

Пожарная опасность электромобилей

Ю. Н. Канонин, А. В. Лыщик

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Канонин Ю. Н., Лыщик А. В. Пожарная опасность электромобилей // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 38–51. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-38-51

Аннотация

Цель: Оценить динамику увеличения количества электромобилей (электробусов) в Российской Федерации, рассмотреть факторы, приводящие к их воспламенению и оценить риск такого происшествия. Предложить мероприятия по снижению тяжести последствий воспламенения электромобилей (электробусов). **Методы:** Произведен обзор информации по данному вопросу по различным источникам. **Результаты:** Оценена динамика увеличения количества электромобилей в России, которая на сегодняшний день показывает практически ежегодное удвоение количества электромобилей в стране. Показано, что частота воспламенения электромобилей гораздо ниже, чем у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Однако пожар электромобилей развивается по другому сценарию, чем у автомобилей с ДВС, и, как правило, с более тяжелыми последствиями. Определены факторы, приводящие к воспламенению электромобилей (тепловой разгон в аккумуляторной батарее вследствие термических, механических и электрических воздействий) и основные опасности, возникающие при их горении. Рассмотрены современные методы предотвращения возгораний электромобилей, а также способы их тушения. **Практическая значимость:** Предложены меры по снижению риска пожаров электромобилей и мероприятия по уменьшению последствий таких пожаров.

Ключевые слова: Электромобили, факторы, приводящие к воспламенению, тепловой разгон, предотвращение пожаров электромобилей, тушения пожаров электромобилей.

На сегодняшний день количество электромобилей в стране незначительное. В соответствии с данными Автостата количество электромобилей и гибридов в России на 1 июля 2022 года составило 23,3 тысячи, или 0,05 % от общего количества транспортных средств. Соответственно, из них гибридов 5,8 тысячи, остальные чистые электромобили. В то же время по сравнению с 2020 годом рост числа электромобилей в стране более чем в два раза [1].

В соответствии с [1] к концу 2024 года в России будет выпускаться 25 тысяч электротранспортных средств. А в конце текущего десятилетия каждый десятый автомобиль, выпускаемый в России, будет электрическим с использованием батарей российского производства.

А вот по количеству электробусов в России есть определенные успехи. Например, московский парк электробусов всего за четыре года стал одним из крупнейших в мире и на сегодняшний день составляет около 1050 единиц, которые курсируют по 79 маршрутам [2].

Для повышения привлекательности владения электромобилей государство планирует не только мероприятия по развитию парковочного пространства и зарядной инфраструктуры, но и ряд других мер, включающих в себя программы субсидирования приобретения электромобилей, введение пониженной ставки транспортного налога на владельцев электромобилей и гибридов, предоставление льгот при пользовании платными автодорогами и ряд других [3].

Рост количества электромобилей обусловлен имеющимися по ряду параметров преимуществами по отношению к транспортным средствам с двигателем внутреннего сгорания, к которым можно отнести экологичность на стадии эксплуатации, почти полную бесшумность, большой межсервисный пробег и дешевое техническое обслуживание, связанные с простотой конструкции и устройством автомобиля, его надежность и долговечность и ряд других.

В то же время в средствах массовой информации все чаще упоминаются случаи пожаров электромобилей, вследствие чего возникает ощущение высокой пожароопасности данного вида транспорта. Но статистика это не подтверждает. Так, в 2021 году на 100 тыс. проданных электромобилей пришлось около 25 возгораний. У автомобилей с ДВС этот показатель вырастает до 1500, но наиболее неблагоприятная картина у гибридов — около 3500 инцидентов на 100 тыс. проданных машин [4]. С учетом того, что пробеги автомобилей с ДВС значительно больше, чем у электромобилей, в перерасчете на миллиард пройденных миль, по данным Tesla, показатели для машин с ДВС улучшаются, но все равно хуже в 11 раз, чем у электромобилей (соответственно 5 и 55).

Редкий случай возгораний электромобилей не попадает на страницы СМИ, а некоторые просто невозможно пройти мимо, даже если этим вопросом не интересуешься. Одним из таких является случай с грузовым судном *Felicity Ace*, где 16 февраля 2022 года произошло возгорание литий-ионной аккумуляторной батареи на одном из перевозимых транспортных средств. Возгорание из-за отсутствия специального пожарного оборудования потушить не удалось, огонь перекинулся на другие автомобили и само судно. Пожар продолжался несколько суток, в итоге 1 марта судно перевернулось и затонуло. Вместе с ним на дно отправилось 3965 автомобилей концерна Volkswagen AG [5]. Неудивительно, что после такого события некоторые судоходные компании отказались перевозить на своих кораблях электромобили и гибриды [6].

Однако внимание СМИ к пожарам электромобилей совсем не случайно. И вызвано это особенностью этих пожаров, связанных с тепловым разгоном и возгоранием литий-ионных аккумуляторов. Тепловой разгон, приводящий к возгоранию аккумуляторов и далее самого электромобиля, может возникнуть в результате неправильной эксплуатации или дорожно-транспортного происшествия. Как правило, тепловой разгон представляет собой разложение активного материала, реакцию между анодом материала и электролита, разрушение сепаратора и разложение

катада. При этом выход из строя батареи, как правило, сопровождается выбросом ядовитого газа, реактивным пламенем и взрывом. Тепловой разгон происходит по механизму цепных реакций, в ходе которых одна за другой происходят реакции разложения материалов компонентов батареи. И литий-ионный аккумулятор с высокой плотностью энергии и увеличенным сроком службы является наиболее популярным выбором аккумуляторов для электромобилей [7].

При воспламенении и горении электромобиля и автомобиля с ДВС тепловыделения вполне сопоставимы. Но из-за аккумулятора, расположенного на электромобиле, его тушение сильно затруднено. Это связано с герметичностью аккумуляторной батареи, необходимостью большого количества воды для ее охлаждения и возможностью повторного возгорания. Сочетание данных факторов приводит к тому, что в случае возгорания электромобиль, как правило, полностью выгорает.

Для того чтобы обеспечить возможность быстрого набора скорости и приемлемый запас хода без подзарядки, аккумуляторные батареи электромобилей обладают мощностью до 100 кВт и удельной энергоемкостью до 270 Вт · ч/кг. Хотя аккумуляторная батарея имеет низкую вероятность самовозгорания, она уязвима для внешних термических, механических и электрических воздействий, которые могут проявиться в экстремальных условиях эксплуатации или инцидентах, способных привести к ее возгоранию.

Эксплуатация электромобилей в условиях повышенных температур может привести к перегреву батарей, что при плохом отводе тепла приводит к тепловому разгону и в итоге к возгоранию электромобиля. В свою очередь, при эксплуатации в условиях низких температур в аккумуляторе увеличивается внутреннее сопротивление, способствующее росту дендритов металлического лития, вызывающее внутри батареи дополнительные эффекты нагрева, что увеличивает вероятность ее возгорания [8, 9].

Для защиты от теплового разгона и последующего воспламенения аккумуляторной батареи производители каждую аккумуляторную ячейку оснащают небольшим электронным блоком и датчиком температуры. Электронные блоки следят за токами заряда/разряда и за температурой каждой ячейки. При повышении температуры электрическая цепь разрывается, и все опасные химические процессы в ячейке останавливаются. При продолжении процесса дальше в ячейке плавится пористый сепаратор, полностью перекрывающий движение ионов между электродами. Кроме этого, можно упомянуть применение альтернативных материалов для изготовления аккумуляторов, способных расширить температурные пределы эксплуатации [10]. К сожалению, данная система не всегда способна эффективно противостоять внешним воздействиям.

При горении литий-ионных аккумуляторов выделяется целый букет взрывопожароопасных и токсичных газов, основными из которых являются водород, метан, окись углерода, фтористый водород и цианистый водород, способствующие

усилению горения, а также приводящие к отравлению не только людей, находящихся в машине, но и оказавшихся рядом [9]. Кроме этого, аккумуляторная батарея в среднем содержит 8 кг лития, 35 кг никеля, 20 кг марганца и 14 кг кобальта, а ее масса может достигать 600 килограмм [11].

Причиной пожара электромобиля может быть не только отказ аккумуляторной батареи, но и перегрузка кабеля, выход из строя зарядного устройства, воспламенение других материалов или поджог, а также механическое воздействие на аккумуляторную батарею.

Возгорание электромобиля возможно как на стоянке, во время зарядки аккумуляторных батарей, так и во время движения.

По данным Пекинского технологического института, 38,5 % пожаров электромобилей начинаются, когда машина стоит, 27,5 % — при зарядке аккумуляторной батареи. Также указывается, что в холодный период года риск возгорания растет при зарядке аккумуляторной батареи, а в теплый период года вероятность пожара возрастает при перегреве аккумуляторной батареи [12].

Вероятность же короткого замыкания при столкновении по результатам краш-тестов невысока [13], тем не менее такие случаи зафиксированы и в России, где количество таких транспортных средств невелико. Например, в августе 2019 года Tesla Model 3, двигавшаяся на автопилоте, врезалась в угол стоящего на МКАД автомобиля и через некоторое время загорелась, выгорев дотла [14]. Достаточно часто повреждение аккумулятора происходит из-за воздействия на днище машины, где часто располагаются аккумуляторные батареи, при выбоинах на дорогах или наезде на препятствия. Например, в октябре 2013 года Tesla Model S загорелась после столкновения в пригороде Сиэтла с дорожным мусором в виде большого металлического предмета, повредившего днище электромобиля и приведшего к его воспламенению [15]. Надо отдать должное компании Tesla, которая оперативно внесла несколько изменений в конструкцию электромобиля, установив полый алюминиевый брус, позволяющий отбрасывать встречающиеся на пути предметы, высокопрочную плиту из титана, защищающую уязвимые элементы силовой системы при наезде на препятствие и щит из алюминия, поглощающий и рассеивающий энергию удара [16].

Возгорание электромобиля возможно также при внешнем воздействии. Как информирует компания Tesla [17], с 2012 по 2018 год 15 % возгораний были связаны с поджогами и внешними пожарами.

И, естественно, не обойтись без пресловутого человеческого фактора. Так, южнокорейская комиссия по расследованию возгораний электромобилей установила, что большинство таких возгораний вызвано именно этой причиной, особенно некачественной установкой батареи и неправильным обращением с ней. Производственные же ошибки установлены только в одной из миллионов произведенных батарей [18].

Применение автопилота существенно повышают риск пожара и тяжесть последствий для пассажиров при авариях. Это связано с тем, что большинство таких случаев происходит на большой скорости из-за того, что электроника сработала некорректно, водитель проигнорировал предупреждение о необходимости перейти на ручное управление или система автономного управления не заметила препятствие на пути машины. И если при дорожно-транспортных происшествиях на небольшой скорости водители серьезных повреждений не получают и возпламенение вследствие теплового разгона происходит не сразу, давая возможность водителю и пассажирам покинуть электромобиль, то при высоких скоростях возпламенение происходит до того, как пострадавшим в аварии смогут оказать помощь. Так, 23 марта 2018 года в США электромобиль Tesla Model X потерял управление и на скорости 120 км/ч врезался в бетонный барьер. Практически сразу он загорелся и взорвался. Водитель погиб. Там же 8 мая 2018 года Tesla Model S на скорости около 100 км/ч врезался в бетонную стену и мгновенно воспламенился. Двое подростков в машине погибли от термического воздействия. 24 февраля 2019 года там же Tesla Model 3 врезался в пальму, воспламенился, водитель погиб в огне [19, 20].

Несмотря на невысокую вероятность возгорания электромобиля и незначительное количество таких транспортных средств в России, уже сегодня нужно готовиться к их тушению, учитывая сложность данного процесса и быстрый потенциальный рост численности электромобилей.

Опасность тушения возгорания электромобиля связана с высоким риском поражения электрическим током от высоковольтных систем, а также возможностью его взрыва, выделением чрезвычайно опасных вредных химических веществ и других опасных факторов пожара.

Сложность тушения электромобиля заключается в том, что литий-ионная аккумуляторная батарея герметизирована для защиты от проникновения пыли и влаги, она способна гореть без доступа кислорода, поскольку в ее составе уже имеются и горючее вещество, и окислитель. Сами аккумуляторные батареи защищены ударопрочной противопожарной конструкцией, препятствующей их повреждению при столкновении. Также во многих случаях аккумуляторные батареи размещены в нижней части электромобиля, вдали от мест возможных ударов. Таким образом, какое бы огнетушащее вещество не применялось для тушения, оно способно лишь воздействовать на видимое пламя. Учитывая, что при воспламенении аккумуляторная батарея уже находится в состоянии теплового разгона, то основной задачей огнетушащего вещества является резкое снижение ее температуры. С такой задачей потенциально справиться могут вода и углекислота. Вода обладает высокой теплоемкостью и доступностью, углекислота низкой температурой на выходе из огнетушителя. Но, в отличие от воды, возможность постоянно, до полного

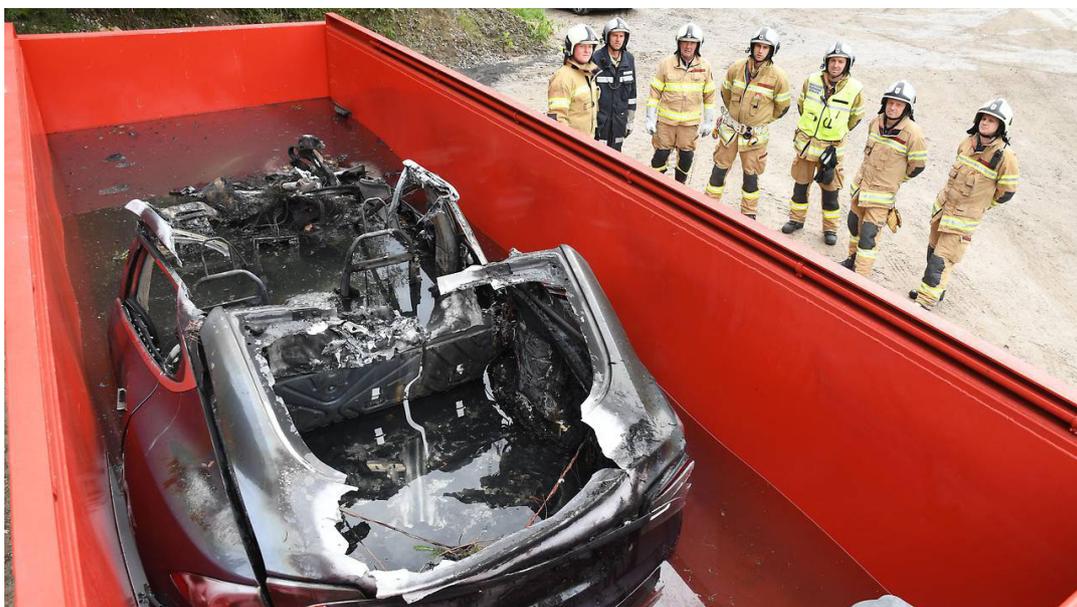


Рис. 1. Контейнер для эвакуации электромобиля после тушения

прекращения реакции горения, подавать углекислоту к аккумуляторной батарее отсутствует.

Однако и вода в данном случае неидеальна. Она обладает высокой подвижностью и низкой смачивающей способностью, что приводит к ее большому расходу. Испытания показали, что для тушения электромобиля необходимо до 10 000 литров воды, в зависимости от размера и расположения батареи. Кроме того, рекомендуемая скорость потока — до 200 л/мин для тушения и охлаждения [9, 21]. В регламенте тушения Tesla это значение еще больше и составляет 11 000 литров. В ряде случаев электромобиль помещали на длительное время в резервуар с водой [9] (рис. 1), что напрямую приводило к его последующей утилизации. Известны случаи, когда даже такого количества воды было недостаточно. Например, в апреле 2021 года в США для тушения беспилотного Tesla Model S пожарным потребовалось 4 часа и более 100 тыс. литров воды [22].

Более экономичную и безопасную систему борьбы с горящими электромобилями предложили инженеры австрийской компании Rosenbauer. Это устройство малой толщины, устанавливаемое под днищем горящего электромобиля и способное специальным штырем пробить отверстие в корпусе аккумуляторного блока, через которое внутрь подается большое количество воды под давлением (рис. 2). Данное устройство позволяет управлять процессом тушения на расстоянии до 10 метров и снизить расход воды более чем в 4 раза [23].

Учитывая, что количество электромобилей в стране ежегодно увеличивается почти в два раза [24], встает вопрос о готовности служб спасения к тушению электромобилей. Большинство электромобилей сконцентрировано, по данным [25] на середину 2021 года, в следующих регионах: Приморский край — 1572; Иркутская

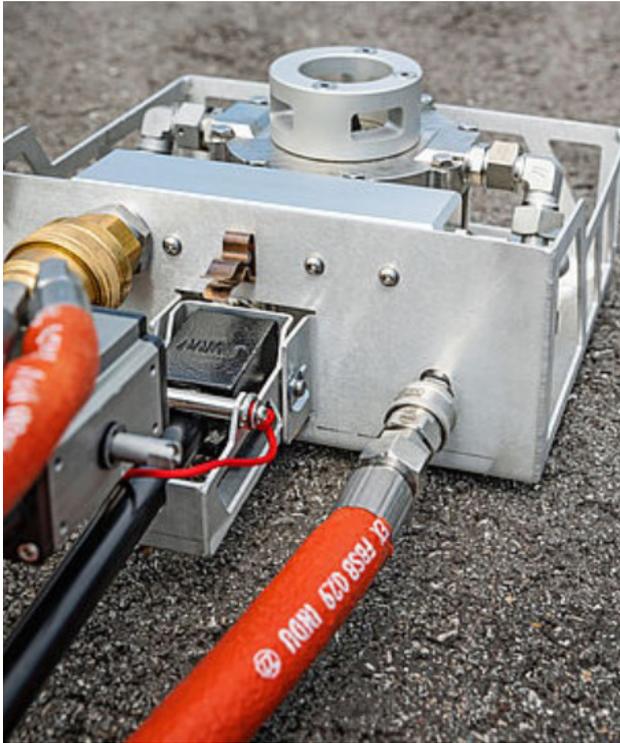


Рис. 2. Устройство компании Rosenbauer для ликвидации возгораний электромобилей

область — 1381; Москва — 1360. Далее с большим отрывом Хабаровский край — 812; Краснодарский край — 596; Московская область — 521; Новосибирская область — 516; Санкт-Петербург — 417. Однако по темпам прироста количество таких транспортных средств в 2021 году лидирует Москва — 924 (41 % от зарегистрированных в РФ электромобилей в 2021 году), 255 — Санкт-Петербург и 238 — Московская область [26]. Электромобили, учитывая состояние дорог в регионах, — по большей части городские машины, которые имеют определенные ограничения в запасе хода: для современных коммерческих электромобилей он составляет примерно 150–200 км, например 172 км для Nissan Leaf и

183 км для BMW i3. Ограничение общей дальности связано с ограниченным пространством для размещения аккумуляторной батареи на борту электромобиля. Обычно общий объем аккумуляторной батареи составляет примерно 220 литров для электромобиля и 400 литров для внедорожника [27]. И это позволяет целенаправленно точно подготовить спасателей к решению таких задач, оснастив их соответствующим оборудованием, которое из-за введенных санкций необходимо разрабатывать непосредственно в России.

При тушении возгораний электромобилей возможно поражение электрическим током, следовательно, пожарным, принимающим участие в тушении, необходимо уметь правильно идентифицировать такое транспортное средство, обладать знаниями устройства и практикой тушения пожаров электромобилей, позволяющими предпринять действия по недопущению воздействия электричества на них и на окружающих.

Для обучения пожарных тушению пожаров, возникающих на железнодорожном пассажирском подвижном составе, разработан ряд тренажеров. Например, тренажер «Искра 14С» позволяет моделировать различные ситуации пожара в пассажирском вагоне и до автоматизма довести навыки пожарных, необходимые в таких случаях [28, 29]. Представляется целесообразным создание тренажера по обучению пожарных тушению возгорания электромобиля в различных ситуациях.

И, конечно же, сами владельцы электромобилей должны представлять его устройство и в случае аварии или инцидента, способного привести к его воспламенению, обесточить транспортное средство. При вызове представителей служб спасения обязаны указать, с каким транспортным средством им придется иметь дело.

Поскольку повторное возгорание электромобилей и возгорание электромобилей, попавших в аварии, может произойти даже через несколько дней после указанных событий, в России необходимо перенять опыт стран с большой долей электрических транспортных средств по предупреждению об опасности такого воспламенения. Для этого применяется специальная маркировка для информирования окружающих, указывающая на необходимость парковки на достаточном удалении от других транспортных средств, легковоспламеняющихся веществ и материалов, категорический запрет на парковку в закрытом помещении [9]. Соответственно, такая маркировка должна быть разработана в РФ, а в Правила дорожного движения внесены соответствующие дополнения в разделы 2 «Общие обязанности водителей» и 12 «Остановка и стоянка».

При проектировании крытых паркингов необходимо предусматривать отдельные зоны для электромобилей с возможностью поддержания безопасной температуры, наличием сертифицированных устройств заряда аккумуляторных батарей и соответствующими средствами пожаротушения.

В целях повышения безопасности литий-ионных аккумуляторов и смягчения последствий теплового разгона ряд международных организаций разработали и приняли стандарты для оценки их безопасности [27, 30–32]. Эти стандарты требуют, чтобы литий-ионные аккумуляторы прошли установленные тесты на безопасность в различных условиях эксплуатации, включая перезарядку, чрезмерную разрядку, перегрев и механическое воздействие. Данные стандарты разработаны, чтобы попытаться гарантировать, что сертифицированные литий-ионные аккумуляторы имеют достаточно низкий риск аварии и, следовательно, могут безопасно использоваться. Стандарты испытаний на безопасность аккумуляторных батарей постоянно обновляются и оптимизируются, учитывая, что текущие испытания не могут полностью гарантировать безопасность.

Библиографический список

1. Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года. — URL: http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2_rDs3_BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf (дата обращения: 27.12.2022).
2. Сергей Собянин: Электробусный парк Москвы за четыре года стал одним из крупнейших в мире. — URL: <https://www.msk.kp.ru/online/news/5106682/> (дата обращения 30.01.2023).

3. Методические рекомендации по стимулированию использования электромобилей и гибридных автомобилей в субъектах Российской Федерации, утвержденные распоряжением Минтранса России от 25 мая 2022 г. № АК-131-р. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/11866> (дата обращения: 27.12.2022).
4. Gas vs. Electric Car Fires [2023 Findings]. — URL: <https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires/> (дата обращения: 25.12.2022).
5. Felicity Ace. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Felicity_Ace (дата обращения: 27.12.2022).
6. Junge Freiheit: норвежские паромы отказались перевозить электромобили. — URL: <https://russian.rt.com/inotv/2023-01-19/Junge-Freiheit-norvezhskie-paromi-otkazalis> (дата обращения: 28.12.2022).
7. Feng X. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review / X. Feng, M. Ouyang, X. Liu et al. // *Energie Storage Mater.* — 2018. — Iss. 10 (May 2017). — Pp. 246–267. — DOI: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.
8. The History of the Electric Car. — URL: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car> (дата обращения: 20.12.2022).
9. Sun P. A Review of Battery Fires in Electric Vehicles / P. Sun, R. Bisschop, H. Niu et al. // *Fire Technology.* — 2020. — URL: <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3> (дата обращения: 20.12.2022).
10. Раздувание огня: все ли электромобили пожароопасны. — URL: <https://iz.ru/871987/evgenii-bagdasarov/razduvanie-ognia-vse-li-elektromobili-pozharoопасny> (дата обращения: 28.12.2022).
11. Батарейка на колесах. — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/62671a189a7947c85bb26f0f/> (дата обращения: 09.01.2023).
12. В Китае опубликовали статистику по возгораниям электрокаров: BYD и GAC в топе. — URL: <https://matador.tech/news/v-kitae-opublikovali-statistiku-po-vozgoraniyam-elektrokarov-byd-i-gac-v-tope> (дата обращения: 24.12.2022).
13. VW Tiguan: Der SUV-Bestseller im Test. — URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/vw/vw-e-up> (дата обращения: 29.12.2022).
14. Сбитый автопилот: возгорание Tesla на МКАД поставило вопросы о безопасности модели. Стоит ли доверять жизнь электронике и почему электромобили так ярко горят. — URL: <https://iz.ru/909885/evgenii-bagdasarov/sbityi-avtopilot-vozgoranie-tesla-na-mkad-postavilo-voprosy-o-bezopasnosti-modeli> (дата обращения: 05.01.2023).
15. Tesla Model S загорелась недалеко от Сиэтла, пострадавших нет. — URL: <https://www.autoblog.com/2013/10/02/tesla-model-s-fire/> (дата обращения: 15.01.2023).
16. Tesla Adds Titanium Underbody Shield and Aluminum Deflector Plates to Model S. — URL: <https://medium.com/@teslamotors/tesla-adds-titanium-underbody-shield-and-aluminum-deflector-plates-to-model-s-544f35965a0d> (дата обращения: 28.12.2022).
17. Tesla Vehicle Safety Report, 2019. — URL: <https://www.tesla.com/VehicleSafetyReport> (дата обращения: 13.01.2023).

18. Как горят электромобили. Тушение электромобилей. — URL: <https://carsclick.ru/obshhie/kak-gorjat-jelektromobili-tushenie-jelektromobilej/> (дата обращения: 18.01.2023).
19. За рулем робот: аварии, в которых виноват автопилот. — URL: <https://www.autonews.ru/news/5be4498c9a7947707744ab2b> (дата обращения: 31.01.2023).
20. Автопилот-убийца. Пять самых опасных аварий с участием Tesla. — URL: <https://360tv.ru/tekst/obschestvo/avtopilot-ubijtsa/> (дата обращения: 26.12.2022).
21. Verband der Automobilindustrie (VDA). Помощь при авариях и восстановление транспортных средств с высоким напряжением Системы. Verband Der Automobilindustrie EV. — 2017. — С. 1–30.
22. Инженеры разработали технологию тушения электромобилей. — URL: <https://habr.com/ru/news/t/590313/> (дата обращения: 26.12.2022).
23. Создана уникальная система тушения электромобилей. — URL: https://4pda.to/2021/11/27/393402/sozdana_unikalnaya_sistema_tusheniya_elektromobilej/ <https://carsclick.ru/obshhie/kak-gorjat-jelektromobili-tushenie-jelektromobilej/> (дата обращения: 20.01.2023).
24. Парк электромобилей в России достиг 2,5 тыс. экземпляров. — URL: <https://www.avtostat.ru/35576/> (дата обращения: 27.12.2022).
25. 35 % всех электрокаров в России приходятся на три региона. — URL: <https://news.drom.ru/85635.html> (дата обращения: 31.01.2023).
26. В каких регионах России любят электрокары. Почти половина всех проданных в 2021 году «зеленых» автомобилей пришлось на Москву. — URL: <https://motor.ru/news/russia-ev-sales-31-01-2022.htm> (дата обращения: 31.01.2023).
27. Lalinde I. Perspective Chapter: Thermal Runaway in Lithium-Ion Batteries / I. Lalinde, A. Berrueta, J. J. Valera et al. — Submitted: February 3rd, 2022. — Reviewed: July 13th, 2022. — Published: August 27th, 2022. — DOI: 10.5772/intechopen.106539.
28. Канонин Ю. Н. Тренажер для обучения проводников пассажирских вагонов действиям при пожаре / Ю. Н. Канонин, А. В. Лыщик, А. В. Лопаткина // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2018): материалы VI Международной научно-практической конференции. СПб., 2018. — С. 67–69.
29. Канонин Ю. Н. Устройство для обучения поездной бригады действиям при пожаре / Ю. Н. Канонин, А. В. Лопаткина // Профессиональное образование, наука и инновации в XXI веке: материалы XII Санкт-Петербургского конгресса. — 2018. — С. 102.
30. Противопожарное, аварийно-спасательное оборудование и тренировочные комплексы для МЧС. Тренировочные комплексы ИСКРА-14С. — URL: <https://npp-topaz.ru/index-fire-iskra14c1.html> (дата обращения: 31.01.2023).
31. Mikolajczak C. Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. SpringerBriefs in Fire / C. Mikolajczak, K. White, M. Kahn et al. — New York: Springer, 2011. — XII. — 115 p. — DOI: 10.1007/978-1-4614-3486-3.
32. Ruiz V. A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles / V. Ruiz, A. Pfrang, A. Kriston et al. // Renewable

and Sustainable Energy Reviews. — 2018. — Iss. 81 (May 2017). — Pp. 1427–1452. — DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.195.

Дата поступления: 15.02.2023

Решение о публикации: 01.03.2023

Контактная информация:

КАНОНИН Юрий Николаевич — канд. техн. наук, доц.; yu.n.kanonin@yandex.ru

ЛЫЩИК Андрей Владимирович — канд. техн. наук, доц.; mihali@yandex.ru

Fire Danger of Electric Vehicles

Yu. N. Kanonin, A. V. Lyshchik

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kanonin Yu. N., Lyshchik A. V. Fire Danger of Electric Vehicles. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 38–51. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-38-51

Summary

Purpose: To assess increase dynamics of the number of electric vehicles (electric buses) in the Russian Federation, to consider the factors leading to their ignition and to assess the risk of such an accident. To propose measures to reduce consequence severity of electric vehicle (electric bus) ignition. **Methods:** Information review on this issue from various sources was made. **Results:** Increase dynamics of electric vehicle number in Russia was assessed which shows at the moment almost annual doubling of electric vehicle number in the country. It is shown that electric vehicle ignition frequency is much lower than that of vehicles with gas-engine. However, the electric vehicle fire develops according to different scenario than of the vehicles with gas-engine and, as a rule, with more severe consequences. The factors leading to the ignition of electric vehicles (thermal runaway in battery due to thermal, mechanical and electrical impacts) and the main dangers arising from their combustion are determined. Modern methods to prevent electric vehicle fires as well as methods of their extinguishing are considered. **Practical significance:** Measures are proposed to reduce electric vehicle fire risk and measures to reduce such fire consequences.

Keywords: Electric vehicles, ignition factors leading to combustion, thermal runaway, electric vehicle fire prevention, electric vehicle fire extinguishing.

References

1. *Kontseptsiya po razvitiyu proizvodstva i ispol'zovaniya elektricheskogo avtomobil'nogo transporta v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [Concept for the development of production and use of electric road transport in the Russian Federation for the period up to 2030]. Available at: http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2_rDs3_BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf (accessed: December 27, 2022). (In Russian)

2. *Sergey Sobyenin: Elektrobusnyy park Moskvy za chetyre goda stal odnim iz krupneyshikh v mire* [Sergei Sobyenin: The Moscow electric bus fleet has become one of the largest in the world in four years]. Available at: <https://www.msk.kp.ru/online/news/5106682/> (accessed: January 30, 2023). (In Russian)

3. *Metodicheskie rekomendatsii po stimulirovaniyu ispol'zovaniya elektromobiley i gibridnykh avtomobiley v sub'ektakh Rossiyskoy Federatsii, utverzhdennye rasporyazheniem Mintransa Rossii ot 25 maya 2022 g. № AK-131-r* [Guidelines for promoting the use of electric vehicles and hybrid vehicles in the constituent entities of the Russian Federation, approved by the order of the Ministry of Transport of Russia dated May 25, 2022 № AK-131-r]. Available at: <https://mintrans.gov.ru/documents/10/11866> (accessed: December 27, 2022). (In Russian)

4. Gas vs. Electric Car Fires [2023 Findings]. Available at: <https://www.autoinsuranceez.com/gas-vs-electric-car-fires/> (accessed: December 25, 2022).

5. Felicity Ace. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Felicity_Ace (accessed: December 27, 2022).

6. Junge Freiheit: Norwegian ferries refused to carry electric vehicles. Available at: <https://russian.rt.com/inotv/2023-01-19/Junge-Freiheit-norvezhskie-paromi-otkazalis> (accessed: December 28, 2022).

7. Feng X., Ouyang M., Liu X. et al. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energie Storage Mater.* 2018, Iss. 10 (May 2017), pp. 246–267. DOI: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.

8. The History of the Electric Car. Available at: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car> (accessed: December 20, 2022).

9. Sun P., Bisschop R., Niu H. et al. A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology.* 2020. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3> 1 (accessed: December 20, 2022).

10. *Razduvanie ognya: vse li elektromobili pozharoopasny* [Fanning the fire: are all electric vehicles a fire hazard]. Available at: <https://iz.ru/871987/evgenii-bagdasarov/razduvanie-ognia-vse-li-elektromobili-pozharoopasny> (accessed: December 28, 2022). (In Russian)

11. *Batareyka na kolesakh* [Battery on wheels]. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/green/62671a189a7947c85bb26f0f/> (accessed: January 09, 2023). (In Russian)

12. *V Kitae opublikovali statistiku po vozgoraniyam elektrokarov: BYD i GAC v tope* [China published statistics on electric car fires: BYD and GAC in the top]. Available at: <https://matador.tech/news/v-kitae-opublikovali-statistiku-po-vozgoraniyam-elektrokarov-byd-i-gac-v-tope> (accessed: December 24, 2022). (In Russian)

13. VW Tiguan: Der SUV-Bestseller im Test. Available at: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/vw/vw-e-up> (accessed: December 29, 2022).

14. *Sbityy avtopilot: vozgoranie Tesla na MKAD postavilo voprosy o bezopasnosti modeli. Stoit li doveryat' zhizn' elektronike i pochemu elektromobili tak yarko goryat* [Downed autopilot: Tesla fire on the Moscow Ring Road raised questions about the safety of the model. Is it worth trusting life to electronics and why electric cars burn so brightly]. Available at: <https://iz.ru/909885/evgenii-bagdasara>

rov/sbityi-avtopilot-vozgoranie-tesla-na-mkad-postavilo-voprosy-o-bezopasnosti-modeli (accessed: January 05, 2023). (In Russian)

15. Tesla Model S caught fire near Seattle, there were no casualties. Available at: <https://www.autoblog.com/2013/10/02/tesla-model-s-fire/> (accessed: January 15, 2023).

16. Tesla Adds Titanium Underbody Shield and Aluminum Deflector Plates to Model S. Available at: <https://medium.com/@teslamotors/tesla-adds-titanium-underbody-shield-and-aluminum-deflector-plates-to-model-s-544f35965a0d> (accessed: December 28, 2022).

17. Tesla Vehicle Safety Report, 2019. Available at: <https://www.tesla.com/VehicleSafetyReport> (accessed: January 13, 2023).

18. *Kak goryat elektromobili. Tushenie elektromobiley* [How electric cars burn. Extinguishing electric vehicles]. Available at: <https://carsclick.ru/obshhie/kak-gorjat-jelektromobili-tushenie-jelektromobiley/> (accessed: January 18, 2023). (In Russian)

19. *Za rulem robot: avarii, v kotorykh vinovat avtopilot* [Behind the wheel of a robot: accidents in which the autopilot is to blame]. Available at: <https://www.autonews.ru/news/5be-4498c9a7947707744ab2b> (accessed: January 31, 2023). (In Russian)

20. *Avtopilot-ubiytsa. Pyat' samykh opasnykh avariy s uchastiem Tesla* [Killer autopilot. The five most dangerous accidents involving Tesla]. Available at: <https://360tv.ru/tekst/obschestvo/avtopilot-ubijtsa/> (accessed: December 26, 2022). (In Russian)

21. Verband der Automobilindustrie (VDA). Accident assistance and recovery of vehicles with high voltage Systems. Verband Der Automobilindustrie EV. 2017, pp. 1–30.

22. *Inzhenery razrabotali tekhnologiyu tusheniya elektromobiley* [Engineers have developed a technology for extinguishing electric vehicles]. Available at: <https://habr.com/ru/news/t/590313/> (accessed: December 26, 2022). (In Russian)

23. *Sozdana unikal'naya sistema tusheniya elektromobiley* [A unique system for extinguishing electric vehicles has been created]. Available at: https://4pda.to/2021/11/27/393402/sozdana_unikalnaya_sistema_tusheniya_elektromobiley/ <https://carsclick.ru/obshhie/kak-gorjat-jelektromobili-tushenie-jelektromobiley/> (accessed: January 20, 2023). (In Russian)

24. *Park elektromobiley v Rossii dostig 2,5 tys. ekzemplyarov* [The fleet of electric vehicles in Russia has reached 2.5 thousand copies]. Available at: <https://www.avtostat.ru/35576/> (accessed: December 27, 2022). (In Russian)

25. *35 % vsekh elektrokarov v Rossii prikhodyatsya na tri regiona* [35 % of all electric cars in Russia are in three regions]. Available at: <https://news.drom.ru/85635.html> (accessed: January 31, 2023). (In Russian)

26. *V kakikh regionakh Rossii lyubyat elektrokary. Pochti polovina vsekh prodannykh v 2021 godu "zelenykh" avtomobiley prishlas' na Moskvu* [What regions of Russia love electric cars. Almost half of all green cars sold in 2021 came from Moscow]. Available at: <https://motor.ru/news/russia-ev-sales-31-01-2022.htm> (accessed: January 31, 2023). (In Russian)

27. Lalinde I., Berrueta A., Valera J. J. et al. Perspective Chapter: Thermal Runaway in Lithium-Ion Batteries. Submitted: February 3rd, 2022. Reviewed: July 13th, 2022. Published: August 27th, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.106539.

28. Kanonin Yu. N., Lyshchik A. V., Lopatkina A. V. *Trenazher dlya obucheniya provodnikov passazhirskikh vagonov deystviyam pri pozhare. Tekhnosfernaya i ekologicheskaya bezopasnost' na transporte (TEBTRANS-2018): materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [A simulator for training conductors of passenger cars to act in case of fire. Technospheric and environmental safety in transport (TEBTRANS-2018): Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference]. St. Petersburg, 2018, pp. 67–69. (In Russian)

29. Kanonin Yu. N., Lopatkina A. V. *Ustroystvo dlya obucheniya poezdnoy brigady deystviyam pri pozhare. Professional'noe obrazovanie, nauka i innovatsii v XXI veke: materialy XII Sankt-Peterburgskogo kongressa* [A device for training a train crew on actions in case of fire. Professional education, science and innovations in the XXI century: Materials of the XII St. Petersburg Congress]. 2018, p. 102. (In Russian)

30. *Protivopozharnoe, avariyno-spasatel'noe oborudovanie i trenirovochnye komplekсы dlya MChS. Trenirovochnye komplekсы ISKRA-14S* [Fire-fighting, rescue equipment and training complexes for the Ministry of Emergency Situations. Training complexes ISKRA-14S]. Available at: <https://npp-topaz.ru/index-fire-iskra14c1.html> (accessed: January 31, 2023). (In Russian)

31. Mikolajczak C., White K., Kahn M. et al. Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. SpringerBriefs in Fire. New York: Springer, 2011. XII. 115 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-3486-3.

32. Ruiz V., Pfrang A., Kriston A. et al. A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018, Iss. 81 (May 2017), pp. 1427–1452. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.195.

Received: February 15, 2023

Accepted: March 01, 2023

Author's information:

Yury N. KANONIN — PhD in Engineering, Associate Professor; yu.n.kanonin@yandex.ru

Andrey V. LYSHCHIK — PhD in Engineering, Associate Professor; mihali@yandex.ru