

## **Система электроснабжения электромобиля**

Брызгалова Д.А., Королев В.В., Филатов А.А.  
*Тольяттинский государственный университет*

Электромобиль перспективный вид транспорта и на данный момент является почти единственным решением проблемы загрязнения атмосферы. Поэтому в настоящее время многие автопроизводители тратят много сил на решение конструктивных проблем электромобиля.

Поэтому ведутся работы над созданием аккумуляторных батарей с малым временем зарядки (около 15 минут), в том числе и с применением наноматериалов.

Рассматривается также возможность использования в качестве источников тока не аккумуляторов, а ионистров (суперконденсаторов), имеющих очень малое время зарядки, высокую энергоэффективность (более 95 %) и намного больший ресурс циклов заряда-разряда (до нескольких сотен тысяч). Опытные образцы ионистров на графене имеют удельную энергоемкость 32 Втч/кг, сравнимую с таковой для свинцово-кислотных аккумуляторов (30-40 Втч/кг).

Электромобиль - это безрельсовое транспортное средство с автономным химическим источником тока (напряжения) используемым а качестве источника энергии для движения.

Главные показатели по которым электромобиль выигрывает перед простым автомобилем:

- эксплуатационные расходы у электромобиля ниже, чем у автомобиля с ДВС. Например, небольшой автомобиль с ДВС объемом 1,2 литра и ручной коробкой переключения передач на легком топливе стоимостью 1 доллар проезжает около 50 км. Электромобиль при тарифе на электроэнергию 12 центов за 1 кВт • час (для США) проезжает за 1 доллар 120 км. Этот оптимистический расчет приведен в Американских СМИ;
- двигатель внутреннего сгорания работает при высоких температурах, вибрациях, в химически активной среде, нуждается в жидкостном охлаждении, имеет много подвижных частей.

Как следствие, силовой агрегат электромобиля служит намного дольше, чем двигатель внутреннего сгорания, сам электромобиль также значительно долговечнее, чем автомобиль с ДВС. Аккумуляторная батарея — вот единственный проблемный элемент электромобиля, так как нуждается в интенсивном обслуживании и замене каждые 4—5 лет.

Узлы и агрегаты современного электромобиля.

Для большинства современных электромобилей кузов, шасси и многие другие механические узлы и агрегаты позаимствованы от серийных автомобилей с ДВС. Лишь немногие модели с самого начала проектировались как электромобили, например, GM EV1 или Honda EV-plus. Но те и другие имеют примерно одинаковый состав основных функциональных и вспомогательных компонентов, показанных на рисунке 1.

На рисунке обозначено:

1) Зарядное устройство. Преобразует переменное напряжение внешней сети в постоянное для заряда аккумуляторных батарей, тяговой и вспомогательной. Оно содержит цепи подключения к сети переменного тока, выпрямитель, регулятор зарядного тока (напряжения), систему управления зарядом (обычно микропроцессорную) для контроля за уровнем заряда, параметрами батареи, отключения при возникновении аварийной ситуации.

Зарядное устройство может размещаться на борту электромобиля. В этом случае бортовой компьютер управляет процессом заряда, а сеть переменного тока подключается к электромобилю.

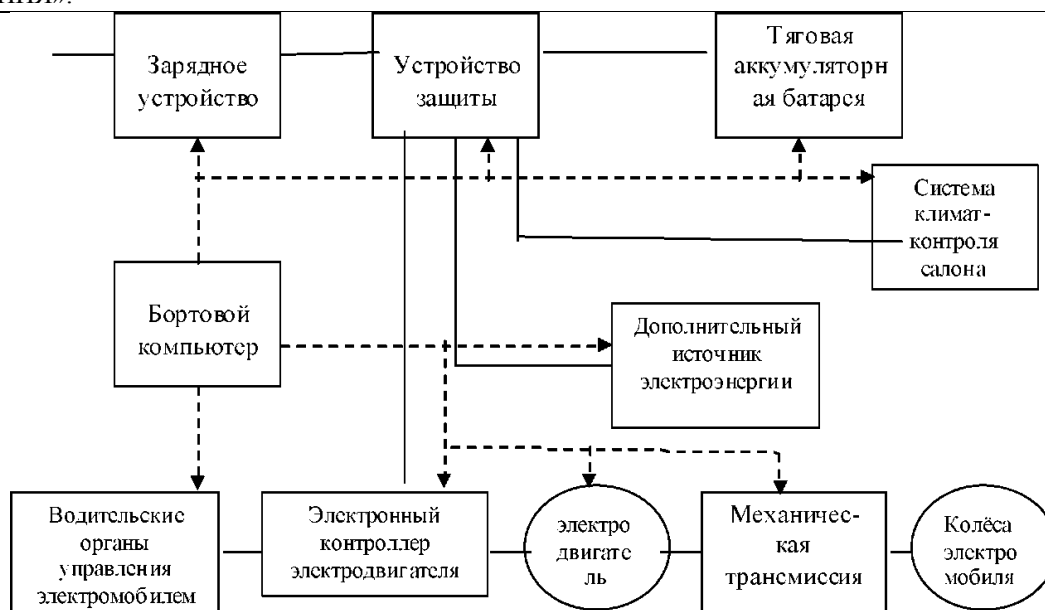


Рисунок 1 - Блок-схема электромобиля

2) Устройство защиты (блок реле и предохранителей). Состоит из выключателей, реле, предохранителей, которые включены между аккумуляторной батареей и остальной электрической схемой — потребителями. При возникновении неисправности цепь переменного тока и аккумуляторы отключаются. В электромобилях металлические части корпуса не используются в качестве проводника (массы), вся электропроводка изолирована от корпуса, колесные покрышки (шины) изолируют корпус от дороги. Нарушение изоляции между электрической цепью и корпусом в одной точке не приводит к появлению значительных токов, способных разрядить аккумуляторы. Пробой во второй точке может стать причиной замыкания аккумуляторной батареи и опасен для пользователя.

3) Тяговая аккумуляторная батарея. Обеспечивает энергией двигатель электромобиля. Имеется большое количество типов аккумуляторов, ни один из них полностью не отвечает всем требованиям и нет четкого критерия выбора оптимального аккумулятора. Недостаточная емкость, большое время заряда, малая удельная энергия аккумуляторов ограничивают уже много лет усилия конструкторов электромобилей. Типы аккумуляторов для тяговых аккумуляторных батарей:

Сегодня на электромобилях чаще всего устанавливаются:

- свинцово-кислотные аккумуляторы (СК);
- никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd);
- железоникелевые аккумуляторы (Ni-Fe);
- никель-металлгидридные аккумуляторы (Ni-MH);
- натриево-серные аккумуляторы (Na-S);
- никель-хлоридные аккумуляторы (Ni-Cl).

Перспективные источники энергии для электромобилей:

- литий-ионные сульфидные аккумуляторы;
- литий-полимерные аккумуляторы;
- жидкостные топливные элементы;
- инерционные маховики;
- конденсаторы сверхбольшой емкости.

4) Бортовой компьютер. Контролирует состояние основных функциональных компонентов и бортовых систем электромобиля. При необходимости инициирует средства защиты.

5) Дополнительный источник электроэнергии (обычно вспомогательная аккумуляторная батарея на 12 В). Обеспечивает работу осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, стеклоочистителей и т. д.

6) Система климат-контроля салона. Состоит из кондиционера и электроотопителя.

7) Электронный контроллер электродвигателя. Формирует требуемый вид напряжения питания. Управляет числом оборотов и тяговым моментом на валу по командам водителя или автоматически.

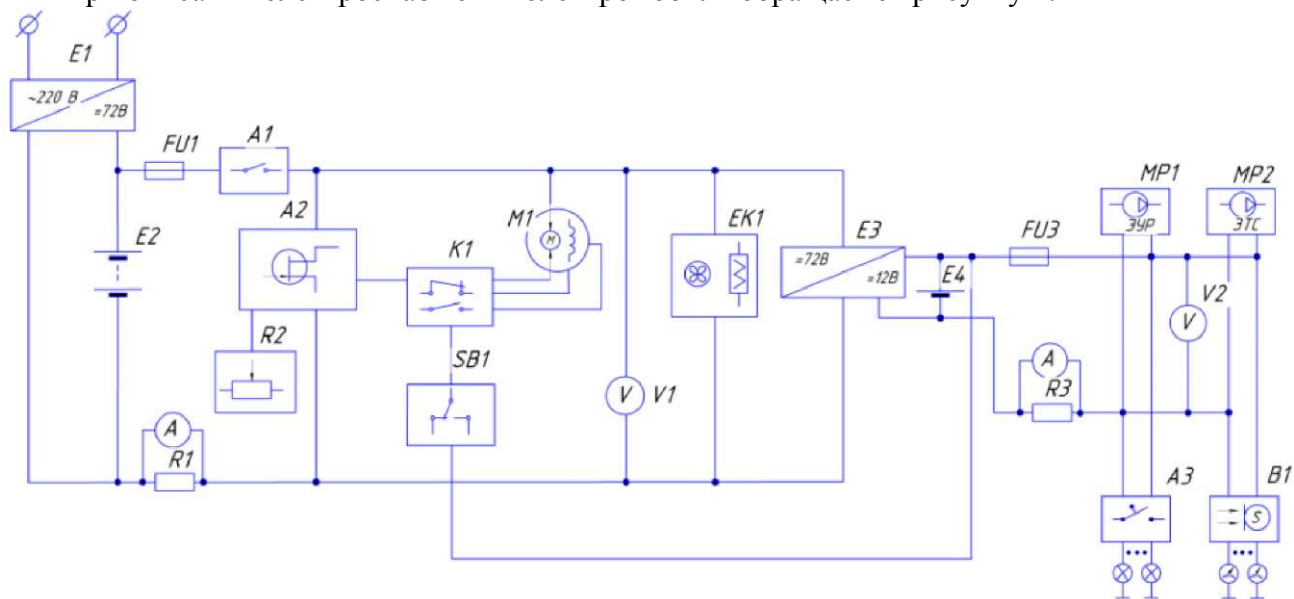
8) Электродвигатель. Приводит в движение колеса электромобиля непосредственно или через трансмиссию. Первоначально электромобили оснащались обычными электродвигателями постоянного или переменного тока. Сегодня на электромобилях используются в основном специальные электродвигатели переменного тока. К таким электродвигателям предъявляются требования высокой эффективности при постоянстве тяговых характеристик, необходимости в периодическом техобслуживании, способности выдерживать перегрузки и загрязнение

9) Механическая трансмиссия. Состоит из коробки передач, дифференциала и других механических устройств для обеспечения движения электромобиля.

10) Водительские органы управления электромобилем. Это педали, рулевое управление, рычаг управления стояночным тормозом, органы управления системами и приборами электромобиля.

11) Двигатели (колеса) электромобиля. При применении тягового электродвигателя, колеса имеют конструкцию характерную для автомобилей. Но могут применяться и мотор-колеса, когда электродвигатель встроен в колесо.

При описании электроснабжения электромобиля обращаемся рисунку 2.



**Рисунок 2 - Схема электрическая функциональная электромобиля**

Основой энергетики электромобиля является тяговая батарея E2, состоящая из шести аккумуляторов емкостью 130 а/час. Для увеличения дальности пробега возможно подключение дополнительных цепочек аккумуляторных батарей. Шесть батарей емкостью 130 а/час обеспечивают накопление 9.3 кВт/час энергии на борту электромобиля. Такой выбор аккумуляторов обеспечивает наиболее оптимальное сочетание веса энергетической установки, дальности пробега и скорости движения электромобиля при использовании электродвигателя мощностью 7.2 кВт (PMG-132).

В перспективе возможно применение устройств, называемых суперконденсаторами или электрохимическими источниками тока, которые подключаются параллельно основной тяговой батарее и облегчают их работу в режимах импульсного повышенного потребления энергии из батареи. Такие случаи возможны при интенсивном разгоне электромобиля, когда требуется отдача батареями тока значительной величины превышающей допустимое значение для конкретного типа аккумуляторных батарей, также приём значительных токов в режиме рекуперации (торможение путём переключения тягового электромобиля в режим генератора).

В настоящий момент такие изделия выпускаются ЗАО "ЭСМА" (г. Троицк Московской обл.), ЗАО "ЭЛИТ" (г. Курск), ООО "Технокор" (г. Москва), НПО "ЭКОНД" (г. Москва), АО "Плескава" (г. Псков - по лицензии НПО "ЭКОНД").

Заряд основной батареи осуществляется от зарядного устройства Е1 располагаемого либо на борту электромобиля или вне его. Его задача обеспечить необходимый ток в кратчайший период времени с соблюдением алгоритма заряда аккумуляторной батареи, рекомендованной заводом-изготовителем. Современные батареи используемые в качестве тяговых требовательны к качеству зарядного устройства. Требуемые пульсации выходного тока не должны превышать 4%. Ток заряда может достигать величины 1С, что означает значение зарядного тока равное цифре указанной емкости аккумулятора. Встроенный в зарядное устройство микропроцессор обеспечивает необходимый алгоритм заряда батареи, а при необходимости его десульфатацию.

В качестве электродвигателя для электромобиля применяются несколько типов электродвигателей. Это коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ), асинхронные двигатели переменного тока, синхронные двигатели переменного тока или современные типы двигателей переменного тока с вентильным управлением.

Наибольшее распространение получили ДПТ с последовательным возбуждением. Наравне с ними применяются ДПТ с параллельным возбуждением, которые позволяют не сложными средствами реализовать режим рекуперации энергии при торможении, т.е. возврат энергии торможения в тяговую батарею. Рекуперацию при использовании ДПТ последовательного возбуждения реализуют с помощью дополнительных генераторов подсоединенных к трансмиссии. Но чаще всего режимом рекуперации жертвуют. Это вполне оправдано в некоторых применениях электротранспорта, когда КПД (коэффициент полезного действия) его использования не существен. Например к таким машинам относятся электрокары, спортивные машины, машины применяемые для развлечений на аттракционах, гольф-кары, представительский транспорт на официальных мероприятиях, дешёвые городские электромобили для повседневных поездок на работу и обратно и др.

Асинхронные электродвигатели применяются довольно часто. Впервые его применили при электрификации автомобиля УАЗ в 70-х годах. Сейчас этот тип электродвигателей широко применяется на серийных гибридных автомобилях и чистых электромобилях.

Но для таких двигателей контроллер управления несколько дороже, чем для ДПТ. Поэтому в единичных экземплярах электромобилей он применяется редко.

Синхронные электродвигатели возможно применить на электротранспорте, но реально применяется редко из за жесткости его пусковых (стартовых) электромеханических характеристик.

В последнее время много разрабатывается электродвигателей с вентильным управлением.

Они характеризуются мощным электронным устройством управления на основе микропроцессорных систем. Такие электродвигатели перспективны для применения в электродвигателях, но их применение сдерживает высокая стоимость. Эти двигатели характеризуются компактностью, высокой удельной мощностью на единицу веса.

В данной работе для комплектования электромобиля выбран ДПТ последовательного возбуждения без реализации режима рекуперации с целью минимизации расходов на его изготовление.

Исходя из поставленной задачи получить в результате проектирования максимально экономичный проект в плане реализации выбираем для будущего электромобиля коллекторный электродвигатель постоянного тока (ДПТ), не требующий сложной системы управления, доступный для приобретения и применения для движения по городу.

Применяются чаще всего для скоростного транспорта, спортивных электромобилей, вращения тягового винта летательных аппаратов и снегоходов. КПД достигает величины 90% и выше. В то время как коллекторные электродвигатели могут иметь КПД менее 80%, а серийные асинхронные электродвигатели имеют максимум 87.5%. Таким образом вентильные электродвигатели имеют две модификации: питаемые переменным током и постоянным током.

Эффективность электродвигателей постоянного тока увеличивается при замене статорной обмотки возбуждения на постоянные магниты. Наибольшее распространение они получили после изобретения неодимовых магнитов.

Применение постоянных магнитов в электродвигателях вызвало появление безколлекторных электродвигателей. Постоянные магниты располагаются на роторе. Статор снабжается несколькими секциями обмотки. Это обычно три или четыре обмотки.

Выбираем электродвигатель с мощностью не менее 8.7 кВт. Из предлагаемых изготовителями электродвигателей и доступных на российском рынке наиболее лучше подходит электродвигатель компании Балканкар ЕС 10/7.5/28 мощностью 10 кВт, применяемый на электрокарах в качестве привода масляного насоса гидравлики.

Определим место положения электродвигателя в трансмиссии электромобиля. Это двигатель подключается к первичному валу коробки перемены передач.

Использование коробки перемены передач полностью решает задачу трогания электромобиля с места, что позволяет использовать менее мощные электродвигатели, позволяет применять электромобиль для движения по пресеченной местности на низких скоростях. Значительно увеличивается масса трансмиссии за счет применения коробки передач, дифференциала моста и других деталей. Расширяет диапазон выбора электродвигателей.

В связи с тем, что мы остановились на выборе серийного автомобиля для конвертации в электромобиль, последний вариант наиболее предпочтителен. В нем уже существуют все узлы трансмиссии для подключения электродвигателя. Остается только изготовить переходную план-шайбу и подвижную муфту соединения валов двигателя и КПП, а также дополнительный крепежный элемент с опорной подушкой для крепления двигателя к кузову электромобиля. Это наиболее оптимальный вариант для минимизации затрат на изготовление электромобиля.

В настоящее время для изготовления электромобилей используют следующие типы накопителей энергии:

- свинцово-кислотные батареи
- литий ионные
- натрий никель-хлоридные
- никель-кадмиевые
- щелочные
- никель-металлогидридные
- суперконденсаторы
- топливные элементы

Вопросы стоимости АКБ для электромобиля стоят очень остро. Аккумулятор является основной расходной частью, поэтому вопросы минимализации расходов на смену АКБ должны стоять на одном из первых мест при расчете электромобиля.

Свинцово-кислотные аккумуляторы - первооткрыватели в ряду вторичных химических источников тока. Уже около полутора веков свинцово-кислотные аккумуляторы верой и правдой служат электромобилестроительству.

В настоящее время наиболее распространенным выбором для конвертации автомобиля с ДВС в электромобиль является, проверенная временем, герметизированная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея. На этом типе батарей остановимся для использования в проекте.

Для указания номинальной емкости производители используют расчет выдаваемого аккумулятором тока в течении стандартного времени (если не указано значение этого времени в спецификациях, то оно обычно равно 20 часам для больших аккумуляторов). То есть, если в маркировке аккумулятора указано, что его емкость равна  $100\text{А}\cdot\text{ч}$ , то это означает, что он может питать нагрузку током  $5\text{А}$  в течение 20 часов.

Все бы было хорошо, но имеется одна не очень приятная закономерность: чем больше нагрузка на аккумулятор, тем меньше процент отдаваемой емкости (аккумулятор  $100\text{А}\cdot\text{ч}$  может выдавать ток  $100\text{А}$  в течении менее 1 часа), т.е. реальная мощность аккумулятора уменьшается с увеличением тока нагрузки. Но при движении электромобиля с остановками происходит частичное восстановление емкости.

Причина этого явления связана с тем, что внутри аккумулятора ток течет благодаря ионной проводимости. Если ионная проводимость электролита достаточно высока и не несет особого значения, то процесс переноса ионов внутри пластин аккумулятора и преодоление ими фазового раздела поверхность электрода электролит происходит достаточно медленно. То есть при быстром разряде какая-то часть ионов не успевает выйти из электрода в электролит (или войти из электролита в электрод) за время разряда, что ограничивает выдаваемую аккумулятором емкость.

При расчете батареи будем исходить из того, что электромобиль будет использоваться для внутригородских поездок с частыми остановками на светофорах, пробках и определим время поездки периодом 15 минут, это вполне реально для среднего российского города. При средней скорости  $40\text{ км/час}$  и дальности хода  $80\text{ км}$  требуемое время хода 2 часа чистого времени.

При среднем токе потребления электродвигателя  $50\text{ ампер}$  рассчитаем емкость аккумулятора:

$$C_p = I^n * T = 0.4 * 50 = 2 * 50 = 100 \text{ А/час}$$

Из предлагаемого ряда типовых батарей выберем для использования в проекте батареи емкостью  $130\text{ А/час}$ .

Из имеющихся в продаже на российском рынке аккумуляторов наилучшую репутацию при оптимальной стоимости имеют аккумуляторы Минн Кота МК-31- AGM емкостью  $130\text{ А/час}$ .

Устройство питания бортового оборудования предназначено для обеспечения энергией приборов и осветительного оборудования.

В связи с тем, что электромобиль использует серийное оборудование для автоматизации процессов измерения физических параметров, как и обычный автомобиль, то и энергетическое обеспечение должно быть стандартным, а именно напряжением  $12\text{ вольт}$ .

Для нашего электромобиля применим серийный аккумулятор емкостью  $60\text{ а/час}$ , рассчитанный по приведенной ниже таблице и предусматривающий  $10\%$  запаса энергии. Количество потребляемой энергии сведено в таблице 6.1.

*Таблица 1- Потребление тока оборудованием электромобиля*

Наименование	Потребление тока, А	Время непрерывной работы, час	Потребляемая от батареи емкость А/час
Фары ближнего света	14	1	14
Приборы показывающие	2	1	2
Габаритные фонари	8	2	16
Прочие наружные фонари	4	1	4
Обогреватель салона, климат-контроль	15	0.5	7.5
Гидроусилитель руля	5	1	5
Насос тормозной системы	5	1	5
Электродвигатель дворников	6	0.05	0.3
Итого:	59		53.8

Для пополнения энергией бортовой батареи целесообразно использовать значительный запас энергии тяговой батареи. Для преобразования уровней напряжений применим конвертор типа DC/DC 72в/12в. Из имеющихся на российском рынке используем конвертер SD-150C-12, производства Тайвань.

Вопрос отопления салона актуален в зимний период, а также важно иметь источник отопления для удаления влаги с внутренней поверхности лобового стекла при его отсыревании, при высокой влажности или резком перепаде температур, например при резком похолодании во время дождя.

Для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания отбор тепла от него и подача в салон решается довольно легко. С электромобилями это проблематично. Источником энергии на борту является тяговая батарея, но эта энергия нужна для приведения в действие электродвигателя и ее желательно экономить. Поэтому всегда обсуждается способ отопления салона на стадии проектирования. Для обсуждения предлагается:

- электрический отопитель с отбором энергии от тяговой батареи.
- газовый отопитель от баллона с газом на борту электромобиля
- топливный отопитель с питанием на бензине, солярке, спирте

Вырабатываемая тепловая энергия может подаваться непосредственно в салон путем нагревания воздуха или нагрев теплоносителя системы отопления. Первый способ может иметь пожарную опасность при наличии открытого огня в приборе выработки тепла или токсичность. Второй способ позволяет использовать систему отопления аналогичную серийному автомобилю, а источник открытого огня вынести за пределы салона и соответствующим образом обеспечить его безопасность с безопасным выбросом отработавших газов за пределы автомобиля.

Электрический отопитель наиболее прост в изготовлении, компактен, пригоден для непосредственного нагрева воздуха. Отрицательные черты: некоторое иссушивание воздуха, что может повлиять на комфортность и вторая, не производительное уменьшение запаса энергии тяговой батареи. Второй недостаток со временем потеряет актуальность при получении от промышленности аккумуляторных батарей удовлетворяющих требованиям электротранспорта: компактность, легкость, высокая емкость, относительная дешевизна.

Газовый отопитель несколько привлекателен из-за его экологической чистоты, но его взрывоопасность несколько смущает в применении. Некоторые изготовители электромобилей отказываются от газового отопителя именно из-за этого его недостатка. В случае применения этого способа отопления легко применить существующие печки автомобилей с воздушным охлаждением двигателя внутреннего сгорания. Например, известный отечественный автомобиль ЗАЗ-968 имел такой отопитель и он легко

переводится на газовое топливо. С его помощью забирается воздух снаружи салона и после нагрева подается во внутрь электромобиля.

Топливный отопитель достаточно распространен в настоящее время. Его стоимость достаточно высока, но его легко встроить в существующую систему жидкостного отопления. Это особенно важно при конвертировании серийного автомобиля в электромобиль. Выбор топлива, дело вкуса автора проекта или владельца электромобиля.

Прежде чем подбирать обогреватель определимся с видом нагревателя.

Пусть это будет электрический обогреватель, как наиболее простой в использовании, наиболее дешевый, что актуально. Потому, что мы ставим задачу создать экономически дешевый экземпляр электромобиля. При этом осознаем необходимость пожертвовать энергией тяговой батареи в ущерб дальности пробега. При использовании электромобиля для поездок на работу и с работы, а в этом качестве он обычно и используется, потери энергии не существенно усугубляют проблему энергетики электромобиля.

Поиск на российском рынке электроподогревателей вывел на нагреватели СКП производства «Завода по производству ТЭНов» в городе Сергиев Посад Московской области. Производитель готов изготовить под заказ электронагреватели СКП любой формы и любой мощности. Таким образом возможно получить нагревателя для установки в удобное для водителя место в салоне электромобиля. Полное наименование нагревателя для заказа СКП-10,0- 10,0-3,0-72. Площадь поверхности нагрева 1225 мм. Количество пластин нагрева может быть любое, в том числе можно обойтись одной пластиной.

Разработанная система электроснабжения электромобиля предназначена как для серийно выпускаемым электромобилей, так и для вновь разрабатываемых.

Разработанную систему электроснабжения электромобиля возможно применить как основу для создания малосерийных электромобилей, конвертации серийных автомобилей в электромобиль, что несомненно благоприятно повлияет улучшение экологической обстановки в мире.