешанном режиме" (л/100 км);

p (бенз) – плотность бензина (кг/м^3);

O_1 – пробег равный 100 (км).

$$Q_2 = Q_1 \cdot N_1, \quad (2)$$

где Q_2 - количество полезной энергии ДВС (МДж);

Q_1 - количество энергии ДВС, необходимая для прохождения дистанции длиной 1 км (МДж);

N_1 – КПД бензинового ДВС (%).

$$Q_3 = Q_2 \cdot N_2, \quad (3)$$

где Q_3 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);

Q_2 - количество полезной энергии ДВС(МДж);

N_2 – КПД электродвигателя (%).

$$Q_4 = Q_3 / C, \quad (4)$$

где Q_4 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);
 Q_3 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);
 C – удельная емкость литий-ионных АКБ.

$$C_1 = Q_4 \cdot V_{cp} / T_{cp} \cdot 1000, \quad (5)$$

где C_1 - ёмкость АКБ, необходимая для прохождения 100 км с бензиновым ДВС (кВт·ч);
 Q_4 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);
 V_{cp} – средняя скорость движения (км/ч);
 T_{cp} – среднее время движения (ч).

$$C_2 = S \cdot C_1, \quad (6)$$

где C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);
 S – пробег, необходимый для обеспечения автономности автомобиля (км);
 C_1 - ёмкость АКБ, необходимая для прохождения 100 км на обычном автомобиле с бензиновым ДВС (кВт*ч).

$$m_2 = m_1 - m_{1(2)} - m_{1(3)} - m_{1(4)} + m_{1(5)} + m_{1(6)}, \quad (7)$$

где m_2 – масса автомобиля Лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но без учета веса АКБ (кг);
 m_1 – масса Лада «Гранта» с бензиновым ДВС (кг);
 $m_{1(2)}$ – масса 8-ми клапанного ДВС (кг);
 $m_{1(3)}$ – масса выхлопной системы (кг);
 $m_{1(4)}$ – масса бензобака (кг);
 $m_{1(5)}$ – масса электрокомпонентов (кг);
 $m_{1(6)}$ – масса электропривода (кг).

$$C_3 = C_2 / T, \quad (8)$$

где C_3 - ёмкость АКБ при m_2 , которая необходима обеспечения движения автомобиля в течение 1 часа (кВт·ч);
 T – время движения (ч).

$$m_{2(2)} = m_2 \cdot (C_2 / 10 \cdot m_{1(7)}), \quad (9)$$

где $m_{2(2)}$ – масса Лада «Гранта» электрической с учетом веса АКБ (кг);
 C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S без учета массы АКБ (кВт·ч);
 $m_{1(7)}$ – масса АКБ при мощности 10 кВт·ч (кг).

$$C_{2(2)} = C_2 \cdot m_{2(2)} / m_2, \quad (10)$$

где $C_{2(2)}$ - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт·ч);
 C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S без учета массы АКБ (кВт·ч);
 $m_{2(2)}$ – масса Лада «Гранта» электрической с учетом веса АКБ (кг);
 m_2 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но без учета веса АКБ (кг).

$$C_4 = C_{2(2)} / S, \quad (11)$$

где C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);
 $C_{2(2)}$ - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт·ч);
 S – необходимый пробег, для того чтобы автомобиль считался автономным (км).

$$C_{3(2)} = C_{2(2)} / T, \quad (12)$$

где $C_{3(2)}$ – ёмкость АКБ, необходимая для осуществления движения автомобиля в течение 1 часа (кВт·ч);

$C_{2(2)}$ - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт*ч);

T – время движения (ч).

Расчет зависимости показателя CO_2 от процента электрификации автомобиля:

$$Z_{(20\%)} = C_4 \cdot K_1 \cdot g_e / p_{(6)} * Z / O_1, \quad (13)$$

где $Z_{(20\%)}$ - показатель CO_2 при K_1 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_1 – процент электрификации (%);

g_e - зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$p_{(6)}$ – плотность бензина АИ-95 (кг/м³);

Z – количество CO_2 на 1 литр бензина;

O_1 – пробег равный 100 (км);

$$Z_{(20\%)} = C_4 \cdot K_2 \cdot g_e / p_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (14)$$

где $Z_{(30\%)}$ - показатель CO_2 при K_2 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_2 – процент электрификации (%);

g_e - зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

Z – количество CO_2 на 1 литр бензина;

O_1 – пробег равный 100 (км).

$$Z_{(50\%)} = C_4 \cdot K_3 \cdot g_e / p_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (15)$$

где $Z_{(50\%)}$ - показатель CO_2 при K_3 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_3 – процент электрификации (%);

g_e – зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$\rho_{(6)}$ – плотность бензина АИ-95 (кг/м³);

Z – количество CO₂ на 1 литр бензина.

$$Z_{(70\%)} = C_4 \cdot K_4 \cdot g_e / \rho_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (16)$$

где $Z_{(70\%)}$ – показатель CO₂ при K_4 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт*ч);

K_4 – процент электрификации (%);

g_e – зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт*ч);

$\rho_{(6)}$ – плотность бензина АИ-95 (кг/м³);

Z – количество CO₂ на 1 литр бензина.

$$Z_{(90\%)} = C_4 \cdot K_3 \cdot g_e / \rho_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (17)$$

где $Z_{(90\%)}$ – показатель CO₂ при K_3 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_5 – процент электрификации (%);

g_e – зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$\rho_{(6)}$ – плотность бензина АИ-95 (кг/м³);

Z – количество CO₂ на 1 литр бензина;

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_r = P_1 \cdot T, \quad (18)$$

где A_r – работа Range (кВт·ч);

P_1 – мощность Range (кВт);

T – время работы Range,

$$C_r = C_{2(2)} - A_r, \quad (19)$$

где C_r – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X = A_r \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (20)$$

где X – процент работы Range от общего времени.

$$Y = X \cdot Z_{(70\%)} / K_{I(4)}, \quad (21)$$

где Y – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(4)}$ – процент электрификации.

$$L_3 = A_r \cdot L_2, \quad (22)$$

где L_3 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_{r(2)} = P_2 \cdot T, \quad (23)$$

где $A_{r(2)}$ – работа Range (кВт·ч);

P_2 – мощность Range (кВт).

$$C_{r(2)} = C_{2(2)} - A_{r(2)}, \quad (24)$$

где $C_{r(2)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{(2)} = A_{r(2)} \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (25)$$

где $X_{(2)}$ – процент работы Range от общего времени.

$$Y_{(2)} = X_{(2)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(3)}, \quad (26)$$

где $Y_{(2)}$ – количество CO_2 (кг/км);

$K_{1(3)}$ – процент электрификации.

$$L_{3(2)} = A_{r(2)} \cdot L_2, \quad (27)$$

где $L_{3(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход Range за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 9 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_{r(3)} = P_3 \cdot T, \quad (28)$$

где $A_{r(3)}$ – работа Range (кВт·ч);

P_3 – мощность Range (кВт).

$$C_{r(3)} = C_{2(2)} - A_{r(3)}, \quad (29)$$

где $C_{r(3)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{(3)} = A_{r(3)} \cdot 100 / C_{2(3)}, \quad (30)$$

где $X_{(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{(3)} = X_{(3)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(5)}, \quad (31)$$

где $Y_{(3)}$ – количество CO_2 (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{3(3)} = A_{r(3)} \cdot L_3, \quad (32)$$

где $L_{3(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 300 км:

$$A_{r2} = C_{3(2)} \cdot T_3, \quad (33)$$

где A_{r2} – работа Range (кВт·ч);

T_3 – время движения (ч).

$$C_{r2} = C_{2(2)} - A_{r2}, \quad (34)$$

где C_{r2} – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_2 = A_{r2} \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (35)$$

где X_2 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_2 = X_2 \cdot Z_{(20\%)} / K_{I(5)}, \quad (36)$$

где Y_2 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_4 = A_{r2} \cdot L_2, \quad (37)$$

где L_4 – расход топлива REEV (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет REEV для автономного пробега в 200 км:

$$C_5 = C_1 \cdot S_2, \quad (38)$$

где C_5 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S_2 при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);
 S_2 – необходимый пробег (200 км) (км).

$$m_3 = m_2 + (C_5 / 10 \cdot m_{1(7)}), \quad (39)$$

где m_3 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но с учетом веса АКБ (кг).

$$C_{5(2)} = C_5 \cdot m_3 / m_2, \quad (40)$$

где $C_{5(2)}$ - ёмкость АКБ необходимая для прохождения дистанции 200 км при m_3 .

$$C_6 = C_{5(2)} / T_4, \quad (41)$$

где C_6 – ёмкость АКБ при m_3 необходимая для осуществления 1 часа езды (кВт·ч);
 T_4 – время движения при необходимом пробеге 200 км (ч).

$$C_7 = C_{5(2)} / S_2, \quad (42)$$

где C_7 – ёмкость АКБ необходимая для осуществления движения 100 км (кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 200 км:

$$A_{r3} = P_1 \cdot T_4, \quad (43)$$

где A_r – работа REEV (кВт·ч);
 P_1 – мощность REEV (кВт);
 T_4 – время работы REEV.

$$C_{r3} = C_{5(2)} - A_{r3}, \quad (44)$$

где C_{r3} - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_3 = A_{r3} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (45)$$

где X_3 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_3 = X_3 \cdot Z_{(20\%)} / K_{1(4)}, \quad (46)$$

где Y_3 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(4)}$ – процент электрификации.

$$L_5 = A_{r3} \cdot L_2, \quad (47)$$

где L_5 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 200 км:

$$A_{r3(2)} = P_2 \cdot T_4, \quad (48)$$

где $A_{r3(2)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r3(2)} = C_{5(2)} - A_{r3(2)}, \quad (49)$$

где $C_{r3(2)}$ - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{3(2)} = A_{r3(2)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (50)$$

где $X_{3(2)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{3(2)} = X_{3(2)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(3)}, \quad (51)$$

где $Y_{3(2)}$ – количество CO_2 (кг/км);

$K_{I(3)}$ – процент электрификации.

$$L_{5(2)} = A_{r3(2)} \cdot L_2, \quad (52)$$

где $L_{5(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 2 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r3(3)} = P_5 \cdot T_4, \quad (53)$$

где $A_{r3(3)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r3(3)} = C_{5(2)} - A_{r3(3)}, \quad (54)$$

где $C_{r3(3)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{3(3)} = A_{r3(3)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (55)$$

где $X_{3(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{3(3)} = X_{3(3)} \cdot Z_{(20\%)} / K_{I(5)}, \quad (56)$$

где $Y_{3(3)}$ – количество CO_2 (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{5(3)} = A_{r3(3)} \cdot L_2, \quad (57)$$

где $L_{5(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 200 км:

$$A_{r4} = C_6 \cdot (T_3 - 1), \quad (58)$$

где A_{r4} – работа REEV (кВт·ч);

T_3 – время движения (ч).

$$C_{r4} = C_{5(2)} - A_{r4}, \quad (59)$$

где C_{r4} – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_4 = A_{r4} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (60)$$

где X_4 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_4 = X_4 \cdot Z_{(30\%)} / K_{I(4)}, \quad (61)$$

где Y_4 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(4)}$ – процент электрификации.

$$L_6 = A_{r4} \cdot L_2, \quad (62)$$

где L_6 – расход топлива REEV (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Оценка ёмкости для автономного пробега в 100 км:

$$C_8 = C_1 \cdot S_3, \quad (63)$$

где C_8 – ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S_2

при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);

S_3 – необходимый пробег (100 км) (км).

$$m_4 = m_2 + (C_8 / 10 \cdot m_{I(7)}), \quad (64)$$

где m_4 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических

элементов, но с учетом веса АКБ (кг).

$$C_9 = C_8 \cdot m_4 / m_2, \quad (65)$$

где C_9 - ёмкость АКБ необходимая для прохождения дистанции 100 км при тз.

$$C_{10} = C_9 / T_5, \quad (66)$$

где C_9 - ёмкость АКБ при тз необходимое для осуществления 1 часа езды (кВт·ч).

T_5 - время движения при необходимом пробеге 100 км (ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути (100 км):

$$A_{r5} = P_1 \cdot T_5, \quad (67)$$

где A_{r5} - работа REEV (кВт·ч);

P_1 - мощность REEV (кВт);

T_5 - время работы REEV.

$$C_{r5} = C_9 - A_{r5}, \quad (68)$$

где C_{r5} - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_5 = A_{r5} \cdot 100 / C_9, \quad (69)$$

где X_5 - процент работы REEV от общего времени.

$$Y_5 = X_5 \cdot Z_{(80\%)} / K_{I(1)}, \quad (70)$$

где Y_5 - количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(1)}$ - процент электрификации.

$$L_7 = A_{r5} \cdot L, \quad (71)$$

где L_7 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r5(2)} = P_2 \cdot T_5, \quad (72)$$

где $A_{r5(2)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r5(2)} = C_9 \cdot A_{r5(2)}, \quad (73)$$

где $C_{r5(2)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{5(2)} = A_{r5(2)} \cdot 100 / C_9, \quad (74)$$

где $X_{5(2)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{5(2)} = X_{5(2)} \cdot Z_{(70\%)} / K_{I(3)}, \quad (75)$$

где $Y_{5(2)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(3)}$ – процент электрификации;

$$L_{7(2)} = A_{r5(2)} \cdot L_2, \quad (76)$$

где $L_{7(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 2 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r5(3)} = P_5 \cdot T_5, \quad (77)$$

где $A_{r5(3)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r5(3)} = C_9 - A_{r5(3)} \quad (78)$$

где $C_{r5(3)}$ - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{5(3)} = A_{r5(3)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (79)$$

где $X_{5(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{5(3)} = X_{5(3)} \cdot Z_{(90\%)} / K_{I(5)}, \quad (80)$$

где $Y_{5(3)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{7(3)} = A_{r5(3)} \cdot L_2, \quad (81)$$

где $L_{7(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 100 км:

$$A_{r6} = C_{10} \cdot (T_5 - 1), \quad (82)$$

где A_{r6} – работа range (кВт*ч);

T_5 – время движения (ч).

$$C_{r6} = C_9 - A_{r6}, \quad (83)$$

где C_{r6} - ёмкость АКБ (кВт*ч).

$$X_6 = A_{r6} \cdot 100 / C_9, \quad (84)$$

где X_6 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_6 = X_6 \cdot Z_{(30\%)} / K_{I(4)}, \quad (85)$$

где Y_6 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(4)}$ – процент электрификации.

$$L_8 = A_{r6} \cdot L_2, \quad (86)$$

где L_8 – расход топлива REEV (л/кВт*ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт*ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 300 км:

$$m_5 = m_{2(2)} - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (87)$$

где m_5 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом (кг);

M – масса кузова без навесных элементов и узлов (кг);

M_2 – удельный вес железа (г/см³);

M_3 – удельный вес алюминия (г/см³).

$$C_{11(1)} = C_2 \cdot m_5 / m_2, \quad (88)$$

где $C_{11(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при m_5 (кВт·ч).

$$C_{11(2)} = C_{11(1)} / S, \quad (89)$$

где $C_{11(2)}$ – ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

$$Z_2 = C_{11(2)} \cdot K_{I(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_b, \quad (90)$$

где Z_2 – показатель CO₂ (кг/км).

$$Z_{2(2)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (91)$$

где $Z_{2(2)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{2(3)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (92)$$

где $Z_{2(3)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{2(4)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(2)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (93)$$

где $Z_{2(4)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{2(5)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(1)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (94)$$

где $Z_{2(5)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$P_{nl} = (C_{11(1)} - C_{11(2)}) / (T - 2), \quad (95)$$

где P_{nl} – необходимая мощность REEV на 300 км (кВт · ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 200 км:

$$m_6 = m_3 - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (96)$$

где m_6 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом (кг);

M – масса кузова без навесных элементов и узлов (кг);

M_2 – удельный вес железа (г/см^3);

M_3 – удельный вес алюминия (г/см^3).

$$C_{12(1)} = C_2 \cdot m_6 / m_2, \quad (97)$$

где $C_{12(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при

m_5 (кВт·ч).

$$C_{12(2)} = C_{12(1)} / S_2, \quad (98)$$

где $C_{12(2)}$ - ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

$$Z_3 = C_{12(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (99)$$

где Z_3 – показатель O_2 (кг/км).

$$Z_{3(2)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (100)$$

где $Z_{3(2)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(3)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (101)$$

где $Z_{3(3)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(4)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(2)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (102)$$

где $Z_{3(4)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(5)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(1)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (103)$$

где $Z_{3(5)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$P_{n2} = (C_{12(1)} - C_{12(2)}) / (T - 1), \quad (104)$$

где P_{n2} – необходимая мощность REEV на 200 км (кВт).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 100 км:

$$M_7 = m_4 - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (105)$$

где m_7 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом

(кг);

M_2 – удельный вес железа (г/см³);

M_3 – удельный вес алюминия (г/см³).

$$C_{13(1)} = C_2 \cdot m_6 / m_2, \quad (106)$$

где $C_{12(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при m_5 (кВт·ч).

$$C_{13(2)} = C_{13(1)} / S_3, \quad (107)$$

где $C_{12(2)}$ - ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

$$Z_4 = C_{13(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (108)$$

где Z_4 – показатель CO₂ (кг/км).

$$Z_{4(2)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (109)$$

где $Z_{4(2)}$ – показатель CO₂ (кг/км).

$$Z_{4(3)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (110)$$

где $Z_{4(3)}$ – показатель CO₂ (кг/км).

4.1 Анализ результатов расчета, при работе электромобиля REEV

На основании формул, представленных в пункте 4 был произведен расчет параметров электромобиля REEV на базе автомобиля типа Лада «Гранта» на бензиновом топливе. Данный электромобиль обеспечивает выполнение норм токсичности «ЕВРО – 6», имеет автономный пробег – 300 км без дополнительной зарядки АКБ. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов, необходимых для осуществления работы плагин-гибрида на базе Лада "ГРАНТА"

При пробеге 300 км					
Кол-во энергии ДВС (1 км)	Кол-во полезной энергии ДВС (20%)	Кол-во полезной энергии электромобиля (80%)	Кол-во полезной энергии электромобиля (80%)	Емкость АКБ (100км) при m (бенз.)	Емкость АКБ при m 1(2) (эл с АКБ) необходимое на 1 ч
Q_1 (МДж)	Q_2 (МДж)	Q_3 (МДж)	Q_4 (МДж)	C_1 (кВт*ч)	$C_{3(2)}$ кВт *ч
2,475	0,495	0,619	0,773	12,891	9,657
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при m (эл без АКБ)	Емкость АКБ при m (эл) необходимое на 1 ч	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при m ₂₍₂₎	Емкость АКБ (100км) при m ₂₍₂₎
m ₂ (эл без АКБ) (кг)	C_2 кВт *ч	C_3 кВт *ч	m ₂₍₂₎ (эл с АКБ) (кг)	$C_{2(2)}$ кВт *ч	C_4 (кВт*ч)
1088,750	38,672	7,734	1359,453	48,287	16,096
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации					
% электрификации K (%)	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z(кг/км)	0,110	0,096	0,069	0,041	0,014
Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A_r (кВт * ч)	C_r (кВт * ч)	X (%)	Y (кг/км)	L3 (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	15	33,287	31,1	0,043	4,5
REEV 5 кВт	25	23,287	51,8	0,071	7,5
REEV 9 кВт	45	3,287	93,2	0,110	13,5
Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A_{r2} (кВт * ч)	C_{r2} (кВт * ч)	X ₂ (%)	Y ₂ (кг/км)	L ₄ (л/кВт*ч)
REEV кВт	38,63	9,66	80,0	0,115	11,59
Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	9,66				
При пробеге 200 км					
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m3 (эл без АКБ)	Емкость АКБ (200км) при m2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ при m3 необходимое на 1 ч	Емкость АКБ (100км) при m (эл)	
m ₃ (эл с АКБ) (кг)	C_5 (кВт *ч)	$C_{5(2)}$ (кВт*ч)	C_6 (кВт *ч)	C_7 (кВт*ч)	
1269,22	25,78	30,05	9,03	15,03	

Продолжение таблицы 1

Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r3} (кВт * ч)	C _{r3} (кВт * ч)	X ₃ (%)	Y ₃ (кг/км)	L ₅ (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	9,99	20,06	33,2	0,053	3,00
REEV 5 кВт	16,65	13,40	55,4	0,075	5,00
REEV 2 кВт	6,66	23,39	22,2	0,012	2,00
Расчет мощности REEV при его непостоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r4} (кВт * ч)	C _{r4} (кВт * ч)	X ₄ (%)	Y ₄ (кг/км)	L ₆ (л/кВт*ч)
REEV кВт	21,03	9,03	70,0	0,096	6,31
Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	9,03				
При пробеге 100 км					
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m4(1) (эл без АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m4(эл с КБ)	Емкость АКБ при m4 (эл с АКБ) необходимое на 1 ч		
m4 (эл с АКБ) (кг)	C ₈ (кВт *ч)	C ₉ (кВт*ч)	C ₁₀ (кВт *ч)		
1178,98	12,89	13,96	7,77		
Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r5} (кВт * ч)	C _{r5} (кВт * ч)	X ₅ (%)	Y ₅ (кг/км)	L ₇ (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	4,98	8,98	35,7	0,084	1,494
REEV 5 кВт	8,3	5,66	59,5	0,051	2,49
REEV 2 кВт	3,32	10,64	23,8	0,028	0,996
Расчет мощности REEV при его непостоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r6} (кВт * ч)	C _{r6} (кВт * ч)	X ₆ (%)	Y ₆ (кг/км)	L ₈ (л/кВт*ч)

Продолжение таблицы 1

REEV (кВт)	5,13	8,83	36,7	0,022	1,54
Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	5,13				
Уменьшение массы за счет использования более легких материалов					
При 300 км			300 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при $m_{2(2)}$ (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при $m_{2(2)}$ (эл)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич. (с алюминиевым кузовом)	Емкость АКБ (300км) при m_5	Емкость АКБ на 1 ч при m_5
$m_{2(2)}$ (кг)	$C_{2(2)}$ кВт*ч	$C_{3(2)}$ (кВт*ч)	m_5 (кг)	$C_{11(1)}$ кВт *ч	$C_{11(2)}$ (кВт*ч)
1359,453	48,29	16,10	1123,2	39,89	13,30
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрификации K_2	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z_2 (кг/км)	0,091	0,079	0,057	0,034	0,011
Необходимая мощность RANGE $P_{н1}$ (кВт*ч) при его непостоянной работе	8,87				
При 200 км			200 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m_2 (эл с АКБ)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ на 1 ч при m_2 (эл с АКБ)
m_3 (эл с АКБ) (кг)	C_5 кВт*ч	$C_{5(2)}$ (кВт*ч)	m_6 (кг)	$C_{12(1)}$ кВт *ч	$C_{12(2)}$ (кВт*ч)
1269,219	30,05	15,03	1032,9	24,46	7,35
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрификации K_3	20	30	50	70	90

Продолжение таблицы 1

Показатель CO ₂ Z ₃ (кг/км)	0,084	0,073	0,052	0,031	0,010
Необходимая мощность RANGE P _{n2} (кВт*ч) при его непостоянной работе	7,35				
При 100 км			100 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m ₂ (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m ₂ (эл с АКБ)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m ₂ (эл с АКБ)	Емкость АКБ на 1 ч при m ₂ (эл с АКБ)
m ₄ (эл с АКБ) (кг)	C ₈ (кВт *ч)	C ₈ (кВт *ч)	m ₇ (кг)	C ₁₃₍₁₎ (кВт *ч)	C ₁₃₍₂₎ (кВт*ч)
1178,98	13,96	13,96	942,71	11,16	6,72
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрифика ции	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z ₄ (кг/км)	0,076	0,067	0,048	0,029	0,010
Необходимая мощность RANGE P _{n3} (кВт*ч) при его непостоянной работе	4,44				
Исходные данные 1					
Кол-во теплоты, выделяемое при сгорании 1 л АИ-95	КПД бензинового ДВС	КПД электродвигае ля	Масса Лада "ГРАНТА"	Масса двигателя	Масса выхлопн ой системы
G (бенз) (МДж)	КПД (ДВС)(%)	КПД (электр)%	m ₁ (бенз) (кг)	m ₁₍₂₎ (двиг) (кг)	m ₁₍₃₎ (вых)(кг)
44	0,2	0,8	1180	112	15,25
Исходные данные 2					
Масса бензобака	Необходимы й пробег x100 км	Масса электрически х компонентов	Масса АКБ на 10 кВтч	Масса Электропривод а	Плотность бензина

Продолжение таблицы 1

$m_{1(4)}$ (кг)	S	$m_{1(5)}$ (кг)	$m_{1(7)}$ (кг)	$m_{1(6)}$ (кг)	$\rho(\text{бенз})$ (кг/м ³)
10	3	23	70	23	0,75
Исходные данные 3					
Зависимость удельного расхода от част. вращ. при 3000 об/мин	Кол-во CO ₂ в 1 л бензина	Расход топлива в "смешанном режиме"	Удельная емкость АКБ	Средняя скорость движения	Среднее время движения
g_e (кг/кВт*ч)	Z	L(л/100км)	C	V_{cp} (км/ч)	T_{cp} (сек)
0,305	2,1	7,5	0,8	60	3600
Исходные данные 4					
Время движения	Мощность RANGE	Мощность RANGE	Мощность RANGE	Удельный вес железа	Расход RANGE за 1
T (ч)	P_1 (кВт)	P_2 (кВт)	P_3 (кВт)	M_2 (г/см ³)	L_2 (л/кВт*ч)
5	3	5	9	7,85	0,3
Исходные данные 5					
Мощность RANGE (при непостоянной работе на 100 км)	Время движения 3	Необходимый пробег x100 км	Мощность RANGE	Время движения 4 (при 200 км)	Ежедневный запас хода
P_4 (кВт)	T_3 (ч)	S_2	P_5 (кВт)	T_4 (ч)	J (км)
16,096	4	2	2	3,33	60
Исходные данные 5					
Мощность RANGE (при непостоянной работе на 200 км)	Необходимый пробег x100 км	Время движения 5 (при 100 км)	Мощность RANGE (при непостоянной работе на 100 км)	Масса кузова (без навесных элементов и узлов)	Удельный вес алюминия
P_6 (кВт)	S_3	T_5 (ч)	P_7 (кВт)	M (кг)	M_3 (г/см ³)
9,025	1	1,66	7,77	360	2,698

На рисунке 13 показана зависимость количества выбросов CO₂ от величины пройденного пути.

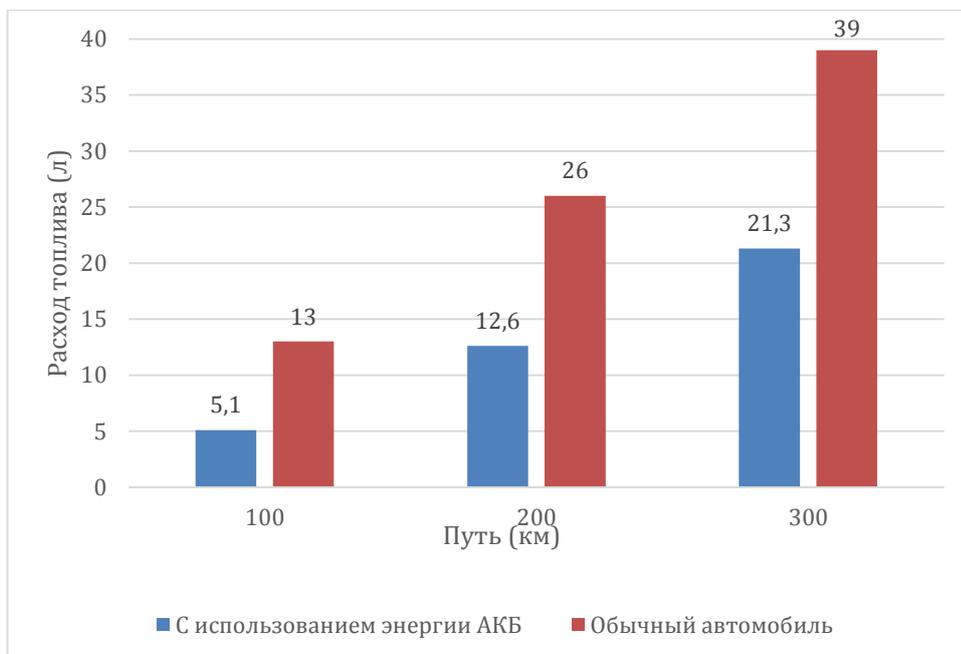


Рисунок 13 – Зависимость количества выбросов CO_2 от величины пройденного пути

На основании выполненных расчетов очевидно, что чем больше процент электрификации автомобиля, тем меньше выбросов CO_2 . На рисунке 14 представлена зависимость количества выбросов CO_2 от процента электрификации автомобиля.

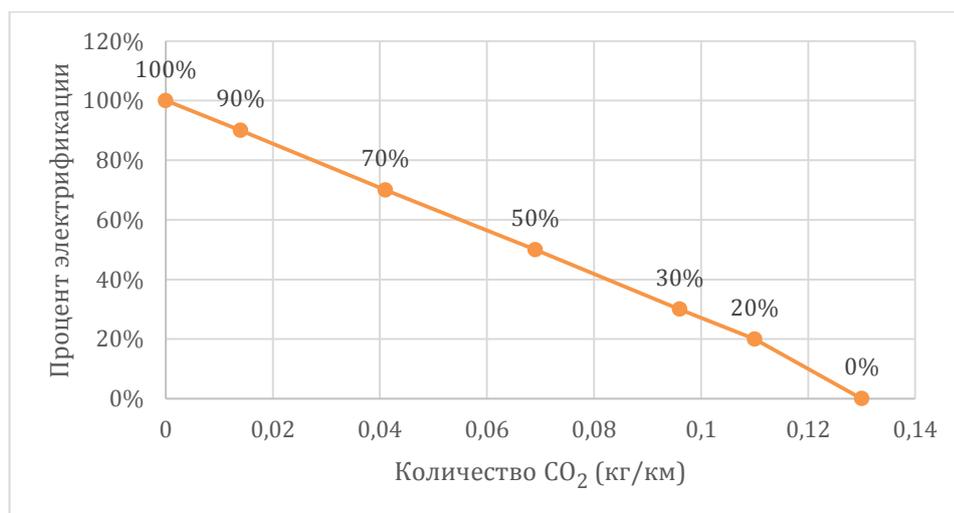


Рисунок 14 – Зависимость количества выбросов CO_2 от величины процента электрификации автомобиля

На рисунке 15 представлена зависимость необходимой мощности Range от массы автомобиля.

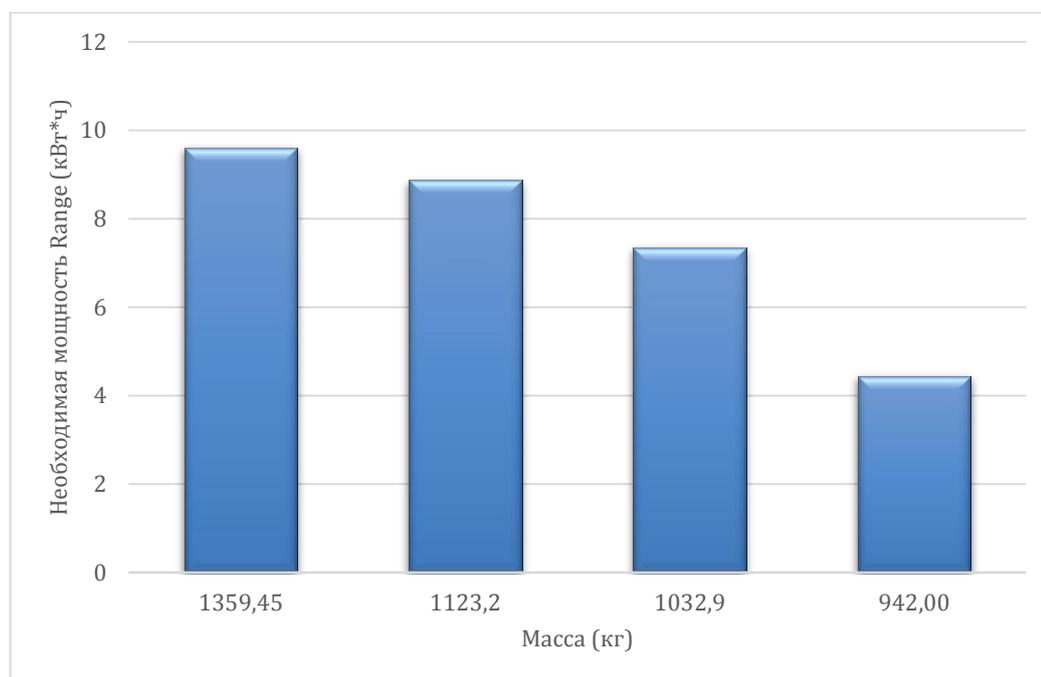


Рисунок 15 – Зависимость необходимой мощности Range от массы автомобиля

5 Методика оценки эффективности и расчет параметров REEV

За базовый автомобиль была взята Лада «Гранта», так как это один из самых распространенных и хорошо продаваемых автомобилей из линейки волжского автозавода за последние 7 лет.

В качестве топлива для REEV используется КПГ. Силовые агрегаты, которые используют газ в виде топлива, имеют значительно более высокий коэффициент полезного действия (КПД), в отличие от агрегатов, работающих лишь на бензиновом топливе.

У природного газа самым главным компонентом является метан. Октановое число у него приблизительно равно 115 – 130. По данной характеристике можно существенно увеличить в силовом агрегате степень сжатия.

Все базовые характеристики, масса кузова и всех запасных частей были взяты из данного автомобиля. Методика оценки эффективности и расчет параметров REEV представлен в Приложении А.

5.1 Анализ результатов расчета, при работе электромобиля REEV

На основании формул, представленных в пункте 5.1 был произведен расчет плагин-гибрида на базе автомобиля типа Лада «Гранта» на газовом топливе. Безусловно, данный плагин гибрид должен выполнять нормы токсичности «ЕВРО – 6». Результаты вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Расчет параметров, необходимых для осуществления работы REEV на базе Лада "ГРАНТА" и выполнению норм токсичности "ЕВРО-6"

При пробеге 300 км					
Кол-во энергии ДВС (1 км)	Кол-во полезной энергии ДВС (20%)	Кол-во полезной энергии электромобиля (80%)	Кол-во полезной энергии электромобиля (80%)	Емкость АКБ (100км) при т (бенз)	Емкость АКБ при т 1(2)(эл с АКБ) необходимое на 1 ч
Q_1 (МДж)	Q_2 (МДж)	Q_3 (МДж)	Q_4 (МДж)	C_1 (кВт*ч)	$C_{3(2)}$ кВт *ч
3,366	0,673	0,842	1,052	17,531	14,076
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при т (эл без АКБ)	Емкость АКБ при т (эл) необходимое на 1 ч	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при т 2(2)	Емкость АКБ (100км) при т2(2)
m_2 (эл без АКБ) (кг)	C_2 кВт *ч	C_3 кВт *ч	$m_2(2)$ (эл с АКБ) (кг)	$C_2(2)$ кВт *ч	C_4 (кВт*ч)
1088,750	52,594	10,519	1456,906	70,378	23,459
Расчет зависимости показателя CO2 от процента электрификации.					
% электрификации К (%)	20	30	50	70	90
Показатель CO2 Z(кг/км)	0,074	0,065	0,046	0,028	0,009
Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A_r (кВт * ч)	C_r (кВт * ч)	X (%)	Y (кг/км)	L_3 (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	15	55,378	21,3	0,020	4,5
REEV 5 кВт	25	45,378	35,5	0,033	7,5
REEV 9 кВт	45	25,378	63,9	0,059	13,5
Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A_{r2} (кВт * ч)	C_{r2} (кВт * ч)	X ₂ (%)	Y ₂ (кг/км)	L ₄ (л/кВт*ч)
REEV кВт	56,30	14,08	80,0	0,074	16,89

Продолжение таблицы 2

Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	14,08				
При пробеге 200 км					
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m ₃ (эл без АКБ)	Емкость АКБ (200км) при m ₂ (эл с АКБ)	Емкость АКБ при m ₃ необходимое на 1 ч	Емкость АКБ (100км) при m (эл)	
m ₃ (эл с АКБ) (кг)	C ₅ (кВт *ч)	C ₅₍₂₎ (кВт*ч)	C ₆ (кВт *ч)	C ₇ (кВт*ч)	
1334,19	35,06	42,97	12,90	21,48	
Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r3} (кВт * ч)	C _{r3} (кВт * ч)	X ₃ (%)	Y ₃ (кг/км)	L ₅ (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	9,99	32,98	23,3	0,025	3,00
REEV 5 кВт	16,65	26,32	38,8	0,035	5,00
REEV 2 кВт	6,66	36,31	15,5	0,005	2,00
Расчет мощности REEV при его непостоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r4} (кВт * ч)	C _{r4} (кВт * ч)	X ₄ (%)	Y ₄ (кг/км)	L ₆ (л/кВт*ч)
REEV кВт	30,06	12,90	70,0	0,065	9,02
Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	12,90				
При пробеге 100 км					
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m ₄ (1) (эл без АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m ₄ (эл с АКБ)	Емкость АКБ при m ₄ (эл с АКБ) необходимое на 1 ч		
m ₄ (эл с АКБ) (кг)	C ₈ (кВт *ч)	C ₉ (кВт*ч)	C ₁₀ (кВт *ч)		
1211,47	17,53	19,51	10,56		

Продолжение таблицы 2

Расчет мощности REEV при его постоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r5} (кВт * ч)	C _{r5} (кВт * ч)	X ₅ (%)	Y ₅ (кг/км)	L ₇ (л/кВт*ч)
REEV 3 кВт	4,98	14,53	25,5	0,041	1,494
REEV 5 кВт	8,3	11,21	42,5	0,024	2,49
REEV 2 кВт	3,32	16,19	17,0	0,014	0,996
Расчет мощности REEV при его непостоянной работе					
	Работа REEV	Емкость АКБ	Процент работы REEV от общего времени	Кол-во CO ₂	Расход топлива
	A _{r6} (кВт * ч)	C _{r6} (кВт * ч)	X ₆ (%)	Y ₆ (кг/км)	L ₈ (л/кВт*ч)
REEV кВт	6,97	12,54	35,7	0,014	2,09
Необходимая мощность RANGE (кВт*ч)	6,97				
Уменьшение массы за счет использования более легких материалов					
При 300 км			300 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (300км) при m ₂₍₂₎ (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m ₂₍₂₎ (эл)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич. (с алюминиевым кузовом)	Емкость АКБ (300км) при m ₅	Емкость АКБ на 1 ч при m ₅
m ₂₍₂₎ (кг)	C ₂₍₂₎ кВт *ч	C ₃₍₂₎ (кВт*ч)	m ₅ (кг)	C ₁₁₍₁₎ кВт *ч	C ₁₁₍₂₎ (кВт*ч)
1456,906	70,38	23,46	1220,6	58,96	19,65
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрификации K ₂	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z ₂ (кг/км)	0,062	0,054	0,039	0,023	0,008
Необходимая мощность RANGE P _{n1} (кВт*ч) при его непостоянной работе	13,10				

Продолжение таблицы 2

При 200 км			200 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m_2 (эл с АКБ)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (200км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ на 1 ч при m_2 (эл с АКБ)
m_3 (эл с АКБ) (кг)	C_5 кВт *ч	$C_{5(2)}$ (кВт*ч)	m_6 (кг)	$C_{12(1)}$ кВт *ч	$C_{12(2)}$ (кВт*ч)
1334,188	42,97	21,48	1097,9	35,36	10,62
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрификации и КЗ	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z ₃ (кг/км)	0,056	0,049	0,035	0,021	0,007
Необходимая мощность RANGE Pn2(кВт*ч) при его непостоянной работе	10,62				
При 100 км			100 км с использованием алюминия		
Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ (100км) при m_2 (эл с АКБ)	Масса Лада "ГРАНТА" электрич.	Емкость АКБ (100км) при m_2 (эл с АКБ)	Емкость АКБ на 1 ч при m_2 (эл с АКБ)
m_4 (эл с АКБ) (кг)	C_8 (кВт *ч)	C_8 (кВт *ч)	m_7 (кг)	$C_{13(1)}$ (кВт *ч)	$C_{13(2)}$ (кВт*ч)
1211,47	19,51	19,51	975,20	15,70	9,46
Расчет зависимости показателя CO ₂ от процента электрификации для автомобиля с использованием в качестве сырья для кузова алюминий (300км)					
% электрификации	20	30	50	70	90
Показатель CO ₂ Z ₄ (кг/км)	0,050	0,043	0,031	0,019	0,006

Продолжение таблицы 2

Необходимая мощность RANGE P _{нз} (кВт*ч) при его непостоянной работе	6,24				
Исходные данные 1					
Кол-во теплоты, выделяемое при сгорании 1 л природного газа	КПД бензинового ДВС	КПД электродвигателя	Масса Лада "ГРАНТА"	Масса двигателя	Масса выхлопной системы
G (КПГ) (МДж)	КПД (ДВС)(%)	КПД (электр)%	m ₁ (бенз) (кг)	m ₁₍₂₎ (двиг) (кг)	m ₁₍₃₎ (вых)(кг)
44	0,2	0,8	1180	112	15,25
Исходные данные 2					
Масса бензобака	Необходимый пробег x100 км	Масса электрических компонентов	Масса АКБ на 10 кВт*ч	Масса Электропривода	Плотность КПГ
m1(4) (кг)	S	m1(5) (кг)	m1(7) (кг)	m1(6) (кг)	p(КПГ) (кг/м3)
10	3	23	70	23	0,85
Исходные данные 3					
Зависимость удельного расхода от част. вращ. при 3000 об/мин	Кол-во CO ₂ в 1 л КПГ	Расход топлива в "смешанном режиме"	Удельная емкость АКБ	Средняя скорость движения	Среднее время движения
g _e (кг/кВт*ч)	Z	L(л/100км)	C	V _{ср} (км/ч)	T _{ср} (сек)
0,305	1,1	9	0,8	60	3600
Исходные данные 4					
Время движения	Мощность RANGE	Мощность RANGE	Мощность RANGE	Удельный вес железа	Расход REEV за 1
T (ч)	P ₁ (кВт)	P ₂ (кВт)	P ₃ (кВт)	M ₂ (г/см3)	L ₂ (л/кВт*ч)
5	3	5	9	7,85	0,3

Продолжение таблицы 2

Исходные данные 5					
Мощность RANGE (при непостоянной работе на 100 км)	Время движения 3	Необходимый пробег x100 км	Мощность RANGE	Время движения 4 (при 200 км)	Ежедневный запас хода
P4 (кВт)	T3 (ч)	S2	P5 (кВт)	T4 (ч)	J (км)
23,459	4	2	2	3,33	60
Исходные данные 6					
Мощность RANGE (при непостоянной работе на 200 км)	Необходимый пробег x100 км	Время движения 5 (при 100 км)	Мощность RANGE (при непостоянной работе на 100 км)	Масса кузова (без навесных элементов и узлов)	Удельный вес алюминия
P6 (кВт)	S3	T5 (ч)	P7 (кВт)	M (кг)	M3 (г/см ³)
12,903	1	1,66	10,56	360	2,698

На рисунке 16 показана зависимость количества выбросов CO₂ от величины пройденного пути при постоянной работе REEV.

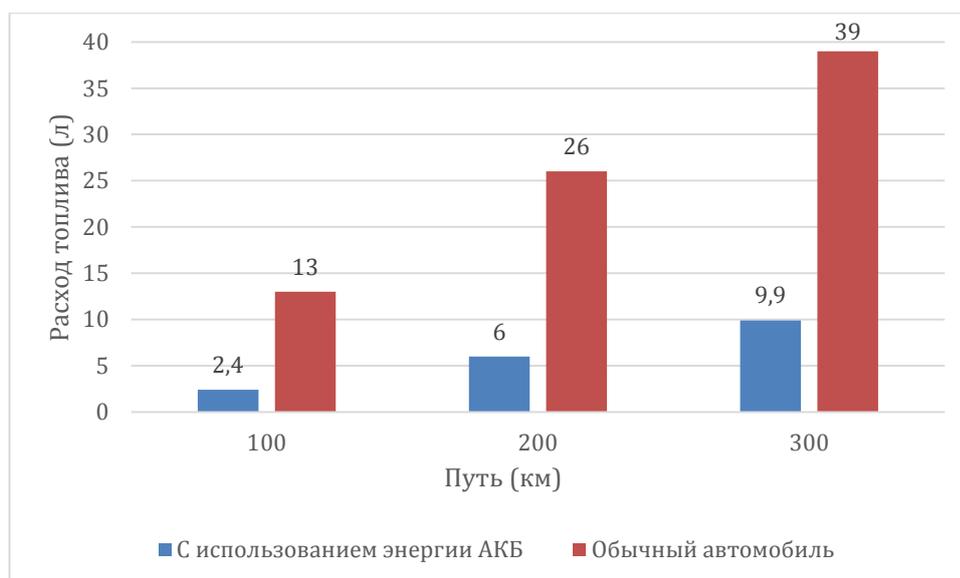


Рисунок 16 – Зависимость количества выбросов CO₂ от величины пройденного пути постоянной работе Range Extender

На основании выполненных расчетов очевидно, что чем больше процент электрификации автомобиля, тем меньше выбросов CO_2 . На рисунке 17 представлена зависимость количества выбросов CO_2 от процента электрификации автомобиля.

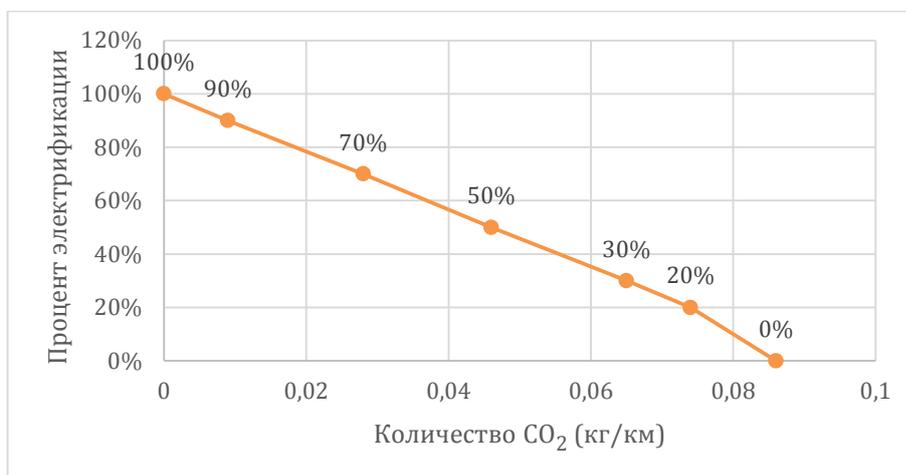


Рисунок 17 – Зависимость количества выбросов CO_2 от величины процента электрификации автомобиля

На рисунке 18 представлена зависимость необходимой мощности REEV от массы автомобиля. При уменьшении массы автомобиля необходимая мощность REEV соответственно становится меньше.

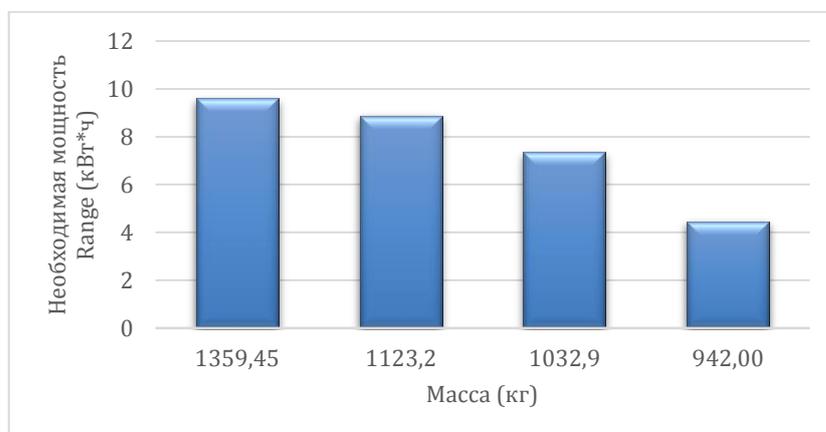


Рисунок 18 – Зависимость необходимой мощности Range от массы автомобиля

6 Экспериментальная оценка экономических и экологических показателей REEV

6.1 Общие положения

При выполнении работ принят экспериментальный метод исследований путём снятия характеристик двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что объясняется необходимостью получения результатов, в наибольшей степени соответствующих реальным значениям исследуемого объекта, и невозможностью выполнения данных исследований теоретическим методом, в связи со сложностью исследуемых процессов и их теоретического описания.

6.2 Цель испытаний

Целью данной работы является определение в условиях моторного стенда базовых характеристик ДВС, применяемого в составе силовой установки Range Extender, а также зависимости выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами двигателя.

При этом, в процессе подготовки и проведения испытаний выполнялись следующие работы:

- моторный бокс (стенд) оборудуется системой подачи топлива и средствами обеспечения её функционирования, включая средства измерений и управления;
- проводятся подготовительные и пуско-наладочные работы;

6.3 Объект испытаний

Объектами испытаний является поршневой, одноцилиндровый, четырёхтактный, с искровым зажиганием двигатель рабочим объёмом $V_h =$

0,6л. Конструкция двигателя и всех его систем (исключая электронную систему управления, ЭСУД), условия функционирования разработаны производителем двигателя.

6.4 Условия проведения испытаний

Испытания проводятся в моторном боксе, в котором содержится оборудование в соответствии с ГОСТ 14846 – 81.

По результатам измерений рассчитывают атмосферный фактор F по формуле:

- для двигателей без наддува

$$F = \left(\frac{99}{p_a}\right) \left(\frac{T_a}{298}\right)^{0,7} \quad (114)$$

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»

6.5 Методика испытаний

Подготовка стенда и методика испытаний двигателя.

Принципиальные схемы оснащения моторного бокса при работе на бензине и на газовом топливе приведены на рисунке 19. На рисунке приняты следующие обозначения:

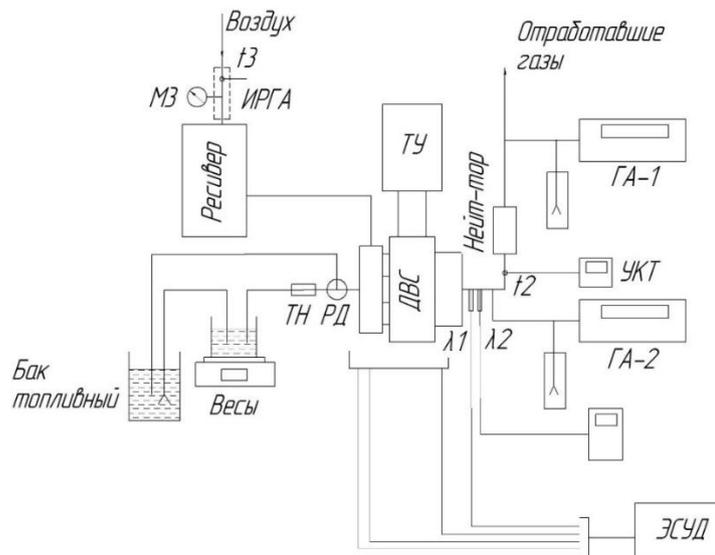


Рисунок 19 - Принципиальная схема испытательного стенда при работе ДВС на жидком топливе

- 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;
- $t1, t2, t3$ - датчики температур;
- ИРГА - измеритель расхода воздуха;
- ТУ - тормозное устройство;
- ЭСУД - электронная система управления двигателем;
- ДВС - двигатель внутреннего сгорания.

После подготовки систем бокса проводятся предварительные испытания, в результате которых определяются и уточняются необходимые параметры и настройки как самого стенда, так и измерительного оборудования.

Последовательность выполнения экспериментальной работы.

Экспериментальная работа выполняется 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).

Обработка результатов испытаний выполняется в следующем порядке:

Параметры работы ДВС определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81.

Определение других показателей, в частности, удельного расхода, среднего эффективного давления и др. производится по ГОСТ 14846-81.

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

$$e_i = 0,446\mu_i \frac{\sum_{j=1}^m C_{ij} V_{exhj} W_j}{P_b \sum_{j=1}^m \bar{P}_b W_j}, \quad (115)$$

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

P_e – номинальная или полная мощность двигателя, кВт;

\bar{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, об. %.

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:

$$V_{exhj} = V_{air} + F_f B, \quad (116)$$

где F_f — коэффициент приведения к нормальным атмосферным условиям расхода неразбавленных продуктов сгорания различных топлив ($\text{м}^3/\text{кг}$).

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

B — массовый расход топлива, $\text{кг}/\text{ч}$.

6.6 Программа испытаний

Испытания по циклу D2 ISO 8528-1 проводятся последовательно на всех режимах испытательного цикла согласно их нумерации в порядке возрастания.

На каждом режиме цикла фиксируются следующие показатели работы двигателя:

- расход топлива B , $\text{кг}/\text{ч}$;
- расход воздуха V_{air} , $\text{м}^3/\text{ч}$ или G_{air} , $\text{кг}/\text{ч}$;
- крутящий момент двигателя $M_{кр}$, Нм;
- частота вращения коленчатого вала 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.

В таблице 3 приведен испытательный цикл.

Таблица 3 - 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	-	-	-	-	-	-

Далее осуществляется пуск и прогрев двигателя. Прогрев двигателя осуществляется при нагрузке не менее 80% от объявленной (номинальной или полной) мощности до стабилизации параметров двигателя согласно рекомендациям изготовителя. Далее проводится измерения параметров двигателя по циклу. 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.

6.7 Комплектация ЭСУД двигателя и характеристика датчиков и исполнительных механизмов

Комплектация ЭСУД двигателя представлена в таблице 4.

Таблица 4 – 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

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 5 - Калибровка датчика давления

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

На рисунке 20 изображена зависимость напряжения (U_{Pa}) от давления (P_a).

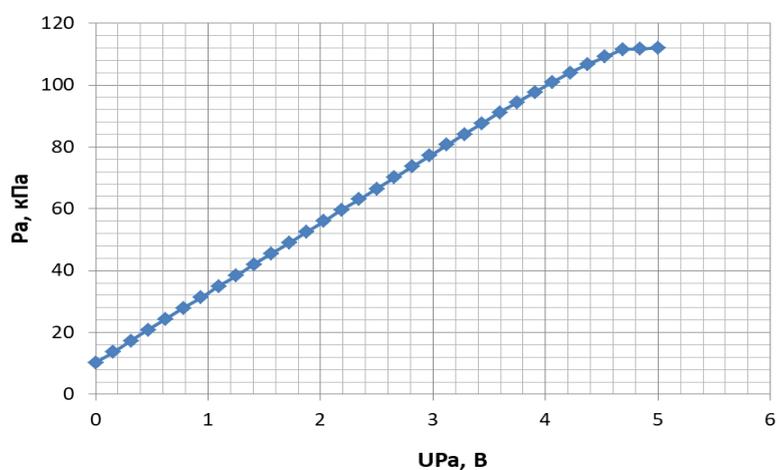


Рисунок 20 – Зависимость напряжения (U_{Pa}) от давления (P_a)

Таблица 6 - 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

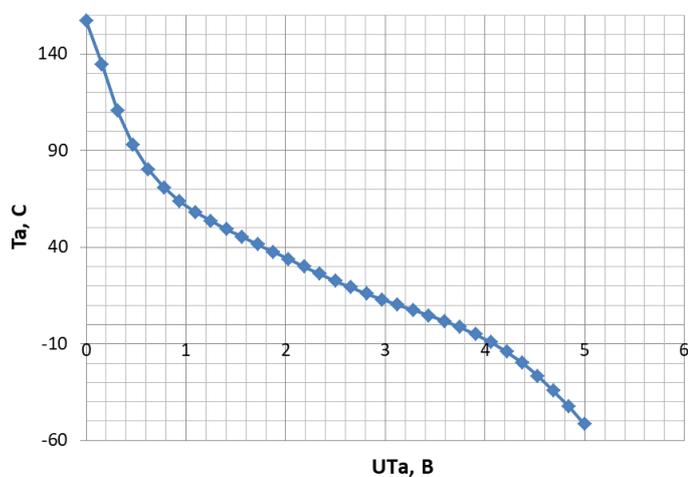


Рисунок 21 – Зависимость напряжения (U_{Ta}) от температуры (T_a)

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

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

Таблица 7 - 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

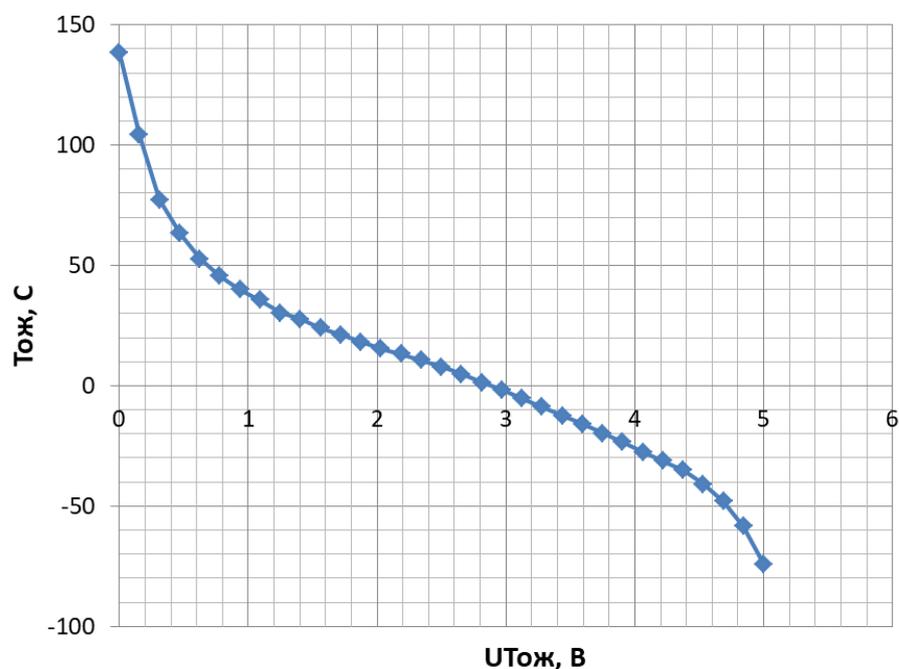


Рисунок 22 – Зависимость напряжения (U_{Тож}) от температуры охлаждающей жидкости (Т_{ож})

Таблица 8 - 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

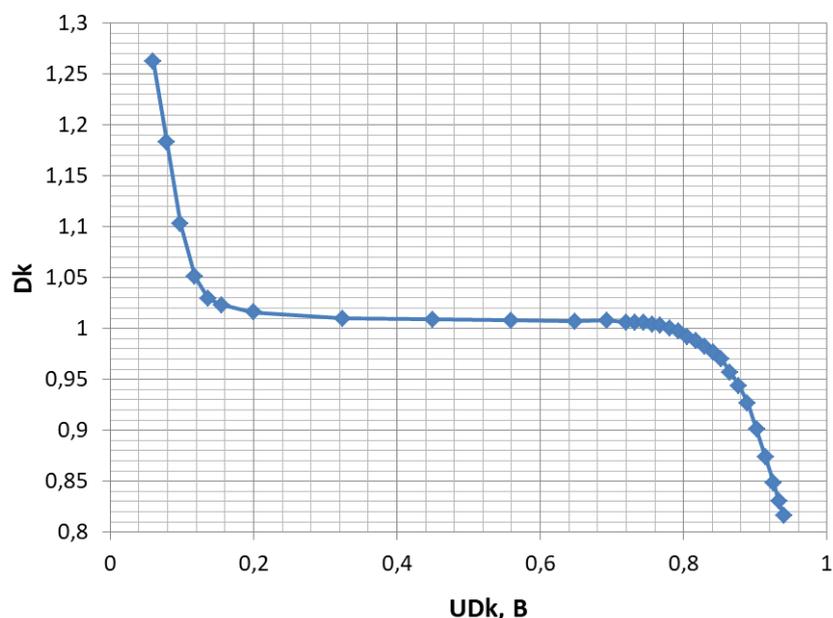


Рисунок 23 – Зависимость напряжения (UDk) от коэффициента избытка воздуха (Dk)

6.8 Результаты испытаний

Первичные результаты испытаний в виде протоколов представлены в приложении В.

На рисунке 24 представлено изменение удельного эффективного расхода топлива (нагрузочная характеристика).

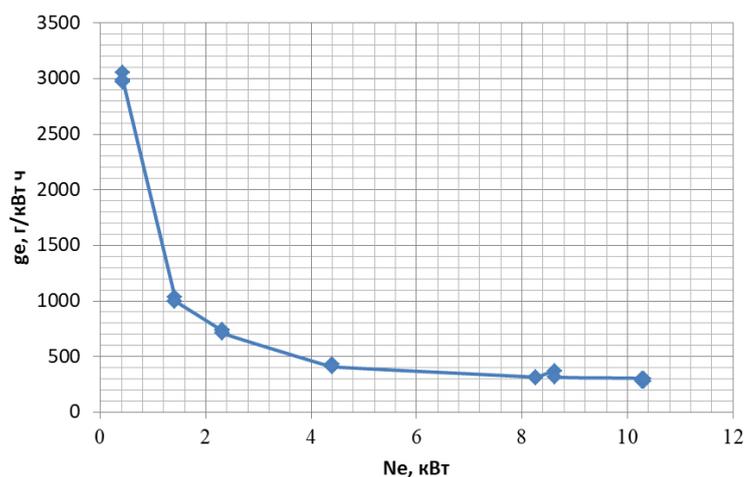


Рисунок 24 – Удельный эффективный расход топлива ($n = 3000 \text{ мин}^{-1}$)

В таблице 9 представлены результаты оценки токсичности отработавших газов и их сравнение с нормами ГОСТ 31967 -2012.

Таблица 9 – 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), e_{NO} , г/(кВт ч)	1,26	10	6
Удельный средневзвешенный выброс оксида углерода (CO), e_{CO} , г/(кВт-ч)	1,25	3,5	1,5
Удельный средневзвешенный выброс углеводородов (CH), e_{CH} , г/(кВт ч)	0,127	1	0,4

Заключение

В данной работе произведен анализ возможности выполнения перспективных норм токсичности REEV. Проведенный анализ показывает перспективность рынка электротранспорта и REEV. В ближайшие 10-12 лет прогнозируется значительное увеличение объема продаж, которые могут достигнуть примерно половину от продаж всех новых легковых автомобилей. Рынок REEV является сравнительно новым для РФ, однако ряд автомобильных лидеров, таких как BMW, AUDI начали серийное производство REEV.

Расчеты REEV производились для автомобиля производства АО «АВТОВАЗ» модели «ГРАНТА». В расчетах необходимой мощности REEV были произведены изменения максимального пробега, массы автомобиля, различных видов топлива и режимов работы самого REEV.

Расчеты позволяют сделать вывод, что:

- наиболее подходящим топливом для автомобилей является газовое топливо, которое на данный момент частично используется во всем мире;
- при использовании REEV с учетом его максимального пробега 300 км и непостоянной работе самого двигателя автомобиль выполняет норму токсичности Евро-6;
- при использовании REEV показатели CO_2 , расход топлива электромобиля уменьшаются в 4 раза, по сравнению с обычным автомобилем.
- автомобиль с двигателем REEV является электромобилем, т.к. он использует только лишь электротягу.

Список используемых источников

1. Прогрессивная электрификация автотранспортных средств Рональд М. Делл,... Дэвид А.Джей Рэнд, в К устойчивому развитию автомобильного транспорта, 2014 г.[электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/extended-range-electric-vehicle> (дата обращения: 15.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Обзор электромобилей как альтернативы замены бензиновых автомобилей. [Электронный ресурс] URL: [BEV, EREV, PHEV, HEV – What Do They Mean? Here's Your Electric Vehicle Dictionary - Current EV Blog](#) (дата обращения: 18.02.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Рынок электроавтомобилей: анализ, перспективы, ситуация в России. [Электронный ресурс] URL: <https://vc.ru/u/798640-varvara-kiseleva/241028-rynok-elektroavtomobiley-analiz-perspektivy-situaciya-v-rossii#:~:text=%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D1%80%D1%8B%D0%BD%D0%BA%D0%B0%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%B9%20%D0%B2%D0%BE,%D0%B1%D0%BE> (дата обращения: 18.04.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Обзор 10 плагин-гибридов с наибольшим запасом хода на электротяге. [Электронный ресурс] URL: <https://hev cars.com.ua/reviews/top-10-plagin-gibridov-s-naibolshim-zapasom-hoda-na-elektrotyage/> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. 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>

6. 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.

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

8. 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.

9. 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)

10. 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)

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

12. Ismail Kasikci. Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909, Second edition. 2017. – 298 с.

13. LJ Myatt. Symmetrical Components. Elsevier Ltd, 1968. – 184 с.

14. Philip Kiameh. Power Plant Electrical Equipment and Systems Handbook. Second edition. 2013. – 583 с.

15. M. Laughton, D. Warne. Electrical Engineer’s Reference Book. Sixteenth edition. 2003. – 396 с.

16. Электро-компакт BMW i3 //

URL: https://auto.ironhorse.ru/bmw-i3_3360.html (дата обращения: 05.03.2021).

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. The Electric Vehicle Outlook is Bloomberg NEF // 2020 Bloomberg Finance L.P. URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook> (accessed on 15 March 2021)

21. 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: 15.05.2021)

22. Рынок электромобилей в России за 9 месяцев 2019 года [Электронный ресурс] // Автостат, 11.11.2019 // URL: <https://www.autostat.ru/infographics/41715/> (дата обращения: 23.04.2021)

23. Вахнина В.В., Горячева В.Л., Степкина Ю.В. Проектирование электромобилей: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. – Тольятти: ТГУ, 2004. – 92 с.

24. Крючков И.П. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие. - Москва, МЭИ, 2009. – 414 с.

25. Кузнецов С.М. Расчет емкостных параметров различных типов аккумуляторных батарей: учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. 92 с.

26. Ковалев И.Н. Электродвигатели: учебник. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 363 с.

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.

Приложение А

Формулы для расчета REEV двигателей на КПГ

За базовый автомобиль была взята Лада «Гранта», так как это один из самых распространенных и хорошо продаваемых автомобилей из линейки волжского автозавода за последние 7 лет. В качестве топлива для REEV используется КПГ. Все базовые характеристики, масса кузова и всех запасных частей были взяты из данного автомобиля.

Расчет REEV для автономного пробега в 300 км:

$$Q_1 = G \cdot L \cdot p / O_1, \quad (1)$$

где Q_1 - количество энергии ДВС, необходимая для прохождения дистанции длиной 1 км (МДж);

G (бенз) - количество теплоты, выделяемое при сгорании 1 л КПГ (МДж);

L - расход топлива в "смешанном режиме" (л/100 км);

p (бенз) – плотность газа (кг/м³);

O_1 – пробег равный 100 (км).

$$Q_2 = Q_1 \cdot N_1, \quad (2)$$

где Q_2 - количество полезной энергии ДВС (МДж);

Q_1 - количество энергии ДВС, необходимая для прохождения дистанции длиной 1 км (МДж);

N_1 – КПД газового ДВС (%).

$$Q_3 = Q_2 \cdot N_2, \quad (3)$$

где Q_3 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);

Q_2 - количество полезной энергии ДВС(МДж);

N_2 – КПД электродвигателя (%).

Продолжение Приложения А

$$Q_4 = Q_3 / C, \quad (4)$$

где Q_4 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);

Q_3 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);

C – удельная емкость литий-ионных АКБ.

$$C_1 = Q_4 \cdot V_{cp} / T_{cp} \cdot 1000, \quad (5)$$

где C_1 - ёмкость АКБ, необходимая для прохождения 100 км с бензиновым ДВС (кВт·ч);

Q_4 - количество полезной энергии электромобиля (МДж);

V_{cp} – средняя скорость движения (км/ч);

T_{cp} – среднее время движения (ч).

$$C_2 = S \cdot C_1, \quad (6)$$

где C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);

S – пробег, необходимый для обеспечения автономности автомобиля (км);

C_1 - ёмкость АКБ, необходимая для прохождения 100 км на обычном автомобиле с бензиновым ДВС (кВт*ч).

$$m_2 = m_1 - m_{1(2)} - m_{1(3)} - m_{1(4)} + m_{1(5)} + m_{1(6)}, \quad (7)$$

где m_2 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но без учета веса АКБ (кг);

m_1 – масса Лада «Гранта» с бензиновым ДВС (кг);

$m_{1(2)}$ – масса 8-ми клапанного ДВС (кг);

$m_{1(3)}$ – масса выхлопной системы (кг);

$m_{1(4)}$ – масса бензобака (кг);

$m_{1(5)}$ – масса электрокомпонентов (кг);

Продолжение Приложения А

$m_{1(6)}$ – масса электропривода (кг).

$$C_3 = C_2 / T, \quad (8)$$

где C_3 - ёмкость АКБ при m_2 , которая необходима обеспечения движения автомобиля в течение 1 часа (кВт·ч);
 T – время движения (ч).

$$m_{2(2)} = m_2 \cdot (C_2 / 10 \cdot m_{1(7)}), \quad (9)$$

где $m_{2(2)}$ – масса Лада «Гранта» электрической с учетом веса АКБ (кг);
 C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S без учета массы АКБ (кВт·ч);
 $m_{1(7)}$ – масса АКБ при мощности 10 кВт·ч (кг).

$$C_{2(2)} = C_2 \cdot m_{2(2)} / m_2 \quad (10)$$

где $C_{2(2)}$ - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт·ч);
 C_2 - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S без учета массы АКБ (кВт·ч);
 $m_{2(2)}$ – масса Лада «Гранта» электрической с учетом веса АКБ (кг);
 m_2 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но без учета веса АКБ (кг).

$$C_4 = C_{2(2)} / S, \quad (11)$$

где C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);
 $C_{2(2)}$ - ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт·ч);
 S – необходимый пробег, для того чтобы автомобиль считался автономным (км).

Продолжение Приложения А

$$C_{3(2)} = C_{2(2)} / T, \quad (12)$$

где $C_{3(2)}$ – ёмкость АКБ, необходимая для осуществления движения автомобиля в течение 1 часа (кВт·ч);

$C_{2(2)}$ – ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S с учетом массы АКБ (кВт·ч);

T – время движения (ч).

Расчет зависимости показателя CO_2 от процента электрификации автомобиля:

$$Z_{(20\%)} = C_4 \cdot K_1 \cdot g_e / p_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (13)$$

где $Z_{(20\%)}$ – показатель CO_2 при K_1 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_1 – процент электрификации (%);

g_e – зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$p_{(6)}$ – плотность КПП (кг/м³);

Z – количество CO_2 на 1 литр КПП;

O_1 – пробег равный 100 (км);

$$Z_{(20\%)} = C_4 \cdot K_2 \cdot g_e / p_{(6)} \cdot Z / O_1, \quad (14)$$

где $Z_{(30\%)}$ – показатель CO_2 при K_2 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_2 – процент электрификации (%);

g_e – зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

Продолжение Приложения А

Z – количество CO_2 на 1 литр газа;

O_1 – пробег равный 100 (км).

$$Z_{(50\%)} = C_4 \cdot K_3 \cdot g_e / p_{(\bar{o})} \cdot Z / O_1, \quad (15)$$

где $Z_{(50\%)}$ - показатель CO_2 при K_3 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_3 – процент электрификации (%);

g_e - зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$p_{(\bar{o})}$ – плотность КПП (кг/м³);

Z – количество CO_2 на 1 литр КПП.

$$Z_{(70\%)} = C_4 \cdot K_4 \cdot g_e / p_{(\bar{o})} \cdot Z / O_1, \quad (16)$$

где $Z_{(70\%)}$ - показатель CO_2 при K_4 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт*ч);

K_4 – процент электрификации (%);

g_e - зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт*ч);

$p_{(\bar{o})}$ – плотность бензина АИ-95 (кг/м³);

Z – количество CO_2 на 1 литр КПП.

$$Z_{(90\%)} = C_4 \cdot K_5 \cdot g_e / p_{(\bar{o})} \cdot Z / O_1, \quad (17)$$

где $Z_{(90\%)}$ - показатель CO_2 при K_5 ;

C_4 – ёмкость АКБ, необходимая для обеспечения движения автомобиля на 100 км (кВт·ч);

K_5 – процент электрификации (%);

Продолжение Приложения А

g_e - зависимость удельного расхода от частоты вращения при 3000 об/мин⁻¹ (кг/кВт·ч);

$p_{(6)}$ – плотность КПП (кг/м³);

Z – количество CO₂ на 1 литр КПП;

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_r = P_1 \cdot T, \quad (18)$$

где A_r – работа Range (кВт·ч);

P_1 – мощность Range (кВт);

T – время работы Range,

$$C_r = C_{2(2)} - A_r, \quad (19)$$

где C_r - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X = A_r \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (20)$$

где X – процент работы Range от общего времени.

$$Y = X \cdot Z_{(70\%)} / K_{1(4)}, \quad (21)$$

где Y – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(4)}$ – процент электрификации.

$$L_3 = A_r \cdot L_2 \quad (22)$$

где L_3 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Продолжение Приложения А

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_{r(2)} = P_2 \cdot T, \quad (23)$$

где $A_{r(2)}$ – работа Range (кВт·ч);

P_2 – мощность Range (кВт).

$$C_{r(2)} = C_{2(2)} - A_{r(2)}, \quad (24)$$

где $C_{r(2)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{(2)} = A_{r(2)} \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (25)$$

где $X_{(2)}$ – процент работы Range от общего времени.

$$Y_{(2)} = X_{(2)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(3)} \quad (26)$$

где $Y_{(2)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(3)}$ – процент электрификации.

$$L_{3(2)} = A_{r(2)} \cdot L_2, \quad (27)$$

где $L_{3(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход Range за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 9 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 300 км:

$$A_{r(3)} = P_3 \cdot T, \quad (28)$$

где $A_{r(3)}$ – работа Range (кВт·ч);

P_3 – мощность Range (кВт).

Продолжение Приложения А

$$C_{r(3)} = C_{2(2)} - A_{r(3)}, \quad (29)$$

где $C_{r(3)}$ - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{(3)} = A_{r(3)} \cdot 100 / C_{2(3)}, \quad (30)$$

$X_{(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{(3)} = X_{(3)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(5)}, \quad (31)$$

где $Y_{(3)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{3(3)} = A_{r(3)} \cdot L_3, \quad (32)$$

где $L_{3(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_3 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 300 км:

$$A_{r2} = C_{3(2)} \cdot T_3, \quad (33)$$

где A_{r2} – работа Range (кВт·ч);

T_3 – время движения (ч).

$$C_{r2} = C_{2(2)} - A_{r2}, \quad (34)$$

где C_{r2} - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_2 = A_{r2} \cdot 100 / C_{2(2)}, \quad (35)$$

где X_2 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_2 = X_2 \cdot Z_{(20\%)} / K_{1(5)}, \quad (36)$$

Продолжение Приложения А

где Y_2 – количество CO_2 (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_4 = A_{r2} \cdot L_2, \quad (37)$$

где L_4 – расход топлива REEV (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет REEV для автономного пробега в 200 км:

$$C_5 = C_1 \cdot S_2, \quad (38)$$

где C_5 – ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S_2

при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);

S_2 – необходимый пробег (200 км) (км).

$$m_3 = m_2 + (C_5 / 10 \cdot m_{1(7)}), \quad (39)$$

где m_3 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических элементов, но с учетом веса АКБ (кг).

$$C_{5(2)} = C_5 \cdot m_3 / m_2, \quad (40)$$

где $C_{5(2)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения дистанции 200 км при m_3 .

$$C_6 = C_{5(2)} / T_4, \quad (41)$$

где C_6 – ёмкость АКБ при m_3 необходимая для осуществления 1 часа езды (кВт·ч);

T_4 – время движения при необходимом пробеге 200 км (ч).

$$C_7 = C_{5(2)} / S_2, \quad (42)$$

Продолжение Приложения А

где C_7 – ёмкость АКБ необходимая для осуществления движения 100 км (кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 200 км:

$$A_{r3} = P_1 \cdot T_4, \quad (43)$$

где A_r – работа REEV (кВт·ч);

P_1 – мощность REEV (кВт);

T_4 – время работы REEV.

$$C_{r3} = C_{5(2)} - A_{r3}, \quad (44)$$

где C_{r3} - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_3 = A_{r3} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (45)$$

где X_3 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_3 = X_3 \cdot Z_{(20\%)} / K_{1(4)}, \quad (46)$$

где Y_3 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(4)}$ – процент электрификации.

$$L_5 = A_{r3} \cdot L_2, \quad (47)$$

где L_5 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Продолжение Приложения А

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 200 км:

$$A_{r3(2)} = P_2 \cdot T_4, \quad (48)$$

где $A_{r3(2)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r3(2)} = C_{5(2)} - A_{r3(2)}, \quad (49)$$

где $C_{r3(2)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{3(2)} = A_{r3(2)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (50)$$

где $X_{3(2)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{3(2)} = X_{2(2)} \cdot Z_{(50\%)} / K_{1(3)}, \quad (51)$$

где $Y_{3(2)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(3)}$ – процент электрификации.

$$L_{5(2)} = A_{r3(2)} \cdot L_2, \quad (52)$$

где $L_{5(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 2 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r3(3)} = P_5 \cdot T_4, \quad (53)$$

где $A_{r3(3)}$ – работа REEV (кВт·ч).

Продолжение Приложения А

$$C_{r3(3)} = C_{5(2)} - A_{r3(3)}, \quad (54)$$

где $C_{r3(3)}$ - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{3(3)} = A_{r3(3)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (55)$$

где $X_{3(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{3(3)} = X_{3(3)} \cdot Z_{(20\%)} / K_{1(5)}, \quad (56)$$

где $Y_{3(3)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{1(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{5(3)} = A_{r3(3)} \cdot L_2, \quad (57)$$

где $L_{5(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 200 км:

$$A_{r4} = C_6 \cdot (T_3 - 1), \quad (58)$$

где A_{r4} – работа REEV (кВт·ч);

T_3 – время движения (ч).

$$C_{r4} = C_{5(2)} - A_{r4}, \quad (59)$$

где C_{r4} - ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_4 = A_{r4} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (60)$$

где X_4 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_4 = X_4 \cdot Z_{(30\%)} / K_{1(4)}, \quad (61)$$

Продолжение Приложения А

где Y_4 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(4)}$ – процент электрификации.

$$L_6 = A_{r4} \cdot L_2, \quad (62)$$

где L_6 – расход топлива REEV (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Оценка емкости для автономного пробега в 100 км:

$$C_8 = C_1 \cdot S_3, \quad (63)$$

где C_8 – ёмкость АКБ, которая потребуется для прохождения пути S_2

при массе автомобиля без учета АКБ (кВт·ч);

S_3 – необходимый пробег (100 км) (км).

$$m_4 = m_2 + (C_8 / 10 \cdot m_{I(7)}), \quad (64)$$

где m_4 – масса автомобиля лада «Гранта», с учетом электрических

элементов, но с учетом веса АКБ (кг).

$$C_9 = C_8 \cdot m_4 / m_2, \quad (65)$$

где C_9 – ёмкость АКБ необходимая для прохождения дистанции 100 км

при m_3 .

$$C_{10} = C_9 / T_5, \quad (66)$$

где C_9 – ёмкость АКБ при m_3 необходимая для осуществления 1 часа

езды (кВт·ч).

T_5 – время движения при необходимом пробеге 100 км (ч).

Продолжение Приложения А

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 3 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути (100 км):

$$A_{r5} = P_1 \cdot T_5, \quad (67)$$

где A_{r5} – работа REEV (кВт·ч);

P_1 – мощность REEV (кВт);

T_5 – время работы REEV.

$$C_{r5} = C_9 - A_{r5}, \quad (68)$$

где C_{r5} – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_5 = A_{r5} \cdot 100 / C_9, \quad (69)$$

где X_5 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_5 = X_5 \cdot Z_{(80\%)} / K_{I(1)}, \quad (70)$$

где Y_5 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(1)}$ – процент электрификации.

$$L_7 = A_{r5} \cdot L, \quad (71)$$

где L_7 – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 5 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r5(2)} = P_2 \cdot T_5, \quad (72)$$

Продолжение Приложения А

где $A_{r5(2)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r5(2)} = C_9 - A_{r5(2)}, \quad (73)$$

где $C_{r5(2)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{5(2)} = A_{r5(2)} \cdot 100 / C_9, \quad (74)$$

где $X_{5(2)}$ – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_{5(2)} = X_{5(2)} \cdot Z_{(70\%)} / K_{I(3)}, \quad (75)$$

где $Y_{5(2)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(3)}$ – процент электрификации;

$$L_{7(2)} = A_{r5(2)} \cdot L_2, \quad (76)$$

где $L_{7(2)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при постоянной работе REEV с мощностью 2 кВт при его постоянной работе на протяжении всего пути - 100 км:

$$A_{r5(3)} = P_5 \cdot T_5, \quad (77)$$

где $A_{r5(3)}$ – работа REEV (кВт·ч).

$$C_{r5(3)} = C_9 - A_{r5(3)}, \quad (78)$$

где $C_{r5(3)}$ – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_{5(3)} = A_{r5(3)} \cdot 100 / C_{5(2)}, \quad (79)$$

где $X_{5(3)}$ – процент работы REEV от общего времени.

Продолжение Приложения А

$$Y_{5(3)} = X_{5(3)} \cdot Z_{(90\%)} / K_{I(5)}, \quad (80)$$

где $Y_{5(3)}$ – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(5)}$ – процент электрификации.

$$L_{7(3)} = A_{r5(3)} \cdot L_2, \quad (81)$$

где $L_{7(3)}$ – расход топлива (л/кВт·ч);

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт·ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV - 100 км:

$$A_{r6} = C_{10} \cdot (T_5 - 1), \quad (82)$$

где A_{r6} – работа range (кВт·ч);

T_5 – время движения (ч).

$$C_{r6} = C_9 - A_{r6}, \quad (83)$$

где C_{r6} – ёмкость АКБ (кВт·ч).

$$X_6 = A_{r6} \cdot 100 / C_9, \quad (84)$$

где X_6 – процент работы REEV от общего времени.

$$Y_6 = X_6 \cdot Z_{(30\%)} / K_{I(4)}, \quad (85)$$

где Y_6 – количество CO₂ (кг/км);

$K_{I(4)}$ – процент электрификации.

$$L_8 = A_{r6} \cdot L_2, \quad (86)$$

где L_8 – расход топлива REEV (л/кВт·ч);

Продолжение Приложения А

L_2 – расход REEV за 1 ч работы (л/кВт*ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 300 км:

$$m_5 = m_{2(2)} - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (87)$$

где m_5 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом (кг);

M – масса кузова без навесных элементов и узлов (кг);

M_2 – удельный вес железа (г/см³);

M_3 – удельный вес алюминия (г/см³).

$$C_{11(1)} = C_2 \cdot m_5 / m_2, \quad (88)$$

где $C_{11(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при m_5 (кВт·ч).

$$C_{11(2)} = C_{11(1)} / S, \quad (89)$$

где $C_{11(2)}$ – ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

$$Z_2 = C_{11(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (90)$$

где Z_2 – показатель CO₂ (кг/км).

$$Z_{2(2)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (91)$$

где $Z_{2(2)}$ – показатель CO₂ (кг/км).

$$Z_{2(3)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (92)$$

где $Z_{2(3)}$ – показатель CO₂ (кг/км).

Продолжение Приложения А

$$Z_{2(4)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(2)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (93)$$

где $Z_{2(4)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{2(5)} = C_{11(2)} \cdot K_{1(1)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (94)$$

где $Z_{2(5)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$P_{nl} = (C_{11(1)} - C_{11(2)}) / (T - 2), \quad (95)$$

где P_{nl} – необходимая мощность REEV на 300 км (кВт · ч).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 200 км:

$$m_6 = m_3 - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (96)$$

где m_6 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом (кг);

M – масса кузова без навесных элементов и узлов (кг);

M_2 – удельный вес железа (г/см³);

M_3 – удельный вес алюминия (г/см³).

$$C_{12(1)} = C_2 \cdot m_6 / m_2, \quad (97)$$

где $C_{12(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при m_5 (кВт·ч).

$$C_{12(2)} = C_{12(1)} / S_2, \quad (98)$$

где $C_{12(2)}$ – ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

Продолжение Приложения А

$$Z_3 = C_{12(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (99)$$

где Z_3 – показатель O_2 (кг/км).

$$Z_{3(2)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (100)$$

где $Z_{3(2)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(3)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (101)$$

где $Z_{3(3)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(4)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(2)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (102)$$

где $Z_{3(4)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{3(5)} = C_{12(2)} \cdot K_{1(1)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (103)$$

где $Z_{3(5)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$P_{n2} = (C_{12(1)} - C_{12(2)}) / (T - 1), \quad (104)$$

где P_{n2} – необходимая мощность REEV на 200 км (кВт).

Расчет необходимой ёмкости АКБ при непостоянной работе REEV на протяжении всего пути с облегченным кузовом за счет использования алюминия - 100 км:

$$M_7 = m_4 - M + (M / (M_2 / M_3)), \quad (105)$$

где m_7 – масса Лада «Гранты» электрической с алюминиевым кузовом (кг);

M_2 – удельный вес железа ($г/см^3$);

M_3 – удельный вес алюминия ($г/см^3$).

Продолжение Приложения А

$$C_{13(1)} = C_2 \cdot m_6 / m_2, \quad (106)$$

где $C_{12(1)}$ – ёмкость АКБ необходимая для прохождения пути 300 км при m_5 (кВт·ч).

$$C_{13(2)} = C_{13(1)} / S_3, \quad (107)$$

где $C_{12(2)}$ - ёмкость АКБ необходимая для осуществления движение на 1 ч при m_5 (кВт·ч).

$$Z_4 = C_{13(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (108)$$

где Z_4 – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{4(2)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(4)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (109)$$

где $Z_{4(2)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{4(3)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(3)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (110)$$

где $Z_{4(3)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{4(4)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(2)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (111)$$

где $Z_{4(4)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$Z_{4(5)} = C_{13(2)} \cdot K_{1(1)} \cdot g_e / p \cdot Z / O_1, \quad (112)$$

где $Z_{4(5)}$ – показатель CO_2 (кг/км).

$$P_{n3} = (C_{13(1)} - C_{13(2)}) / T, \quad (113)$$

где P_{n2} – необходимая мощность REEV на 100 км (кВт · ч).