

DOI 10.15593/24111678/2021.04.05

УДК 629.3

А.М. Щелудяков, А.Р. Тимергазин, Н.П. Нешатаев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕ NISSAN LEAF

Активная популяризация электромобилей в Российской Федерации в частности и во всем мире в целом приводит к быстрому росту их парка, а также развитию инфраструктуры для комфортного использования электромобилей. Однако у электромобилей существует ряд недостатков, связанных с функционированием высоковольтных батарей. Климатические условия могут заметно влиять на протекание химических процессов в высоковольтной батарее, тем самым уменьшая уровень комфорта и надежности электромобиля. Рассматриваются условия, при которых существующие недостатки высоковольтных батарей явно проявляются. Проанализированы способы устранения недостатков от лидирующих на электромобильном рынке автопроизводителей, таких как Audi и Tesla. Результатом анализа определены преимущества и недостатки каждого из вариантов реализации системы терморегулирования. Выявлено, что далеко не каждый автопроизводитель успешно справляется с охлаждением и нагревом высоковольтных батарей в своих серийных моделях, выпущенных в массовое производство. В качестве объекта исследования выбран электромобиль Nissan Leaf. Рассмотрена конструкция высоковольтной батареи, а также способ организации системы охлаждения и обогрева высоковольтной батареи. Установлено, что система терморегулирования высоковольтной батареи Nissan Leaf неэффективна. Учитывая преимущества и недостатки высокоэффективных систем охлаждения высоковольтных батарей крупнейших производителей электромобилей, предложена методика реализации системы терморегулирования на объекте исследования. Описаны важные особенности расположения радиаторов и подогревателей, выбран материал для их изготовления.

Ключевые слова: электромобиль, охлаждение, обогрев, высоковольтная батарея, низкая температура, высокая температура, эксплуатация.

A.M. Scheludyakov, A.R. Timergazin, N.P. Neshataev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF THERMAL CONTROL SYSTEMS FOR HIGH-VOLTAGE BATTERIES FOR NISSAN LEAF ELECTRIC VEHICLE APPLICATION

High popularization of electric vehicles in the Russian Federation and throughout the world leads to the rapid growth of the fleet, as well as the development of infrastructure for comfortable use of electric vehicles. However, electric vehicles have a number of disadvantages associated with the functioning of high-voltage batteries. Climatic conditions can significantly affect the course of chemical processes in a high-voltage battery, thereby reducing the level of comfort and reliability of an electric vehicle. The article considers the conditions under which the existing disadvantages of high-voltage batteries are clearly manifested. The ways of eliminating shortcomings from the leading automakers in the electric car market, such as Audi and Tesla, are analyzed. As a result of the analysis, the advantages and disadvantages of each of the options for implementing the temperature control system are determined. It has been revealed that not every car manufacturer successfully copes with the cooling and heating of high-voltage batteries in their mass-produced models. The Nissan Leaf electric vehicle was chosen as the object of the study. The design of a high-voltage battery is examined, as well as the method of organizing the cooling and heating system of the high-voltage battery. It is established that the thermal control system of the Nissan Leaf high-voltage battery is not effective. Taking into account the advantages and disadvantages of highly efficient cooling systems for high-voltage batteries of the largest manufacturers of electric vehicles, a method for implementing a temperature control system at the subject of the study is proposed. The article describes important features in the arrangement of radiators and heaters; the material for their manufacture is selected.

Keywords: electric vehicle, cooling, heating, high voltage battery, low temperature, high temperature, exploitation.

Количество автомобилей в мире постоянно и активно растет. Автопроизводители стремятся увеличить объемы выпуска и продаж своих автомобилей. Основная часть из них – это автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Всем известно, что работа двигателя внутреннего сгорания сопровождается выбросами вредных веществ в атмосферу. У экологов это вызывает сильное недовольство, так как увеличение выбросов отработавших газов в атмосферу ускоряет процесс глобального потепления. К тому же источниками питания двигателей внутреннего сгорания являются невозобновляемые ископаемые, которые когда-нибудь закончатся. Цены на традиционное топливо также стремительно растут, и пользователям становится невыгодно содержать собственный автомобиль. В последнее время большое внимание уделяется применению альтернативных источников энергии в автомобилях. Наиболее доступным и самым распространенным является электрическая энергия. Вырабатывать ее не составляет большого труда, доступ к электроэнергии есть почти у каждого человека, а размещение зарядных станций не связано с какими-то особыми требованиями. Достаточно обеспечить подвод электричества к месту зарядки автомобиля и установить терминал. Электрический транспорт успешно развивается во всем мире и зарекомендовал себя среди потребителей. С недавних пор электроэнергия нашла свое применение и в тяговых установках автомобилей. В связи с этим происходит постепенное замещение автомобилей, работающих на традиционном топливе.

Актуальность электромобилей в России высока. Согласно данным аналитических отчетов «Автостат» рынок электромобилей на 1 января 2017 г. составлял всего 920 единиц на всю страну [1]. К 1 января 2021 г. парк электромобилей в России вырос в 10 раз и уже составил 10 836 единиц [2]. С января по октябрь 2021 г. количество электромобилей вновь увеличилось до 12 551 единицы, что составляет всего 7 % от общего количества электрокаров, гибридов и подключаемых гибридов в РФ (рис. 1) [3]. При этом большая доля электромобильного парка приходится на японскую модель Nissan Leaf.

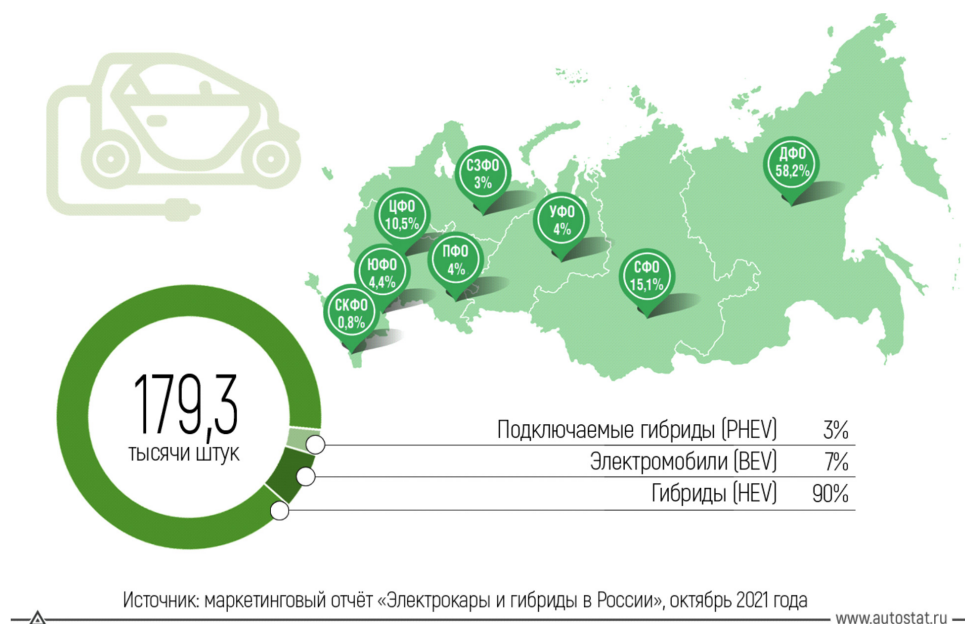


Рис. 1. Данные о зарегистрированных электромобилях и гибридах в России¹

Эксплуатация электромобилей мало чем отличается от эксплуатации традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Управление и ходовые качества, комфорт и эксплуатационные характеристики – все это сохраняется в обоих типах автомобилей. Основные различия – это экономичность и динамические показатели. Множество факторов может повлиять на величину этого показателя. Традиционные автомобили при прогревом до рабочих температур двигателя и соблюдении скоростного режима имеют практически неизменную величину расхода

¹ Автостат [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 10.10.2021).

топлива, вне зависимости от погодных условий эксплуатации. Прогретый двигатель даже в экстремальных условиях будет придерживаться расхода топлива в пределах нормы. Электромобиль же сильно чувствителен к климатическим условиям эксплуатации [4, 5]. При низкой отрицательной температуре высоковольтная аккумуляторная батарея электромобиля подвергается чрезмерному охлаждению, что может приводить к замерзанию электролита, повышению внутреннего сопротивления, увеличению времени заряда батареи и достаточно быстрому снижению заряда, соответственно понижается при этом и запас хода на 30–50 % [6, 7]. К тому же включение различных потребителей, таких как система отопления, аудиосистема, стеклоочистители, световые приборы и т.п., может привести к тому, что водитель не доберется до пункта назначения [8–10]. Слишком низкая внутренняя температура высоковольтной батареи ограничивает возможность ее зарядки во избежание ее повреждения. Эксплуатация в условиях высоких температур приводит к перегреву, преждевременному износу или взрыву высоковольтной аккумуляторной батареи. Такие особенности эксплуатации электромобилей могут вызывать дискомфорт у водителей. Для решения этой проблемы необходимо использовать систему подогрева и охлаждения высоковольтной аккумуляторной батареи.

Многие автопроизводители применяют систему терморегулирования высоковольтных батарей (ВВБ). Как правило, это комбинированная система отопления и охлаждения, отвечающая за автоматическую регуляцию температуры внутри аккумуляторного блока. Такая система позволяет устранить недостатки высоковольтных аккумуляторных батарей при эксплуатации в экстремальных климатических условиях, сохранить ресурс, а также поддерживать запас хода на одном уровне.

Инженеры компании Audi при создании электромобиля модели E-tron представили свою систему охлаждения батареи, которая может работать и в качестве обогревателя. Конструктивно система охлаждения в самой высоковольтной батарее представлена в виде тонких алюминиевых профилей с подводящими и отводящими трубками, по которым циркулирует охлаждающая жидкость. Вся система охлаждения располагается под аккумуляторными модулями с ячейками и защищена только лишь нижней защитной пластиной корпуса высоковольтной батареи (рис. 2). Выбор такого расположения охладителя – это, прежде всего, безопасность. При деформации высоковольтной батареи разрыв контура охлаждения приводит к утечке охлаждающей жидкости, но жидкость не может контактировать с ячейками батареи, так как находится под ними. Так как система охлаждения соединена с внешним фронтальным радиатором, при поездке воздух, набегающий на радиатор, охлаждает циркулирующую жидкость в контурах охлаждения, что приводит к внутреннему понижению температурного режима высоковольтной батареи. Но также такая система охлаждения может работать в режиме обогрева батареи, даже в холодное время. Контур охлаждения, соединяющий радиатор и систему охлаждения высоковольтной батареи, связан еще с колесными редукторами, которые в процессе передвижения автомобиля нагреваются и обеспечивают повышение температуры охлаждающей жидкости до определенного температурного режима, отслеживаемого температурными контроллерами. Еще одна особенность данной системы охлаждения, которая раскрывается при динамичной поездке, – это охлаждение с использованием системы кондиционирования. Контур системы охлаждения соединен с теплообменником, который отвечает за подачу хладагента. При этом в условиях холодного климата избыточное тепло, выделяющееся от нагрева высоковольтной батареи, отводится на отопление салона электромобиля [11].

Компания Tesla также использует в своих электромобилях систему охлаждения высоковольтной батареи, основанную на циркуляции жидкости, но отличительной чертой является прохождение радиаторов, по которым протекает хладагент, непосредственно внутри аккумуляторных блоков (рис. 3). Радиатор представляет собой запатентованный тонкий спиралевидный канал из термопередающего материала, проходящий через ряды близко расположенных li-ion-аккумуляторов. За счет соприкосновения аккумуляторов и радиатора происходит равномерный теплообмен внутри всей батареи. Охлаждающий контур соединен с радиатором и системой кондиционирования для эффективного охлаждения, а также с контуром охлаждения элементов трансмиссии [13]. С холодным климатом Tesla справляется путем установки электрических обогревателей, помогает и жидкостная система охлаждения, передающая тепло от инвертора и

электромоторов при движении к радиаторам внутри высоковольтной батареи. Расположение радиаторов внутри батареи является не самым безопасным решением, так как при деформации высоковольтной батареи жидкость из охлаждающего контура может разлиться и вызвать короткое замыкание в батарейном модуле, что может привести к пожару.

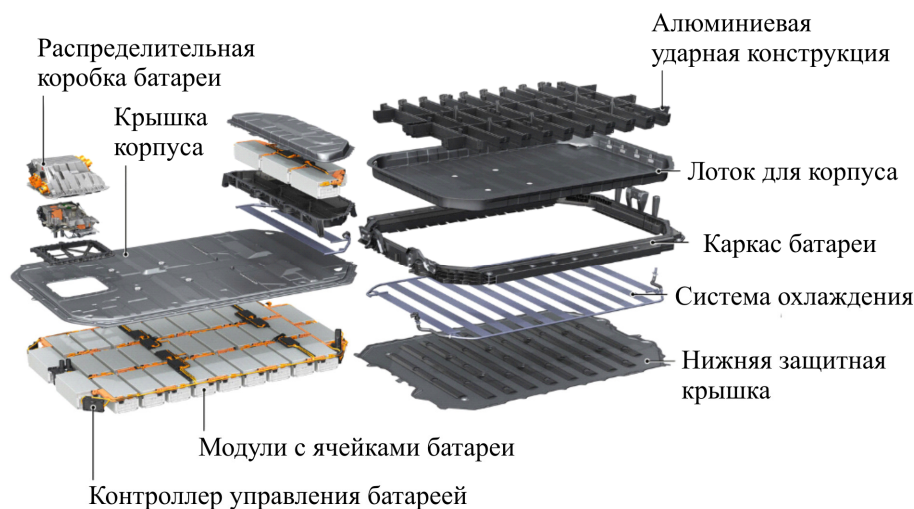


Рис. 2. Конструкция высоковольтной батареи Audi E-tron

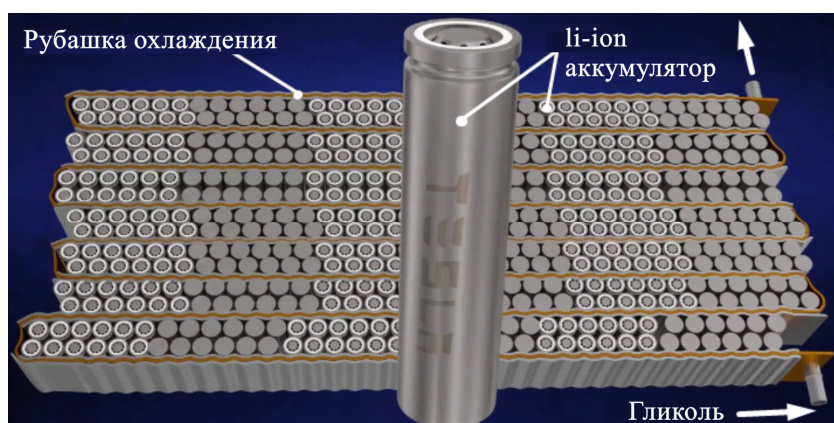


Рис. 3. Конструкция рубашки охлаждения компании Tesla [11]

Одной из немногих компаний, которые не используют жидкостное охлаждение высоковольтной батареи, является Nissan. На моделях электрокаров Leaf первого и второго поколения не предусмотрена активная система охлаждения высоковольтной батареи. Батарея охлаждается пассивно, только за счет обдувающего корпус воздушного потока. Вентиляторов для нагнетания воздуха внутрь или на поверхность высоковольтной батареи нет, поэтому эффективное охлаждение происходит только при движении автомобиля [14]. Таким образом, объектом исследования был выбран электромобиль Nissan Leaf.

Во время длительной стоянки, динамичной поездки или движения при высокой температуре окружающего воздуха по загруженным дорогам высоковольтная батарея перегревается, что приводит к сильному преждевременному износу или выходу ее из строя. Конструкция высоковольтной батареи Nissan Leaf (рис. 4) достаточно простая. Внутри алюминиевого корпуса располагаются аккумуляторные модули, элементы коммутации этих модулей, а также различные контроллеры. Расположено все достаточно компактно. Пластины алюминиевого корпуса гладкие, воздух при обволакивании корпуса недостаточно охлаждает высоковольтную батарею во время остановки электромобиля или его зарядки. Высоковольтная батарея Nissan Leaf также фактически не имеет и системы обогрева высоковольтной батареи.



Рис. 4. Высоковольтная аккумуляторная батарея Nissan Leaf

Проблема с охлаждением и обогревом высоковольтной батареи электромобиля Nissan Leaf достаточно актуальна. Владельцы электромобилей часто сталкиваются с сильным нагревом высоковольтной батареи в процессе эксплуатации электромобиля или невозможностью зарядки высоковольтной батареи при переохлаждении. В первую очередь для решения проблемы охлаждения необходимо усовершенствовать корпус высоковольтной батареи, а именно установить на нем мини-радиаторы с явно выраженными ребрами охлаждения. Важно произвести установку в месте, где легко обеспечивается подвод воздуха к поверхности, а это, как правило, нижняя часть корпуса. Ребристая поверхность улучшает охлаждение. Но этого недостаточно при эксплуатации в условиях высоких температур. Еще одним эффективным решением является дооснащение высоковольтной батареи специальными каналами в виде медных трубок, внутри которых протекает хладагент, подающийся из системы кондиционирования электромобиля. При работе высоковольтной батареи каждая аккумуляторная ячейка излучает тепло, распространяющееся внутри аккумуляторного модуля, в котором несколько сотен таких ячеек [15]. Распространение тепла внутри модуля равномерное, поэтому для охлаждения всей высоковольтной батареи достаточно охлаждать только аккумуляторные модули. Для этого охлаждающие медные трубки необходимо расположить вокруг аккумуляторных модулей, но при этом стоит учесть, что расположение должно быть безопасным, то есть чтобы в случае повреждения трубок не происходило короткое замыкание внутри высоковольтной батареи. Разделив охлаждающие каналы и аккумуляторные блоки не проводящим ток, но проводящим тепло экраном можно добиться выполнения условия безопасности. Высокая теплопроводность меди [16] позволит эффективно отводить тепло, тем самым не давая высоковольтной батарее сильно нагреваться. Отводящее тепло можно использовать на обогрев салона, не задействовав при этом нагревательные элементы. Постоянная работа жидкостной системы охлаждения может привести к переохлаждению батареи, поэтому нужно произвести соединение контура охлаждения высоковольтной батареи с системой кондиционирования через электромагнитные клапаны, которые при подаче сигнала от термоконтроллера разделят систему кондиционирования и контур охлаждения высоковольтной батареи. В этом случае охлаждение высоковольтной батареи сможет производиться только в определенном диапазоне температур, а также появится возможность установки в охлаждающий контур электрического нагревателя для обогрева высоковольтной батареи электромобиля в морозы. Подключить нагреватель также необходимо к термоконтроллеру высоковольтной батареи для того, чтобы обеспечить автоматическое включение и выключение при определенных температурных границах. Одновременное охлаждение и обогрев ограничиваются только различными температурными диапазонами. При работе системы кондиционирования электрический нагреватель не включается. Для его включения должны выполняться два условия: температура попадает в заданный для его работы диапазон и контур охлаждения высоковольтной батареи отсоединен от системы кондиционирования. Таким образом, один термоконтроллер должен отслеживать внутреннюю температуру высоковольтной ба-

тарей и отправлять сигнал электромагнитным клапанам и блоку кондиционера или электрическому нагревателю, в зависимости от измеренных температурных показателей.

Методика внедрения системы терморегулирования батареи требует выполнения последовательных операций (рис 5).



Рис. 5. Блок-схема методики внедрения системы подогрева и охлаждения ВВБ

Первым этапом необходимо отключить высоковольтную батарею от бортовой электрической сети и демонтировать ее с электромобиля. Следующим этапом следует разбор корпуса батареи. Аккумуляторные модули при этом снимать не требуется. Для обеспечения безопасности необходимо установить теплопроводящий диэлектрический щит вдоль наружных стенок аккумуляторных модулей. Далее на этот щит закрепить медные трубки, выступающие в роли радиатора. Для прохождения трубок внутрь высоковольтной батареи необходимо сделать входное и выходное отверстия в корпусе высоковольтной батареи. Просунув в отверстия трубки, придать им форму и закрепить на теплопроводящем диэлектрическом щите. Загерметизировать отверстия с целью защиты высоковольтной батареи от попадания пыли и воды. На внешней стороне корпуса закрепить ребристые мини-радиаторы и собрать высоковольтную батарею в обратной последовательности. После установки высоковольтной батареи на место соединить выходящие из корпуса батареи трубки с системой кондиционирования посредством электромагнитных клапанов. Установить в разрез контура охлаждения высоковольтной батареи электрический нагреватель. Соединить термоконтроллер с электромагнитными клапанами, электрическим нагревателем и блоком управления кондиционером. Завершающим этапом является подключение высоковольтной батареи к бортовой сети. Работы важно производить в сухом и чистом проветриваемом помещении, чтобы предотвратить случайное загрязнение внутри высоковольтной батареи при разборке.

Эффективное охлаждение и обогрев высоковольтной батареи в климатических условиях с экстремальными температурами позволяет сохранить прогнозируемый запас хода электромобиля, предотвратить недостатки с перегревом и переохлаждением батареи. Таким образом, поведение ВВБ становится более предсказуемым, возрастает эффективность работы электромобиля в зимний период эксплуатации, появляется возможность осуществлять заряд электромобиля на «быстрых» зарядных станциях.

Направление дальнейших исследований необходимо связать с разработкой технологии и методики функционирования системы терморегулирования ВВБ на электромобиле Nissan Leaf.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. В России насчитывается 920 электромобилей [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.autostat.ru/news/29517/> (дата обращения: 30.09.2021).
2. Количество электромобилей в России превысило 10 тысяч единиц [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.autostat.ru/news/47243/> (дата обращения: 30.09.2021).
3. Электрокары и гибриды: где их в России больше всего? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/49728/> (дата обращения: 24.10.2021).
4. Влияние температуры на работу и жизненный цикл аккумуляторной батареи на основе Li-ионных электрохимических элементов / А.Р. Асоян, А.А. Солнцев, Д.А. Никитин, Л.В. Никитина, В.А. Багрин, О.В. Федюшкина // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26–27 января 2021 года. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 75–80.
5. Ганова А.С., Хмелев Р.Н. Сравнительный анализ характеристик тяговых аккумуляторов для современных электромобилей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 10. – С. 318–322.
6. Карамян О.Ю., Чебанов К.А., Соловьева Ж.А. Электромобиль и перспективы его развития // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–4. – С. 693–696.
7. Полищук Н.В. Экологическая логистика: электромобиль, мировой опыт и перспективы использования в России // Транспортное дело России. – 2017. – № 2. – С. 110–114.
8. Тихомирова О. Б, Тихомиров А.Н. Энергетическая эффективность электротранспорта // Транспортные системы. – 2018. – № 1 (7). – С. 7–14. DOI 10.46960/62045_2018_1_7.
9. Генсон Е.М. Оптимизация работы парка специализированных автомобилей для сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 3 (53). – С. 38–41.
10. Василенко Э.Р., Певнев Н.Г. Повышение эффективности эксплуатации электромобилей в сложных климатических условиях // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Омск, 29–30 ноября 2018 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. – С. 98–101.
11. Первый электрокар Audi: слезая с нефтяной иглы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.popmech.ru/vehicles/448502-pervyy-elektrokar-audi-slezaya-s-neftyanoy-igly/?mindbox-click-id=6b2b6d48-a55b-4b74-bf57-07c6248ebeaa> (дата обращения: 15.10.2021).
12. Автомобиль Tesla, принцип работы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ruselectronic.com/tesla-car/> (дата обращения: 17.10.2021).
13. Россия и электромобили зимой в морозы: как производители решают проблему «зимнего пакета»? [Электронный ресурс]. – URL: https://neovolt.ru/blog/1017_elektromobil-zimoy (дата обращения: 17.10.2021).
14. Nissan Leaf Gen1/2 Powertrain Information [Электронный ресурс]. – URL: https://www.motorreviewer.com/ev_powertrain.php?id=1 (дата обращения: 19.10.2021).
15. Does the new 62 kWh LEAF battery have “an additional fan” for cooling? [Электронный ресурс]. – URL: <https://electricrevs.com/2019/01/31/does-the-new-62-kwh-leaf-battery-have-an-additional-fan-for-cooling/> (дата обращения: 20.10.2021).
16. Елманов Г.Н., Зуев М.Т., Смирнов Е.А. Теплопроводность металлов и сплавов: Лабораторный практикум. – М.: МИФИ, 2007 – 32 с.

References

1. V Rossii naschityvaetsia 920 elektromobilei, available at: <https://www.autostat.ru/news/29517/> (accessed 30 September 2021).
2. Kolichestvo elektromobilei v Rossii prevysilo 10 tysiach edinit, available at: <https://www.autostat.ru/news/47243/> (accessed 30 September 2021).

3. Elektrokary i gibridy: gde ikh v Rossii bol'she vsego?, available at: <https://www.autostat.ru/infographics/49728/> (accessed 24 October 2021).
4. Asoian A.R., Solntsev A.A., Nikitin D.A., Nikitina L.V., Bagrin V.A., Fediushkina O.V. Vliianie temperatury na rabotu i zhnennyy tsikl akkumuliatornoi batarei na osnove Li-ionnykh elektrokhimicheskikh elementov [Influence of temperature on the operation and life cycle of a storage battery based on Li-ion electrochemical cells]. *Sbornik nauchnykh trudov, posviashchenny 85-letiiu kafedry EATiS MADI, po materialam 79-i nauchno-metodicheskoi i nauchno-issledovatel'skoi konferentsii MADI «Problemy tekhnicheskoi ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta»*. Moscow, Moskovskii avtomobil'no-dorozhnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet 26–27 January 2021, pp. 75–80.
5. Ganova A.S., Khmelev R.N. Sravnitel'nyi analiz kharakteristik tiagovykh akkumulatorov dlia sovremennykh elektromobilei [Comparative analysis of characteristics of traction batteries for modern electric vehicles]. *News of the Tula state university. Technical sciences*, 2020, no. 10, pp. 318–322.
6. Karamyan O.Y., Chebanov K.A., Soloveva Z.A. Elektromobil' i perspektivy ego razvitiia [Electric vehicles and its development prospects]. *Fundamental research*, 2015, no. 12-4, pp. 693–696.
7. Polishchuk N.V. Ekologicheskaya logistika: elektromobil', mirovoi opyt i perspektivy ispol'zovaniia v Rossii [Ecological logistics: electric car, world experience and prospects in Russia]. *Transport business in Russia*, 2017, no. 2, pp. 110–114.
8. Tikhomirova, O. B., Tikhomirov A.N. Energeticheskaya effektivnost' elektrottransporta [Energy efficiency of electric transport]. *Transportnye sistemy*, 2018, no. 1 (7), pp. 7–14. DOI: 10.46960/62045_2018_1_7.
9. Genson E.M. Optimizatsiya raboty parka spetsializirovannykh avtomobilei dlia sbora i transportirovaniia tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Optimization of the fleet of specialized vehicles for the collection and transportation of municipal solid waste]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2020, no. 3 (53), pp. 38–41.
10. Vasilinenko E.R., Pevnev N.G. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii elektromobilei v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh [Increase of efficiency operation of electric vehicles in complex climatic conditions]. *Sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Arkhitekturno-stroitel'nyi i dorozhno-transportnyi komplekсы: problemy, perspektivy, innovatsii»*. Omsk, Sibirskii gosudarstvennyi avtomobil'no-dorozhnyi universitet, 29–30 November 2018, pp. 98–101.
11. Pervyi elektrokav Audi: slezai s nefianoi igly, available at: <https://www.popmech.ru/vehicles/448502-pervyy-elektrokav-audi-slezaya-s-neftyanoy-igly/?mindbox-click-id=6b2b6d48-a55b-4b74-bf57-07c6248ebeeaa> (accessed 15 October 2021).
12. Avtomobil' Tesla, printsip raboty, available at: <http://www.ruselectronic.com/tesla-car/> (accessed 17 October 2021).
13. Rossiia i elektromobili zimoi v morozy: kak proizvoditeli reshaiut problemu «zimnego paketa»?, available at: https://neovolt.ru/blog/1017_elektromobil-zimoy (accessed 17 October 2021).
14. Nissan Leaf Gen1/2 Powertrain Information, available at: https://www.motorreviewer.com/ev_powertrain.php?id=1 (accessed 19 October 2021).
15. Does the new 62 kWh LEAF battery have “an additional fan” for cooling?, available at: <https://electricrevs.com/2019/01/31/does-the-new-62-kwh-leaf-battery-have-an-additional-fan-for-cooling/> (accessed 20 October 2021).
16. Elmanov G.N., Zuev M.T., Smirnov E.A. Teploprovodnost' metallov i splavov: Laboratornyi praktikum [Thermal conductivity of metals and alloys: Laboratory workshop]. Moscow, Moskovskii inzhenerofizicheskii institut, 2007, 32 p.

Получено 20.10.2021

Об авторах

Щелудяков Алексей Михайлович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: sam@pstu.ru).

Тимергазин Алексей Ринатович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alex.black.13@list.ru).

Нешатаев Николай Павлович (Пермь, Россия) – студент кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: neshataev92@gmail.com).

About the authors

Alexey M. Scheludiyakov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: sam@pstu.ru).

Alexey R. Timergazin student of the Department "Cars and Technological Machines", Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, e-mail: alex.black.13@list.ru).

Nikolay P. Neshataev (Perm, Russia) – student of the Department "Cars and Technological Machines", Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Ave., Perm, 614990, e-mail: neshataev92@gmail.com).