

Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель»

12, декабрь 2012

DOI: 10.7463/1212.0499839

Блохин А.Н., Грошев А.М., Козлова Т.А., Яржемский А.Д., Серопян М.С.

УДК 629.113

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

a.n.blokhin@gmail.com

groshevnm@mail.ru

miss.osja@yandex.ru

m-video@mail.ru

besmelkon@mail.ru

В настоящее время усиливается отрицательное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду, растет количество промышленных предприятий, транспортных средств, электро- и теплостанций [1].

В нашей стране по данным Министерства Природных Ресурсов и Экологии РФ 42 % загрязнения атмосферы приходится на выбросы автотранспорта, а в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург) до 80-90 %.

В 2012 году на планете насчитывается порядка 800 млн. автомобилей, к 2030 г. аналитики прогнозируют двух кратное увеличение автомобилей, т.е. до 1,6 млрд., поэтому проблема загрязнений становится глобальнее с каждым годом.

С выхлопом в атмосферу выбрасываются такие вредные вещества, как сернистые и азотистые соединения, углеводороды, СО, формальдегиды и т.д., что так же неблагоприятно сказывается на экологии. Это приводит к росту заболеваний дыхательных путей, аллергии, заболеваний кровеносной системы. По статистике, 225 тысяч человек ежегодно умирает в Европе от заболеваний связанных с выхлопными газами. Кроме этого, из-за выбросов парниковых газов (например, СО₂) возрастает опасность глобального потепления.

По результатам экологических исследований, проведенных Международным энергетическим агентством в 2010 году, выбросы СО₂ приходящиеся на транспорт составляют порядка 26 %, причем на автомобильный транспорт (легковые, грузовые автомобили, автобус и мотоциклы) приходится 73,5 % (рисунок 1).



Рис. 1 – Структура мировых выбросов CO₂ от транспортного сектора экономики по данным ИЕА

Проблема загрязнения окружающей среды и глобального потепления является приоритетной для всех развитых стран мира.

Известно, что в Европе в настоящее время действуют экологические нормы Евро 5. Дополнительно к этим нормам в европейском Союзе (ЕС) в апреле 2009 г. приняты Правила № 443/2009, касающиеся ограничения выбросов CO₂, в соответствии с которыми поставлена цель к 2012 г. по всему парку от новых легковых автомобилей и грузовых до 3,5 т. достичь выбросов 120 г/км; а к 2020 г. до 95 г/км.

В нашей стране утверждена государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (распоряжение Правительства РФ от 27.12.2010 г. № 2446-р). В соответствии с целевыми индикаторами и показателями реализации подпрограммы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на транспорте» (Приложение № 13) в 2012 г. доля легковых автомобилей с гибридной силовой установкой и электромобилей среди продаваемых новых автомобилей должна быть не менее 1,4 % (не менее 35 000 шт. в год), а к 2020 г. увеличиться до 4,6 %.

Основными способами снижения выбросов CO₂ в мире считаются улучшение топливной экономичности автомобилей, применение биотоплив, использование комбинированных энергоустановок (гибридов) и применение электромобилей (рисунок 2).

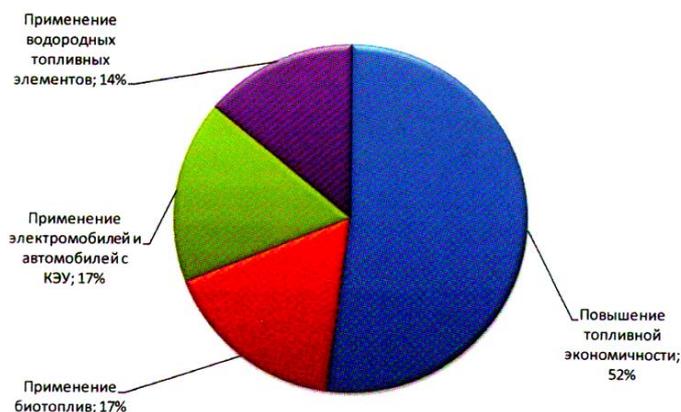


Рис. 2 – Структура методов снижения CO₂ по данным ИЕА

Сравнительно дешевые резервы повышения топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания исчерпываются, а разработка новых систем, соответствующих новым нормам и требованиям ЕЭК ООН обходится слишком дорого. Установлено, что удорожание стоимости легкового автомобиля только за установку систем, обеспечивающих переход от Евро III к Евро IV составляет порядка 1000\$.

В настоящее время автомобили с гибридной силовой установкой (гибриды) и электромобили приобретают все большую популярность. Электрификация транспорта путем перехода к гибридам и электромобилям безусловно улучшит экологическую обстановку в городах, но полностью при этом не решает экологических проблем, поскольку эти проблемы переходят из транспортного сектора в энергетический. Однако контролировать выбросы вредных веществ электростанций, производящих электроэнергию для электромобилей или гибридных транспортных средств гораздо проще и дешевле, чем всех эксплуатирующихся транспортных средств. Переходу к электромобилям и гибридным транспортным средствам также способствует существенный рост цен на нефть в мире, который в свою очередь приводит к увеличению стоимости автомобильного топлива (рисунок 3).



Рис. 3 – Изменение мировых цен на нефть Brent

Сдерживающим фактором массового применения электромобилей на сегодняшний день является высокая стоимость аккумуляторных батарей – основной составляющей стоимости транспортного средства. Аккумуляторные батареи занимают много полезного пространства и значительно снижают грузоподъемность автомобилей. Однако с каждым годом их массово-энергетические характеристики улучшаются при одновременном снижении стоимости.

Следует отметить, что гибридные автомобили в настоящее время имеют тенденции к увеличенным пробегам только на электротяге без использования двигателя внутреннего сгорания, например, у Chevrolet Volt до 64 км (40 миль), поэтому суммарная энергоемкость аккумуляторных батарей у гибридов тоже увеличивается.

Исследованиями и производством аккумуляторных батарей занимаются и в нашей стране. В 2011 г. в г. Новосибирск открылся завод по производству современных высокоемких литий-ионных аккумуляторов для электротранспорта и энергетики (компания «ЛитоТех»), изготавливаемых по технологиям компании Winston Battery (Китай). Современные литий-железо-фосфатные аккумуляторы, выпускаемые Winston Battery имеют энергоемкость

до 100 Вт*ч/кг и числом циклов заряда-разряда до 6000, что значительно превосходят возможности тяговых свинцовых аккумуляторных батарей.

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что исследование и создание гибридных транспортных средств и электромобилей является актуальной проблемой. Решение данной проблемы усложняется и тем, что пока не существует единой общепринятой классификации данных транспортных средств. Поэтому, разделим электромобили и гибриды по классам только в зависимости от грузоподъемности:

1) Мини-электромобили – являются промежуточным вариантом между автомобилем и мотоциклом;

2) Электромобили по своей вместительности и грузоподъемности соответствующие мало- и средне-литражным легковым автомобилям;

3) Электромобили класса микро-автобусов и мини-грузовиков грузоподъемностью до 1,5 тонны (класс легких коммерческих автомобилей LCV). Аналоги – Грузовой электромобиль Edison с полной массой до 3,5 тонны, Peugeot eMonarch (электробус) и Peugeot eBoxer (грузовой электромобиль с металлическим фургоном);

4) Электромобили с грузоподъемностью до 3 тонн. Аналоги - электромобили «Фарадей» и Modex;

5) Электромобили грузоподъемностью до 5 тонн и электробусы вместительностью около 50 мест. Аналог - электромобиль «Ньютон» с полной массой 7,2 тонны;

6) Электромобили грузоподъемностью более 5 тонн, в том числе и в виде седельных тягачей;

7) Электромобили большой вместимости, в том числе с гибридным приводом. При эксплуатации таких гибридных конструкций электробусов экономия моторного топлива достигает 35 %;

Производство электромобилей второго и третьего типоразмеров является задачей первоочередного порядка. Эти типы электромобилей должны иметь расширенные возможности по универсальности, так как потребуются для замены части легковых, небольших грузовых автомобилей и микроавтобусов разных назначений в городских условиях и в сельской местности.

Применительно к Российской Федерации следует отметить, что по техническому уровню легковые автомобили малого и среднего классов существенно проигрывают своим зарубежным аналогам и создавать конкурентоспособный электромобиль на их основе не целесообразно. В тоже время Россия является мировым лидером по выпуску легких коммерческих автомобилей. Диаграмма, характеризующая состояние автомобильного рынка в России в 2011 г. представлена на рисунке 4.

Основными автомобилями, выпускаемыми Группой ГАЗ, как известно, является модели «ГАЗель», которые входят в LCV сегмент и пользуются большим спросом на рынке не только в нашей стране, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Они имеют большое количество модификаций с разными типами кузовов (бортовой вариант, цельнометаллический фургон, микроавтобус) и колесной формулой (задне- или

полноприводные автомобилями), чем обеспечивается удовлетворение потребностей в различных областях народного хозяйства.

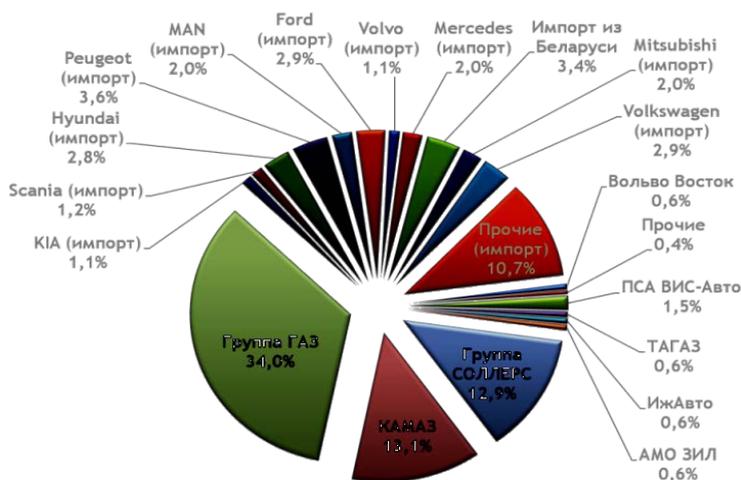


Рис. 4 – Рынок коммерческого транспорта в России

Поэтому, в условиях России целесообразно на шасси автомобилей «ГАЗель» разрабатывать электромобили из класса LCV.

Разрабатываемые в настоящее время электромобили должны соответствовать не только современным требованиям, но и требованиям перспективы. Технические характеристики лучших мировых аналогов транспортных средств с электроприводом, планируемых к серийному выпуску в 2012 г. представлены в таблице 1. Их внешний вид - на рисунке 5 [2, 3].

Таблица 1 – Технические характеристики, выпускаемых серийный электромобилей

Модель	Modec	Edison	EcoDaily Electric 35S	Ford Transit Electric	ZeroTruck
Максимальная мощность двигателя, кВт (л.с.)	76,1 (102)	90 (120,6)	Номин 30 (40) Пик. - 60 (81)	55 (280)	100 (134)
Масса: Полная масса, т Грузоподъемность, т	5,49 2,0	3,5 или 4,6 1,22 или 2,3	3,5	3,5 0,7	5,4...8.1 2,3...4,9
Максимальная скорость, км/ч	80	80	70	120	96
Шины, колеса	205/75R17,5	205/75R16 или 185/75R16	195/75R16	205/65R16 195/70R15	285R16E

Тип аккумуляторных батарей	Устанавливается по заказу потребителя	Lithium Ion Iron Phosphate (Li Fe PH_4)	Натрий-никельхлоридные	Литий-ионные	Lithium polimer
Емкость аккумуляторных батарей, кВт.ч	60	40	н/д	28	50
Трансмиссия	Бесступенчатая				2- или 3-ступенчатая, автомат.
Пробег на одной зарядке, км	160	160	90-120	130	100...120



Modec



Edison



EcoDaily Electric 35S



Ford Transit Connect Electric



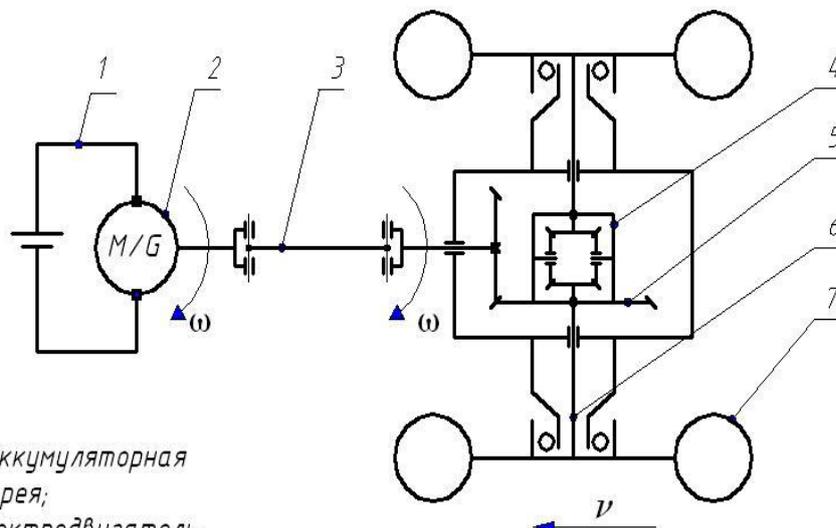
ZeroTrack



Mitsubishi Fuso
Canter E-CELL

Рис. 5 – Серийные грузовые электромобили LCV - сегмента

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева в настоящее время при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного контракта по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» проводятся работы по созданию электромобилей на шасси автомобилей «ГАЗель» и исследования работоспособности их узлов и агрегатов. Разработан и изготовлен первый прототип экспериментального образца электромобиля на базе шасси автомобиля ГАЗ-3302: НГТУ-Электро [4, 5]. Кинематическая схема трансмиссии и принципиальные решения, выбранные при компоновке шасси представлены на рисунках 6 и 7.



- 1 - аккумуляторная батарея;
- 2-электродвигатель;
- 3-карданная передача;
- 4-дифференциал;
- 5-главная передача;
- 6-полуось;
- 7-колесо.

Рис. 6. – Кинематическая схема трансмиссии НГТУ-Электро

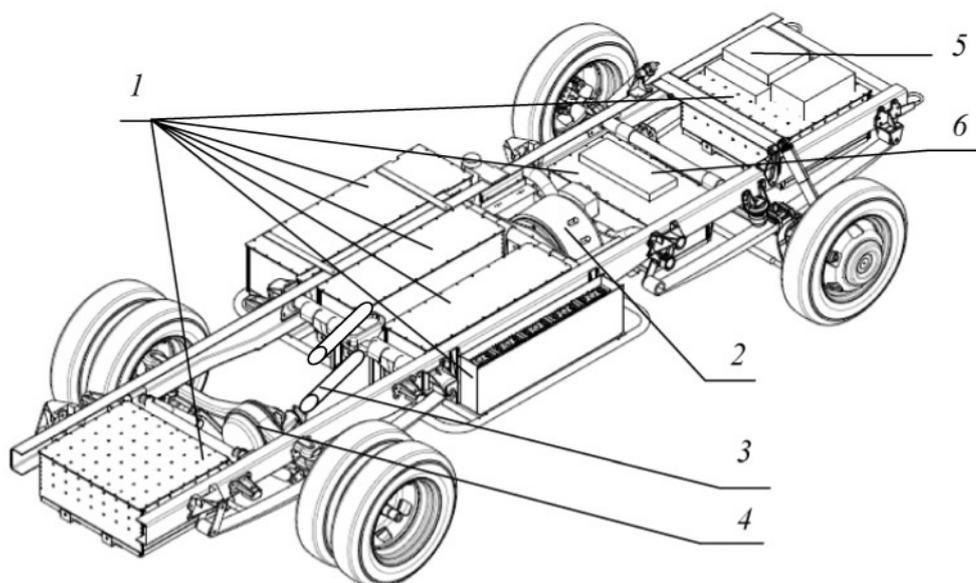


Рис. 7. – Компонентные решения для шасси НГТУ-Электро

1 – аккумуляторные батареи; 2 – электродвигатель; 3 – карданная передача; 4 – задний ведущий мост; 5 – инвертер; 6- зарядное устройство

Для определения основных параметров двигателя и трансмиссии транспортных средств, обеспечивающих ему требуемые тягово-скоростные свойства, и затраты энергии для движения в заданных условиях выполняют тяговый расчет. Данный расчет производят в два этапа. На первом этапе, задавшись определенными условиями движения, рассчитывают конструктивные параметры двигателя и трансмиссии. На втором этапе с использованием этих параметров строят ряд графиков, по которым затем определяют показатели тягово-скоростных свойств, проходимости, энергоэффективности и подвижности.

Определим показатели тягово-скоростных свойств и затрат энергии для автомобиля «ГАЗель» с семью возможными вариантами электродвигателей и проведем сравнение с бензиновым аналогом машины, имеющий двигатель УМЗ-4216. Для этого выберем электродвигатели марок Siemens 1PV5135-4ws24, Siemens -1PV5135-4ws28, AZD AC55, AZD AC90, Remy HVH250, UQM 125, UQM-PP200, которые могут быть установлены на автомобиле класса LCV.

Исходные параметры для расчета показателей тягово-скоростных свойств представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные по автомобилю для выполнения расчета

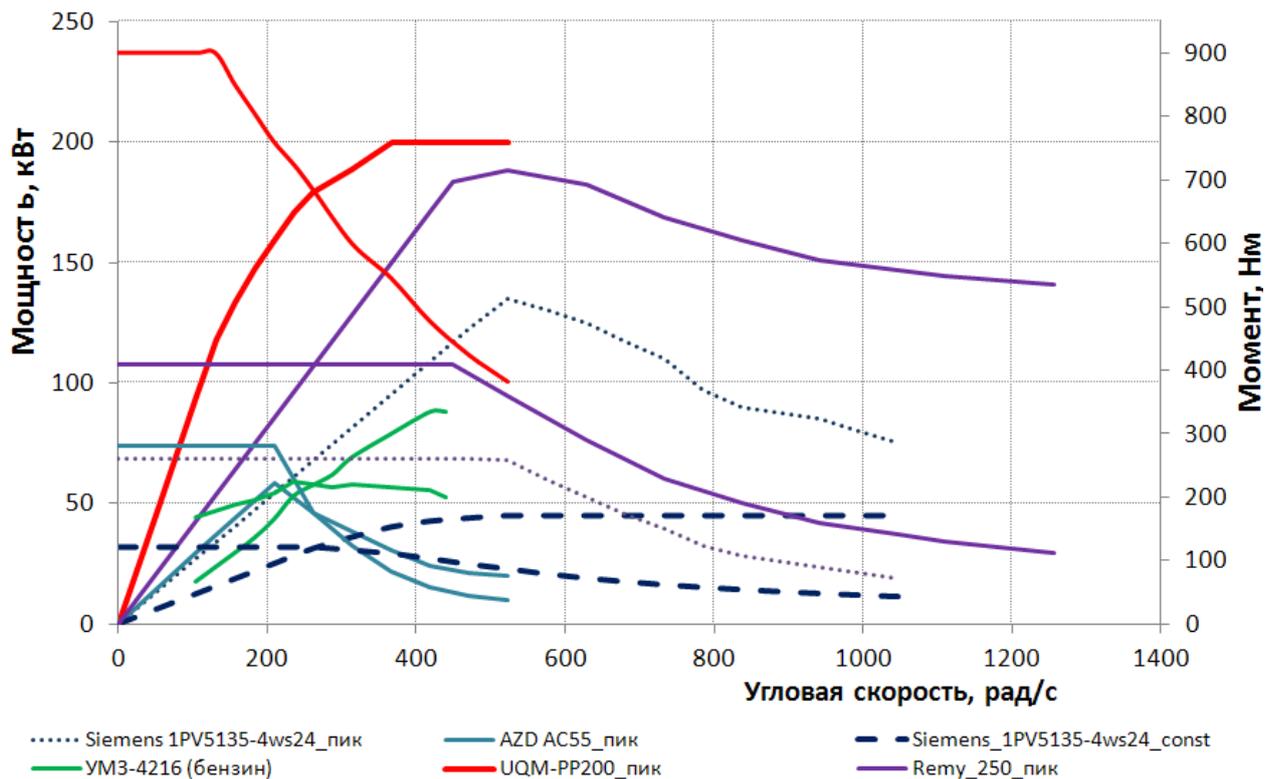
№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Полная масса транспортного средства, кг	m_a	3500
2	Снаряженная масса автомобиля с электродвигателем, кг	m_n	2550
3	Снаряженная масса автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, кг	m_n	2000
4	Колесная формула транспортного средства		4x2
5	Максимальная скорость, км/ч	V_{max}	95
6	Коэффициент сопротивления качению при малых скоростях	f	0,012
7	Коэффициент влияния скорости на увеличения силы сопротивления качению	A	0,0004
8	Коэффициент лобового сопротивления	C_x	0,51
9	Радиус качения колеса, м	r_k	0,33
10	Максимальный коэффициент сопротивления движению	Ψ_{max}	0,25
11	Коэффициент сопротивления движению при максимальной скорости	Ψ_V	0,002
12	КПД трансмиссии	η_{mp}	0,92
13	Площадь миделева сечения, м ²	A_B	4,69
14	Передаточные числа коробки передач*	U_{k1} U_{k2}	2,34 1
15	Передаточные числа коробки передач автомобиля «ГАЗель» в случае использования бензинового двигателя УМЗ-4216	U_{k1} U_{k1} U_{k1} U_{k1} U_{k1}	4,05 2,34 1,395 1,0 0,849
16	Передаточное число одноступенчатого редуктора**	U_k	2,4
17	Передаточное число главной передачи	U_0	5,125

* Для случая с двигателем AZD AC55.

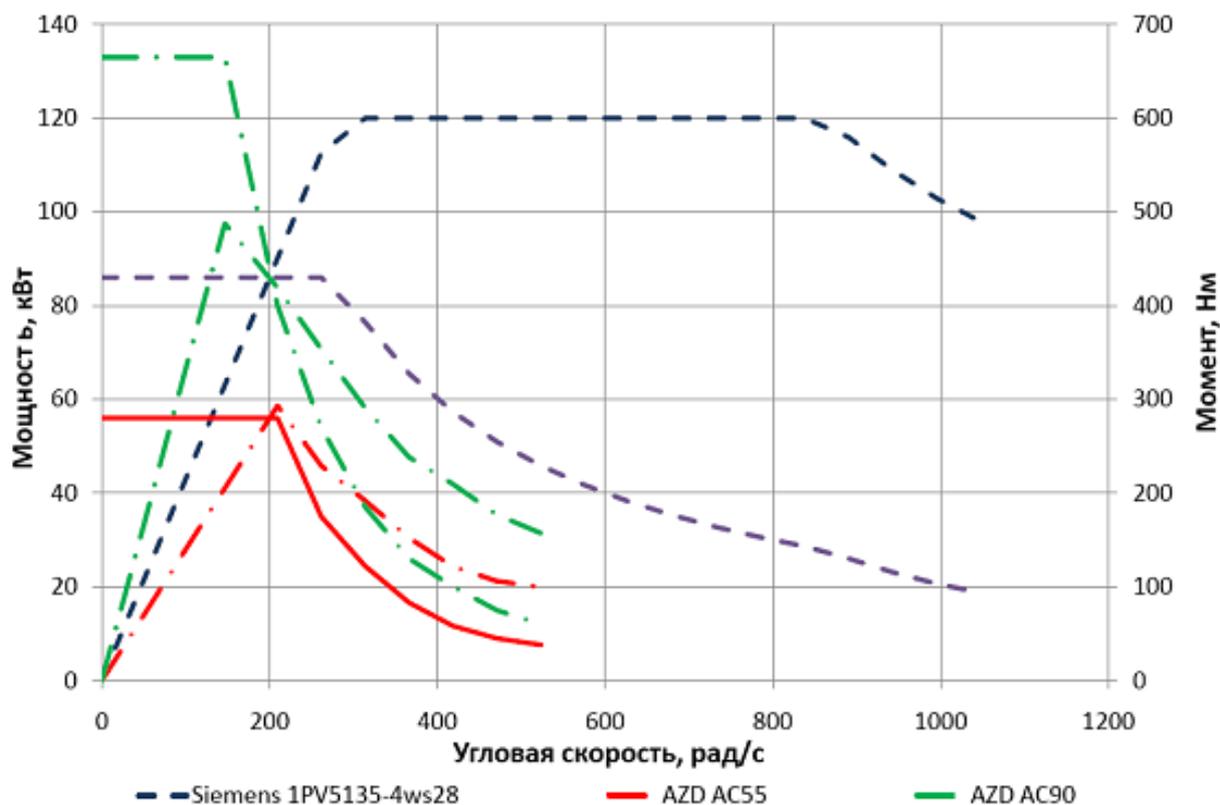
** Для случая с двигателями Siemens 1PV5135-4ws24, Siemens -1PV5135-4ws28, AZD AC90

Важными исходными данными для расчета являются внешние скоростные характеристики электродвигателей и двигателя внутреннего сгорания УМЗ-4216, представленные на рисунке 4.1.

Основные технические параметры рассматриваемых в расчете двигателей представлены в таблице 4.2.



а)



б)

Рис. 8 – Внешние скоростные характеристики электродвигателей (пиковые значения) и двигателя внутреннего сгорания УМЗ-4216

Таблица 3. Основные параметры электродвигателей и ДВС

Параметр	Siemens 1PV5135- 4ws24	Siemens 1PV5135- 4ws28	AZD AC55	AZD AC 90	УМЗ- 4216	UQM 125	Remy HVH 250	UQM- PP200
Тип двигателя	индукторный		асинхронный		бензино вый	синхронный с постоянными магнитами		
Номинальная мощность, кВт	61	67	25	50	78,5	45	130	115
Пиковая мощность, кВт	150	120	60	97	—	125	170	200
Обороты при номинальной мощности, об/мин	5000- 10000	4000- 10000	2000	1350	4000	5000- 8000	5500	3500-5000
Номинальный момент, Нм	160	160	140	330	220,5	150	270	450
Пиковый момент, Нм	370	430	280	665	—	300	320	900
Обороты при номинальном моменте, об/мин	0-3000	0-3000	0-2000	1350	2500	2500	0-500	0-1250
Максимальные обороты, об/мин	10000	10000	5000	5000	4200	8000	10000	5000
Вес, кг	86	86	106	189	220	41	49	95

Дополнительно отметим, что в трансмиссии автомобиля ГАЗель с двигателем внутреннего сгорания используется пятиступенчатая коробка передач (см. таблицу 2), с электродвигателем AZD AC 55 – двухступенчатая коробка, с электродвигателями Siemens 1PV5135-4ws24, Siemens -1PV5135-4ws28 и AZD AC90 – одноступенчатый редуктор, а с двигателями UQM-PP200, Remy HVH250 – коробка передач вообще отсутствует и крутящий момент от электродвигателя непосредственно передается на карданную передачу и задний ведущий мост, который во всех рассматриваемых случаях оставлен штатным без изменений, с передаточным числом $U_0=5,125$. (рисунок 6, 7).

Важнейшим соотношением, на основании которого определяется максимальная скорость движения транспортного средства является мощностной баланс (рис. 9), который показывает зависимость мощности на ведущих колесах и мощности сопротивления движению от скорости.

$$P_T = P_f + P_B \pm P_I + P_a, \quad (1)$$

где P_T – мощность на ведущих колесах;

P_f – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению;

P_B – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха;

P_I – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления;

P_a – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону;

$P_T = P_e \eta_{mp}$ – тяговая мощность на ведущих колесах, (кВт);

$P_f = fG_a V$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению,

(кВт);

где $f = f_0(1 + AV^2)$ – коэффициент сопротивления качению, V – скорость движения, (м/с);

$f_0 = 0,012$ – коэффициент сопротивления качению при минимальной скорости движения;

G_a – вес транспортного средства, Н.

$P_B = WV^3$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, (кВт);

где W – фактор обтекаемости, $W=0,5C_x\rho_eA_e$, здесь ρ_e – плотность воздуха, C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, A_e – площадь миделева сечения.

Скорость движения определяется по выражению:

$$V = 3,6 \frac{r_k \omega_e}{U_k U_0}, \text{ км/ч,} \quad (2)$$

где U_k – передаточное число коробки; U_0 – передаточное число главной передачи, r_k – радиус качения.

На основании рисунка 9 можно установить максимальные скорости движения транспортного средства на дорогах с асфальто-бетонным покрытием. Отметим, что автомобиль с бензиновым двигателем УМЗ-4216 имеет максимальную скорость $V_{\max}=115$ км/ч.

Наименьшие (худшие) значения максимальной скорости будут в случае использования двигателя AZD AC55 с двухступенчатой коробкой передач $V_{\max}=85$ км/ч. При этом следует учитывать, что данная скорость достигается в пиковом режиме работы электродвигателя, а, следовательно, не может поддерживаться длительное время на этом уровне. Анализ таблицы 1 показал, что скорость 80 км/ч в длительном режиме движения имеют лучшие мировые аналоги. Вариант автомобиля ГАЗель с двигателем AZD AC55 и двухступенчатой коробкой передач (ГАЗель-Электро, Группы ГАЗ) был реализован в 2009 г. и не имел успеха по своим потребительским свойствам.

С точки зрения показателя максимальной скорости на граничном уровне находится и вариант с электродвигателем Remu HVH 250 и AZD AC90. Здесь максимальная скорость достигается на уровне $V_{\max}=86$ км/ч и $V_{\max}=90$ км/ч соответственно в пиковом режиме работы электродвигателя. Тем не менее, с учетом требований перспективы, отметим, что данный вариант перестанет удовлетворять показателям максимальной скорости в ближайшие

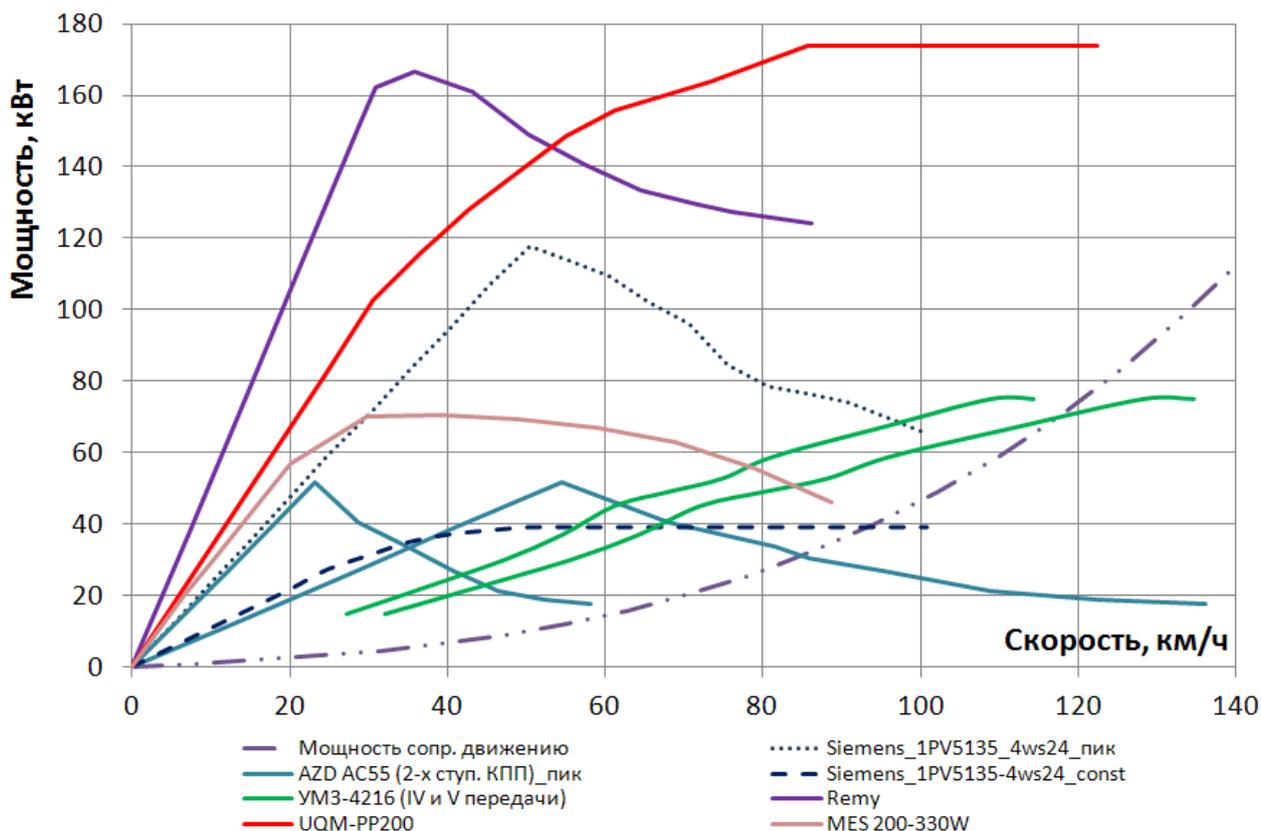
1-2 года, т.к. возрастающие скорости движения электромобилей городских условиях требуют иметь максимальную скорость не менее $V_{\max}=95$ км/ч в режиме длительного движения. Поэтому, данный вариант с точки зрения показателя максимальной скорости считаем тоже не достаточно приемлемым.

Следующим вариантом, является автомобиль с электродвигателем UQM-125. Здесь в пиковом режиме работы электродвигателя максимальная скорость составляет $V_{\max}=96$ км/ч.

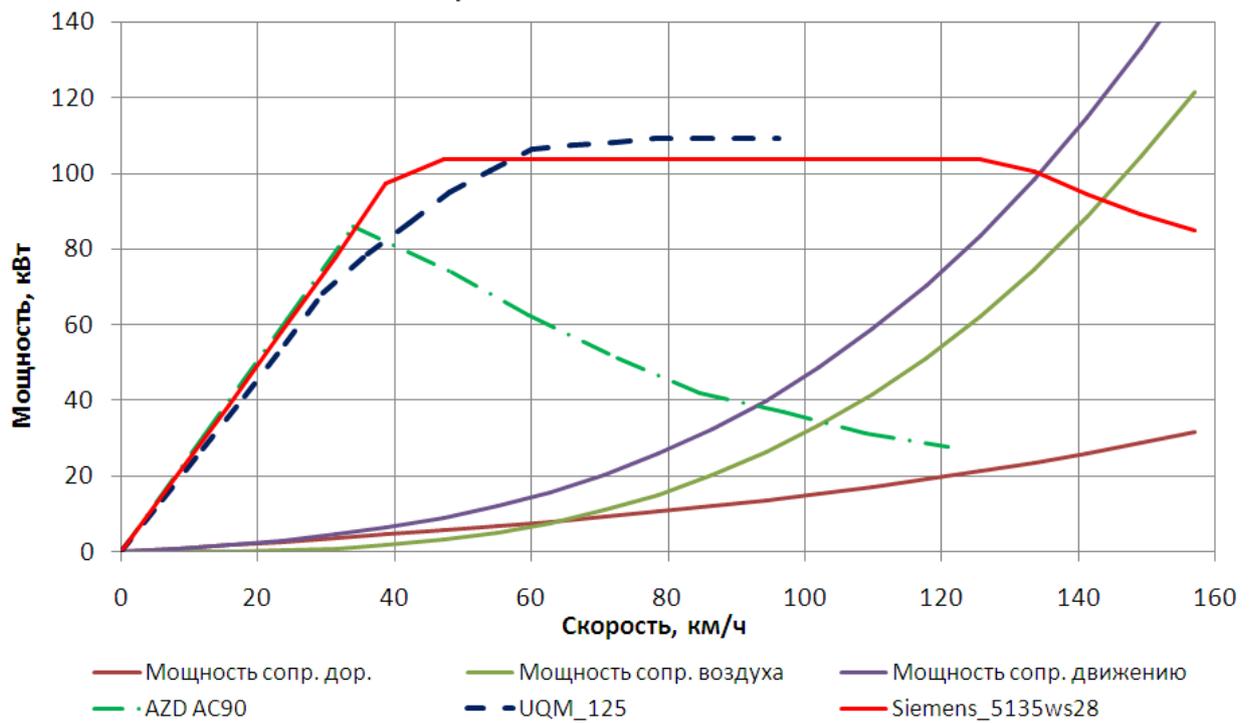
Хорошими вариантами с точки зрения максимальной скорости являются автомобиль с двигателями Siemens 1PV5135-4ws24, Siemens 1PV5135-4ws28 и. Здесь максимальная скорость на требуемом уровне достигается в длительном режиме работы электродвигателей, без их ограничения по нагреву.

Наиболее приемлемыми показателями с точки зрения максимальной скорости достигаются с использованием на электромобили электродвигателя UQM-PP200. Следует отметить, что по показателю максимальной скорости автомобиля, машины с электродвигателями Siemens 1PV5135-4ws28 и UQM-PP200 будут на уровне бензинового аналога с двигателя УМЗ-4216.

Для оценки потенциальных возможностей транспортных средств по преодолению дорожных сопротивлений или динамики разгона в заданных дорожных условиях используют динамический фактор, который определяется по выражению:

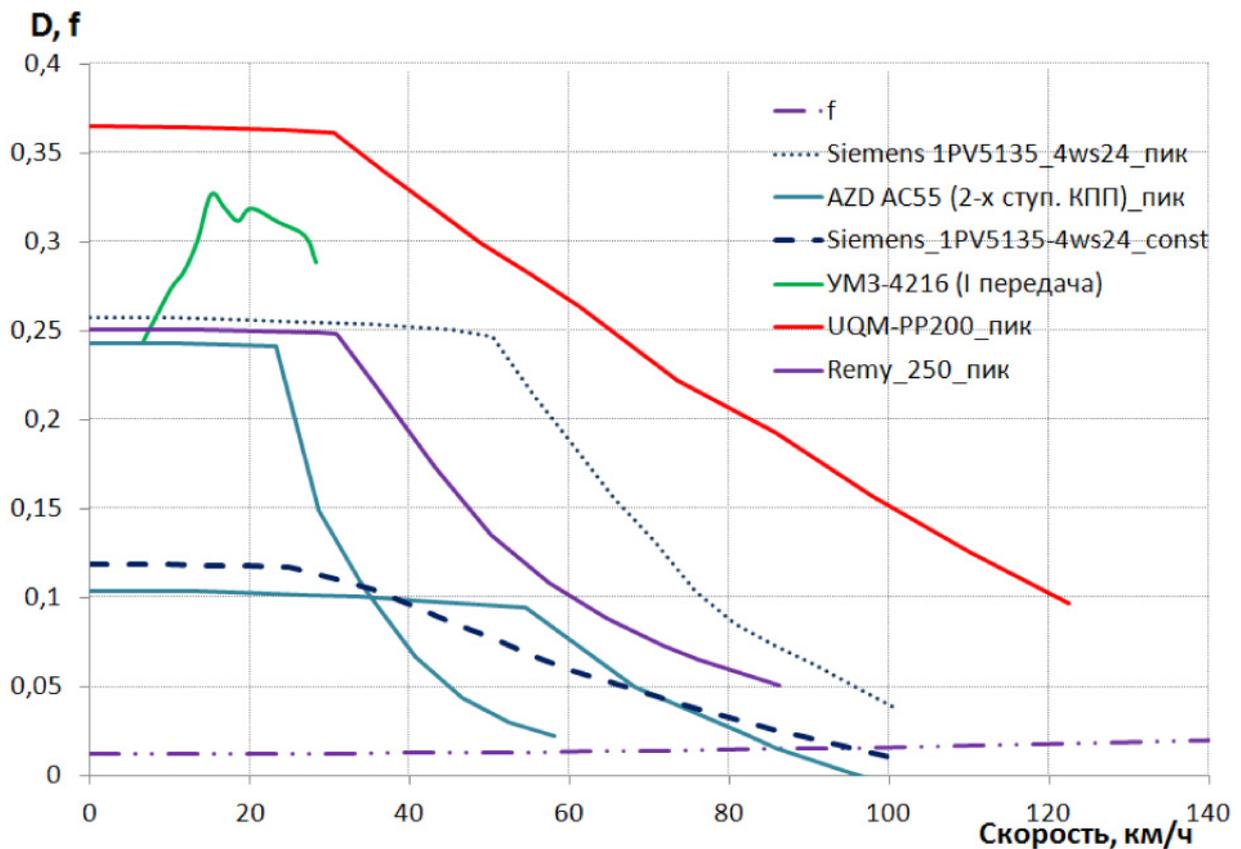


а)

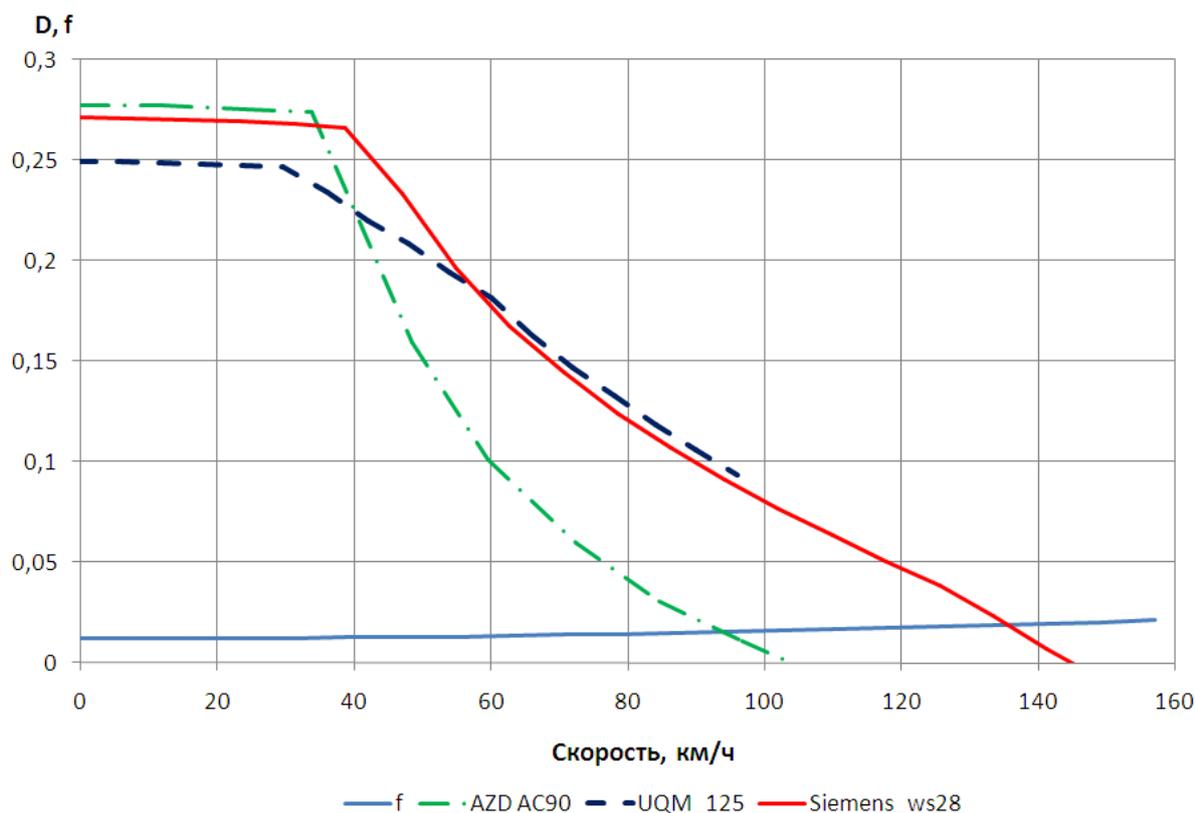


б)

Рис. 9 – Мощностной баланс автомобиля с электродвигателями



а)



б)

Рис. 10 – Динамическая характеристика автомобиля

$$D = \frac{F_T - F_B}{G_a} \quad (3)$$

где F_T – тяговая сила на ведущих колесах;

$$F_T = \frac{T_e \cdot U_k \cdot U_0}{r_k}, \text{ здесь } T_e \text{ – крутящий момент двигателя;}$$

F_B – сила сопротивления воздуха; $F_B = WV^2$, где W – фактор обтекаемости.

Зависимость динамического фактора от скорости называется динамической характеристикой транспортных средств. Для рассматриваемых случаев она представлена на рисунке 10.

Величина динамического фактора зависит в первую очередь от крутящего момента двигателя, передаточных чисел трансмиссии и КПД трансмиссии, радиуса колес, которые в свою очередь определяют тяговую силу на ведущих колесах. Кроме этого, с увеличением скорости возрастает значимость фактора обтекаемости, который заметно снижает динамический фактор.

По полученным значениям максимального динамического фактора можно ориентировочно судить о максимально преодолеваемом дорожном сопротивлении. Для автомобиля LCV класса угол подъема должен быть менее 25%. Это условие не выполняется в вариантах с двигателями AZD AC55, UQM 125 и Remy HVH250, где угол максимальный подъема составляет около 23% в пиковом режиме работы электродвигателя. Учитывая, что в данном режиме двигатель может работать недолго (порядка 30 сек. – 1 мин.), то реальные показатели преодолеваемого угла подъема будут существенно меньше.

При работе в пиковом режиме (до 30 сек.) преодолеть подъем свыше 25% может автомобиль с двигателями Siemens 1PV5135-4ws24, Siemens 1PV5135-4ws28. Но и здесь, в длительно действующем режиме движения максимально возможное значение динамического фактора резко снижается, что позволяет преодолевать подъемы не более до 12%.

Наиболее приемлемые значения по преодолеваемому углу подъема достигаются при использовании электродвигателя UQM-PP200, когда в пиковом режиме возможно преодоление подъема в 36%, в длительно действующем режиме до 20%. Следует отметить, что по данному показателю эксплуатационных свойств бензиновый аналог превосходит электромобили, поскольку на первой передаче в режиме длительного движения может преодолевать подъемы порядка 30%.

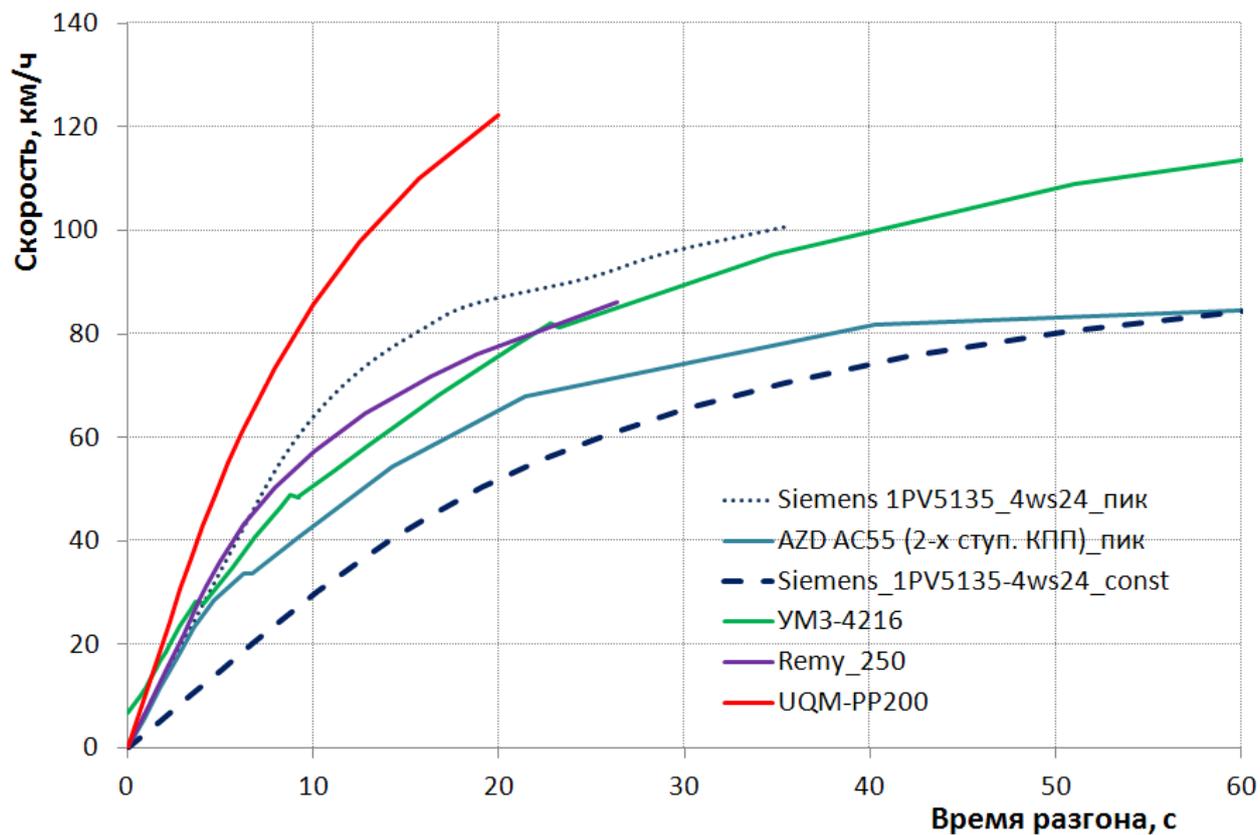
Также для оценки динамических свойств автомобилей произведем построение графиков времени разгона (рисунок 11). Время движения автомобиля Δt_i , в течение которого его скорость возрастает на ΔV_i , определяют по закону равноускоренного движения. Время разгона машины в i -ом интервале:

$$\Delta t_i = \frac{2(V_i - V_{i-1})}{a_{i-1} + a_i}, \quad (4)$$

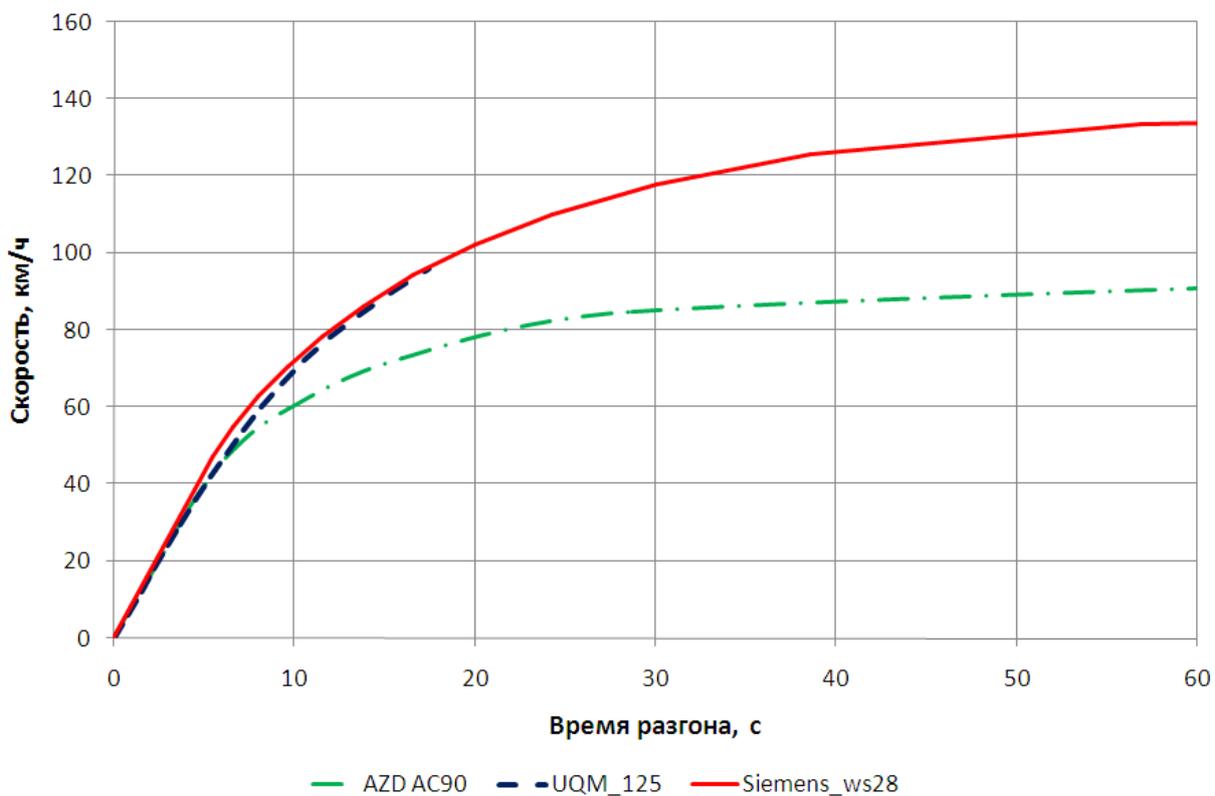
где V_i, V_{i-1} – скорость машины в конце и в начале интервала соответственно;

a_i, a_{i-1} – ускорение машины в конце и в начале интервала соответственно, определяемые по выражению $a = \frac{(D-f)g}{\delta}$, где δ - коэффициент учета вращающихся масс.

В таблице 4 представлены основные показатели тягово-скоростных свойств автомобиля «ГАЗель» с различными вариантами электродвигателей и с двигателем УМЗ-4216.



а)



б)

Рис. 11 – Время разгона автомобиля

Таблица 4 - Основные теоретические показатели тягово-скоростных свойств автомобиля «ГАЗель»

Параметр	Вариант двигателя							
	Siemens 1PV5135- 4ws24	Siemens 1PV5135- 4ws28	AZD AC55	AZD AC 90	UQM 125	Remy HVH 250	UQM PP 200	УМЗ- 4216
Максимальная скорость, км/ч	95	115	80	90	96	86	122	115
Максимальный преодолеваемый подъем, %	34	25	23	25	23	23	36	34
Время разгона до скорости 60 км/ч в пиковом режиме	6,7	8,5	18,0	9,7	8,7	10,8	6,0	12,4
Время разгона до скорости 80 км/ч в пиковом режиме	10,2	12,5	—	24,0	12,5	21,0	9,0	21

По полученным результатам динамики разгона и показателям скоростных свойств автомобиля «ГАЗель» следует отметить, только наилучшие значения при использовании различных электродвигателей достигаются с использованием электродвигателя UQM-PP200. Кроме этого, только с данным электродвигателем в пиковом режиме возможно получение лучших результатов, чем в варианте с бензиновым двигателем УМЗ-4216.

Таким образом, в целом потенциальные показатели тягово-скоростных свойств автомобиля «ГАЗель» с электродвигателем UQM-PP200 находятся на уровне бензиновых прототипов и не уступают лучшим мировым аналогам электромобилей данного класса.

Поэтому, на создаваемом в НГТУ экспериментальном образце электромобиля было принято решение установить электродвигатель UQM-PP200 (рисунок 12).



Рис. 12. – Внешний вид электродвигателя UQM-PP200 с инвертером

Для оценки энергетических затрат (энергетических свойств) электромобиля (например, пробег/радиус действия электромобиля на одной зарядке) целесообразно проводить исследования в городских условиях движения. Моделировать движение транспортного средства следует с помощью существующих городских ездовых циклов. Ездовые циклы [5] представляют зависимость скорости движения от времени, причем в каждый момент времени нормируются значения ускорений, замедлений и участков постоянной скорости, выполняемых в определенной последовательности. Для легковых и легких коммерческих автомобилей (полной массой до 3,5 т.) протяженность европейского городского цикла – 1,013 км, продолжительность – 195 сек, средняя скорость за цикл – 19,0 км/ч, максимальная скорость – 50 км/ч. Городской цикл состоит из четырех простых городских циклов, представленных на рисунке 2. Время движения в одном простом городском цикле составляет 195 с., а общее время движения в цикле 780 с.

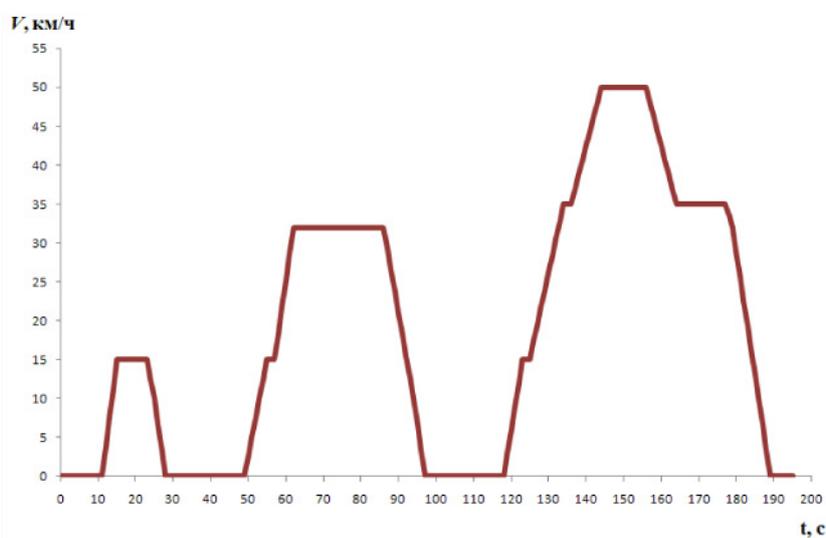


Рис. 13 – График простого европейского городского цикла

В рамках данного исследования в программном комплексе *MATLAB/Simulink* разработана математическая модель движения легкого коммерческого автомобиля с электроприводом, которая позволяет оценить затраты энергии при движении в городском цикле с использованием уравнения (1). Кроме уравнений динамики транспортного средства [4, 5], базовая модель включает модели компонентов электропривода, которые представлены статическими характеристиками КПД (для батарей и электромашин).

Кинематическая схема транспортного средства с электроприводом представлена на рисунке 6, исходные параметры для моделирования в таблице 2 и в таблице 5. Для примера на рисунке 14 представлена основная подсистема Simulink-модели.

Таблица 5 – Характеристики аккумуляторов энергии

Параметр	Значение
Аккумуляторы (фирма, тип)	Winston Battery (Китай) литий-железо-фосфатные
Маркировка	WB-LYP100ANA
Номинальная емкость, Ач	100
Диапазон рабочих напряжений, В	2,8...4,0
Максимальный зарядный ток, А	300
Максимальный ток разряда, А	50
Число циклов заряда-разряда (при разряде не более 70%)	5000
Саморазряд, не более	3% (в месяц)
Температурный диапазон (заряд, разряд)	-45°C...85°C
Габаритный размеры, мм	179x62x241
Масса, кг	3,5
Средняя энергоемкость аккумуляторных батарей, кВт.ч	56

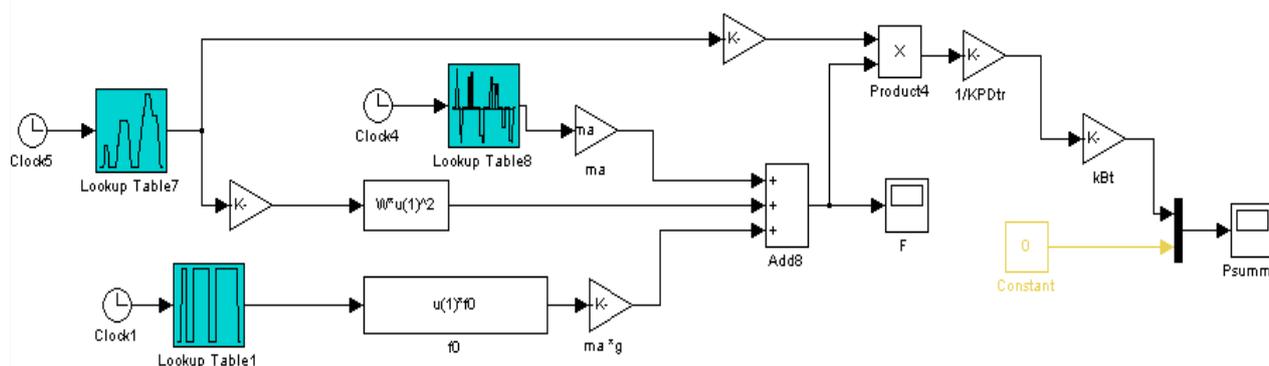


Рис. 14 – Подсистема расчета параметров динамики электромобиля в условиях городского цикла

На рисунках 15-17 показаны основные результаты имитационного моделирования движения автомобиля с электроприводом в условиях городского цикла.

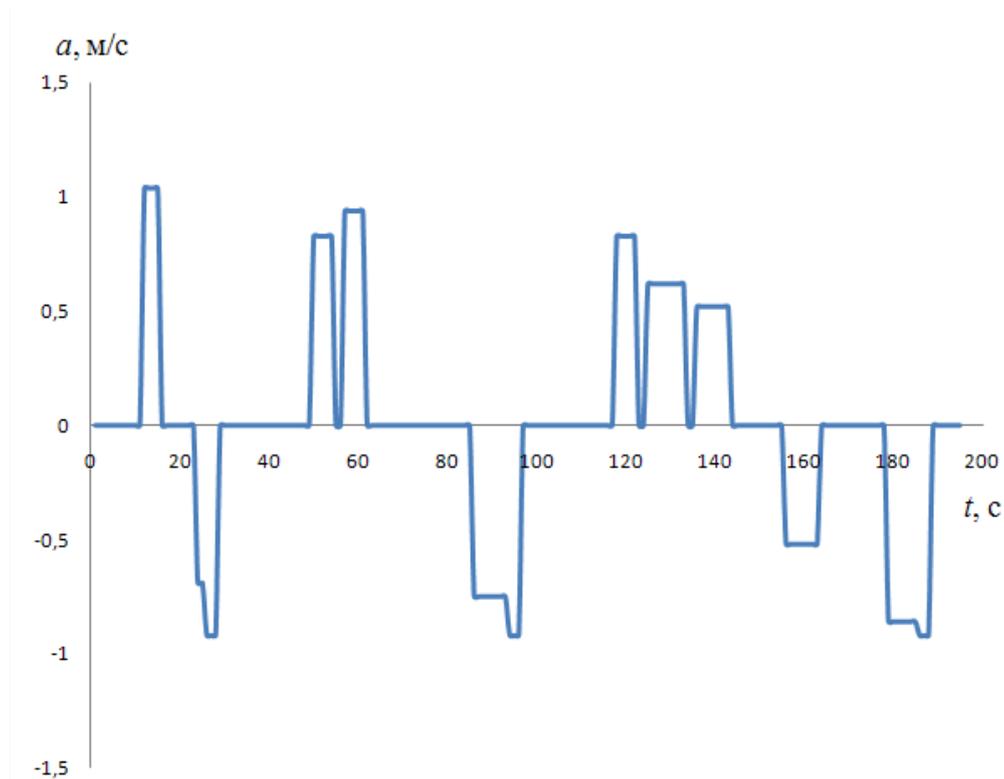


Рис. 15 – Интенсивность разгона в городском цикле

Потери энергии в тяговой системе за расчетный европейский ездовой цикл отличаются для разных типов тяговых систем и, таким образом, являются характеристикой энергетического качества тяговой системы. Оценить потери энергии позволяет мощность на валу электродвигателя, необходимая для движения в городском цикле (рисунок 17).

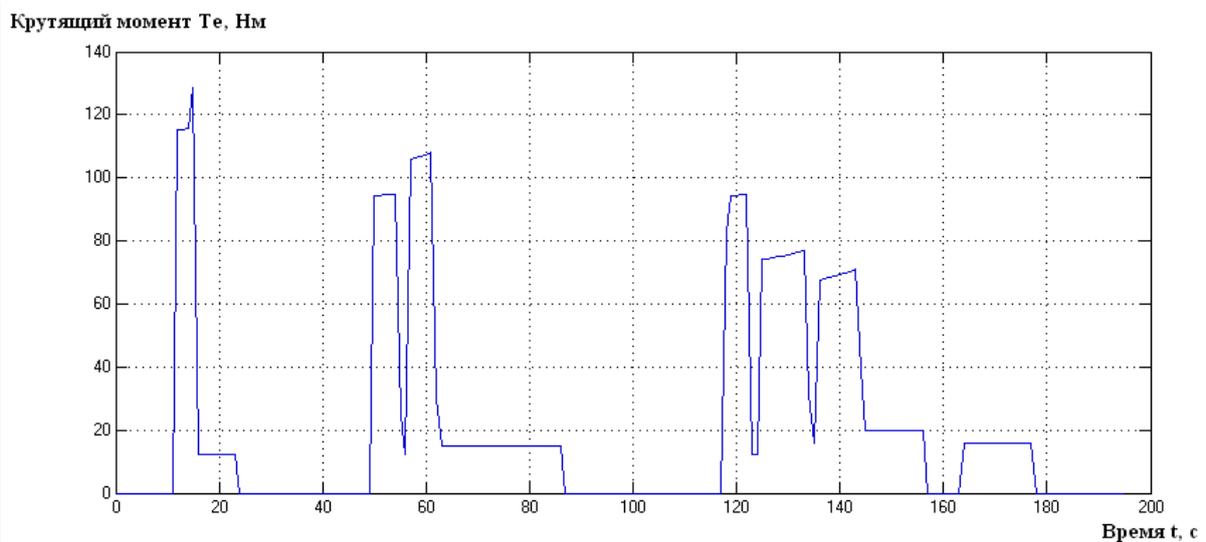


Рис. 16 – Характер изменения крутящего момента на валу электродвигателя

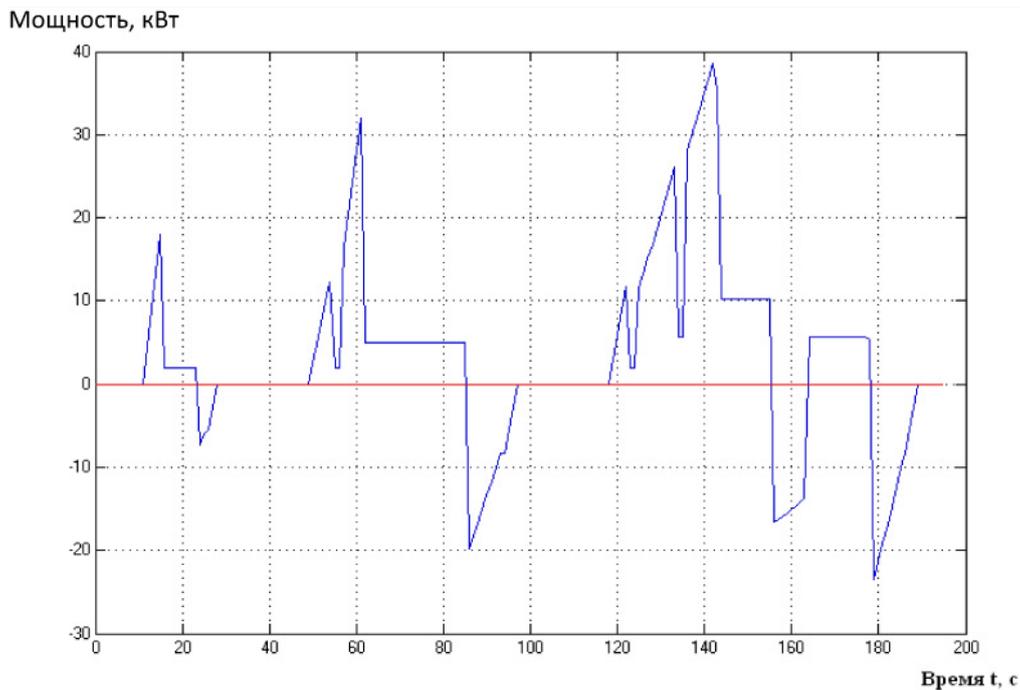


Рис. 17 – Зависимость мощности на валу электродвигателя, необходимой для движения в городском цикле

Расход энергии аккумуляторной батареи определяется выражением [1]:

$$W = W_B - W_P = \frac{\int P_{M_тяг} dt}{\eta_{M_тяг} \cdot \eta_{B_разр}} - \eta_{B_зар} \cdot \eta_{M_ген} \cdot \int P_{M_ген} dt, \quad (5)$$

где η_B – степень использования аккумуляторной батареи (накопителя); η_M – КПД электродвигателя; P_M – мощность на валу электродвигателя. Дополнительные индексы соответственно для электродвигателя: *тяг* – тяговый режим; *ген* – генераторный режим, для аккумуляторной батареи: *зар* – режим зарядки (рекуперации), *разр* – режим разрядки (тяговый).

В соответствии с выражением (5) и данными на рисунке 17 определим составляющие расхода энергии аккумуляторной батареи. Общий расход энергии в простом городском цикле составил $W_B = 750$ кВт с, а энергия, которая могла бы возвратиться (энергия рекуперации) равна $W_P = 239$ кВт с. Учитывая, степень использования литий-ионной аккумуляторной батареи $SOC = 75\%$ [1], можно ожидать возврат энергии $W_P = 179$ кВт с.

Пересчитывая полученные значения для всего европейского городского цикла (состоящего из четырех простых городских циклов), получаем расход энергии из аккумуляторных батарей за 1 городской цикл $W_B = 0,83$ кВтч, а ее возврат в батареи $W_P = 0,2$ кВтч, т.е. суммарный расход энергии батарей в городском цикле: $(W_B - W_P) = 0,63$ кВтч.

Откуда, нетрудно определить, что за один час работы в городском цикле суммарный расход энергии будет равен $(W_B - W_P) = 2,9$ кВтч, а в расчете на пройденный путь $(W_B - W_P)_{уд} = 0,158$ кВтч/км.

С учетом средней скорости движения в цикле [5], выбранной энергоемкости аккумуляторной батареи (таблица 5) и полученных затрат энергии, пробег на одной зарядке электромобиля в городском режиме движения для рассматриваемого случая составит $L=199,5$ км.

Следует отметить, что проведенный расчет не учитывает дополнительных потребителей энергии, связанных с отоплением салона, системой кондиционирования, освещения и т.д. В первом приближении эти затраты целесообразно учесть общим коэффициентом увеличения расхода энергии на 25 % [1]. С учетом данных затрат энергии ожидаемый теоретический пробег электромобиля на одной зарядке в городском цикле составит $L=160$ км.

На рисунке 18 представлен внешний вид экспериментального образца электромобиля НГТУ-Электро.



а) Внешний вид электромобиля



б) Сборка электромобиля



в) Испытания на стенде с беговыми барабанами



Рис.18 - Экспериментальный образец электромобиля НГТУ-Электро



Рис. 19 – Расположение основных компонентов электропривода в моторном отсеке:
 1-Аккумуляторная батарея 12В; 2-DC/DC преобразователь; 3-коммутационная коробка; 4-инвертер; 5-вакуумный усилитель;

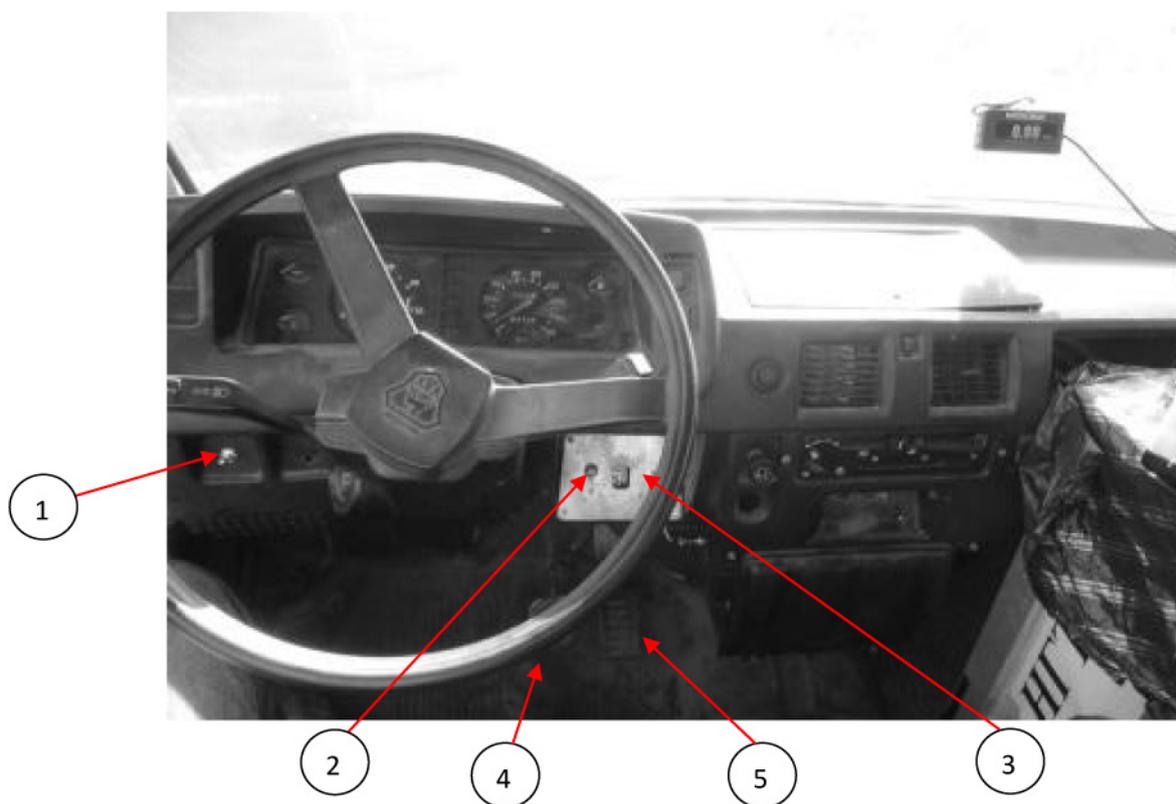


Рис. 20 – Расположение тумблеров включения двигателя и выбора направления движения в кабине транспортного средства:
 1-тумблер включения двигателя; 2-блок выбора направления движения; 3-световой индикатор; 4-педаль тормоза; 5-педаль «газа»;

Для определения затрат энергии при движении экспериментального образца электромобиля были проведены экспериментальные исследования. На тормозном стенде был произведен анализ распределения массы автомобиля по осям и анализ тормозных сил на колесах. Результаты анализа приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Распределение снаряженной массы шасси по осям

	Распределение массы, кг	
	Электромобиль	Базовое шасси
Передняя ось	1210	1040
Задняя ось	970	510
Суммарная масса	2180	1550

По результатам взвешивания (таблица 6) отметим улучшение развесовки электромобиля по сравнению с базовым шасси. На переднюю ось электромобиля приходится 55 %, на заднюю 45 %, в то время как у базового шасси «ГАЗель» 67 % на переднюю и 33 % на заднюю.

Экспериментальный образец электромобиля в снаряженном состоянии весит больше на 630 кг, по сравнению с базовым шасси автомобиля «ГАЗель», следовательно, ожидаемая грузоподъемность в случае автомобиля с бортовой платформой составим 900 кг. Данные весовые показатели электромобиля соответствуют лучшим зарубежным аналогам (таблица 1).

При проведении дорожных испытаний на автомобиль устанавливалась система virtualbox gacelogic VB20SL3 – система спутникового измерения параметров автомобиля: скорости, ускорения, углов крена (рисунок 21, 22). Используя GPS приемник и 3 антенны, прибор VB20SL3 может вычислять не только скорость и направление движения ТС (транспортного средства), на котором он установлен, но и углы скольжения, наклона, крена. Данные записываются на карту памяти формата SD, а также имеется возможность передачи данных через CAN выход, USB порт или последовательный выход для мониторинга в реальном времени, либо постобработки с помощью предустановленного VBOX Tools.



Рис. 21 – Блок управления VB20SL3



Рис. 22 – Дисплей системы Racelogic

Расположение антенн на шасси автомобиля выполнено на крышки аккумуляторных батарей и показано на рисунке 23.



Рис. 23 – Схема установки спутниковых антенн

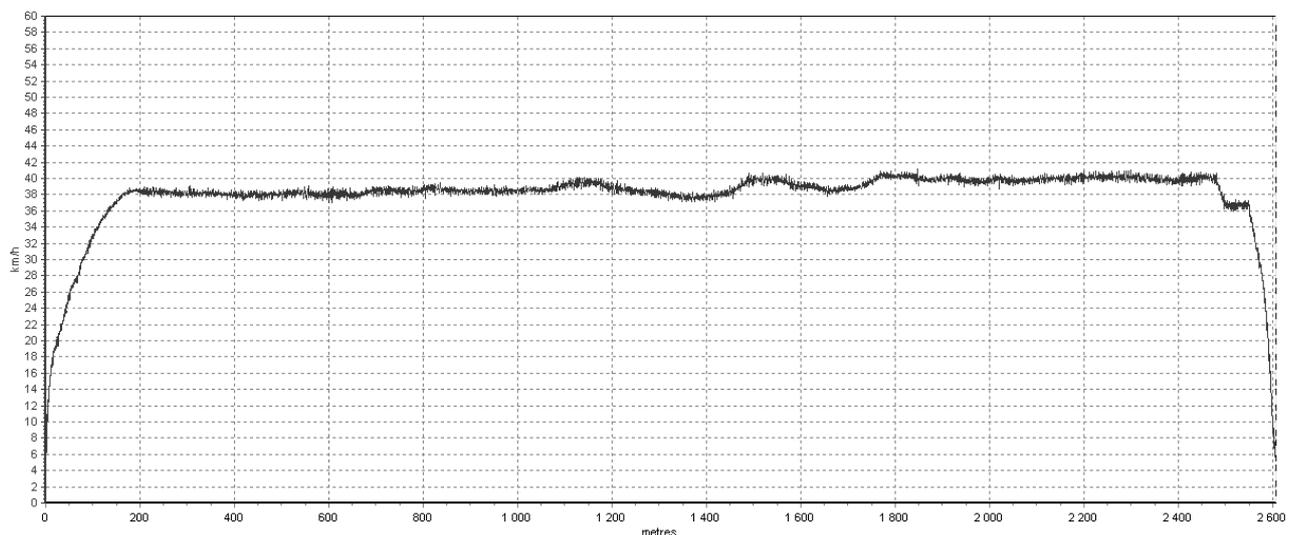
Блок управления спутниковой системой установлены в кабине автомобиля. Снимаемые при движении автомобиля характеристики отображаются на экране компьютера в режиме реального времени. Питание системы осуществляется от бортовой сети автомобиля напряжением 12В.



Рис. 24 – Блок управления системой Racelogic и вывод данных на экран компьютера

Дорожные испытания проводились в летний период времени на сухом асфальтобетонном покрытии при температуре $+18^{\circ}\dots+20^{\circ}\text{C}$.

Результаты проведения испытаний представлены на рисунках 25 – 29. На рисунке 25 представлены мгновенные значения скорости движения автомобиля при разных заездах, на рисунке 26 – траектория движения транспортного средства, по которой совершались заезды в одну и другую стороны, на рисунке 27 – величины продольного ускорения транспортного средства и на рисунке 28 – значения угла бокового скольжения или увода автомобиля.



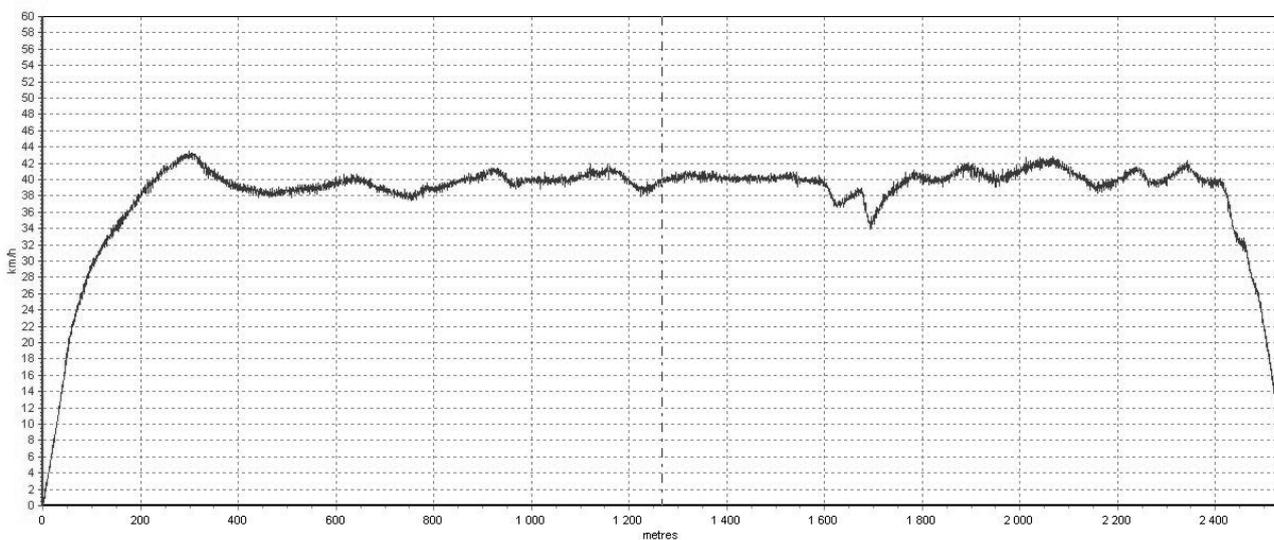
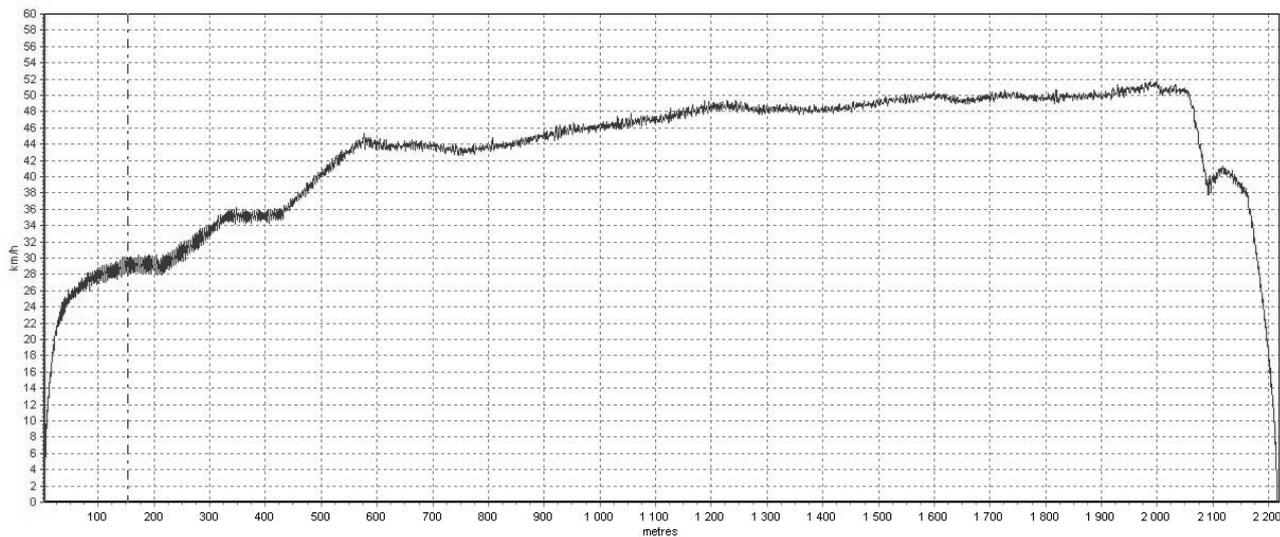


Рис. 25 – Графики изменения скорости в зависимости от пройденного пути

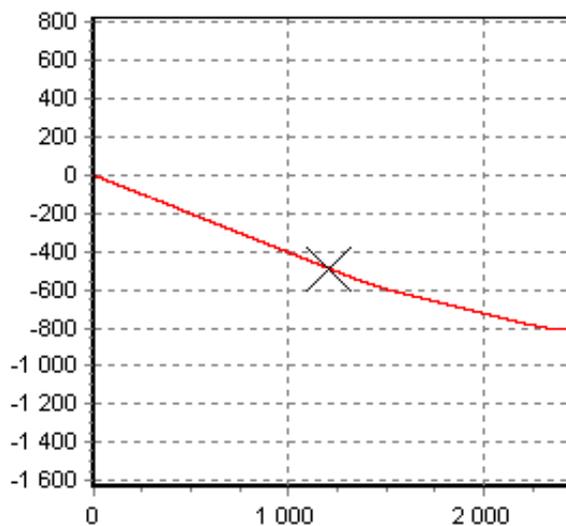


Рис. 26 – График траектории движения транспортного средства

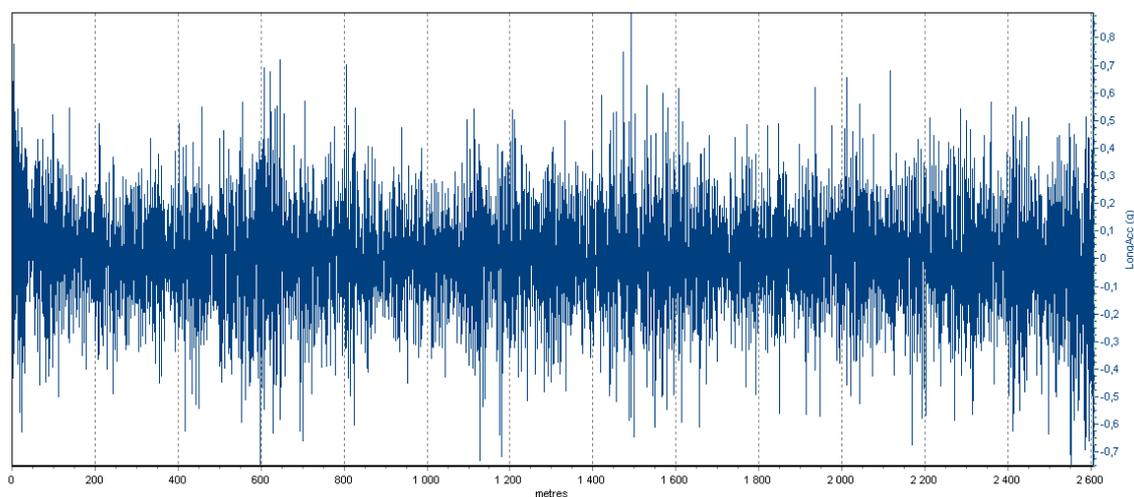


Рис. 27 – График изменения продольного ускорения в зависимости от пройденного пути

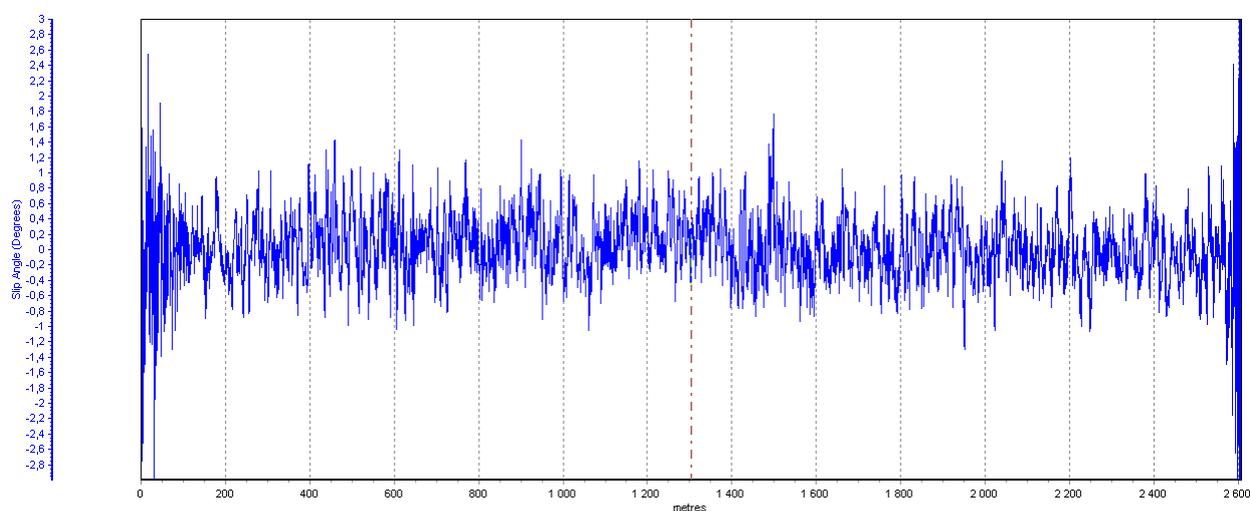


Рис. 28 – График угла бокового скольжения (увода)

При движении электромобиля текущие параметры работы системы аккумуляторов отображаются на мониторе, показанном для примера на рисунке 29.

При движении по измерительному участку со средней скоростью 39 км/ч (рисунок 25) средний суммарный расход электроэнергии составил 0,94 кВт.ч. Общий пройденный путь (испытательный участок) равен 2,4 км (рисунок 26). Таким образом, удельный расход электроэнергии составил 0,39 кВтч/км. С учетом того, что энергоемкость аккумуляторных батарей составляет 56 кВт.ч, то следует ожидать пробег электромобиля в этих условиях порядка 145 км на одной зарядке.

Полученные значения пробега на одной зарядке будет уточняться при дальнейших экспериментальных исследованиях в осенний и зимний период. В целом можно, ожидать, что пробег на одной зарядке будет соответствовать современным мировым аналогам (таблица 1).

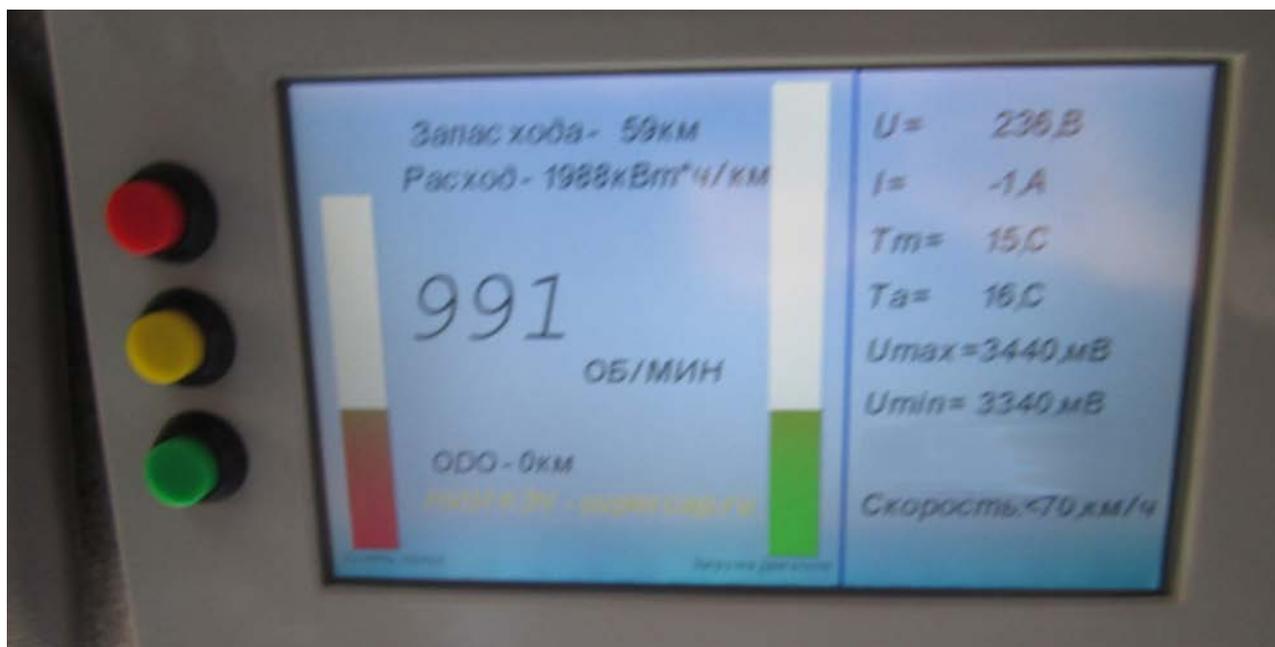


Рис. 29 – Монитор, отображающий информацию о текущем состоянии систем электромобиля

По техническим решениям, заложенным при разработке электромобиля, получен патент РФ на полезную модель №110036 от 24.05.11 г. и подана заявка на полезную модель №2012141848 от 01.10.2012 г.

Список литературы

1. Электромобиль: Техника и экономика / В.А. Щетина, Ю.А. Морговский, Б.И. Центнер, В.А. Богомазов; Под общ. ред. В.А. Щетины.– Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 253 с.
2. Smith Electric Vehicles [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]. – Режим доступа: <http://www.smithelectricvehicles.com/index.asp> (дата обращения 23.11.2012).
3. Modec Limited [Электронный ресурс]: [офиц. сайт]. – Режим доступа: <http://www.modcezev.com/> (дата обращения 23.11.2012).
4. Грошев А.М. Концепция создания электромобилей LCV класса / А.М. Грошев, А.Н. Блохин, С.Ю. Костин, М.С. Крашенинников // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 1. – С. 42-49.
5. Блохин А.Н. Расход энергии транспортного средства с электроприводом при движении в городских условиях / А.Н. Блохин, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2012. – № 1(53). – С. 21-25.

Research data on the electric vehicle with "Gazelle" chassis

12, December 2012

DOI: 10.7463/1212.0499839

Blokhin A.N., Groshev A.M., Kozlova T.A., Yarjenskii A.D., Seropyan M.S.

Russia, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

a.n.blokhin@gmail.com

groshevnm@mail.ru

miss.osja@yandex.ru

m-video@mail.ru

besmelkon@mail.ru

The authors describe reasons for creating environmentally friendly vehicles, such as electric vehicles with a hybrid power plant. Specifications of the best known world analogues of electric LC vehicles are presented in this work. The authors consider features of the experimental model of the "NNSTU-Electro" electric vehicle created on the basis of "Gazelle" chassis developed and produced in the NNSTU. The results of theoretical and experimental studies of traction-speed characteristics and energy consumption when driving an NNSTU-Electro electric car in the urban cycle and steady motion are also provided in this article.

Publications with keywords: power, electric motor, electric car, Gazelle, exhaust emissions, traction-speed characteristics of the car, mileage on a single charge

Publications with words: power, electric motor, electric car, Gazelle, exhaust emissions, traction-speed characteristics of the car, mileage on a single charge

References

1. Shchetina V.A., Morgovskii Iu.A., Tsentner B.I., Bogomazov V.A. *Elektromobil': Tekhnika i ekonomika* [Electric vehicle Technology and Economics]. Leningrad, Mashinostroenie, 1987. 253 p.
2. *Smith Electric Vehicles*. Available at: <http://www.smithelectricvehicles.com/index.asp> , accessed 23.11.2012.
3. *Modec Limited*. Available at: <http://www.modeczev.com/> , accessed 23.11.2012.

4. Groshev A.M., Blokhin A.N., Kostin S.Iu., Krashenninikov M.S. Kontsepsiia sozdaniia elektromobilei LCV klassa [The concept of creation of electric vehicles LCV class]. *Avtotransportnoe predpriiatie* [Motor transport enterprise], 2012, no. 1, pp. 42-49.
5. Blokhin A.N., Beliakov V.V., Zeziulin D.V. Raskhod energii transportnogo sredstva s elektroprivodom pri dvizhenii v gorodskikh usloviakh [Energy expenditure of the vehicle with the electric drive in urban driving conditions]. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Herald of the Izhevsk State Technical University], 2012, no. 1 (53), pp. 21-25.