

ПОЖАРЫ С УЧАСТИЕМ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ

Пивоваров А.В., Лахвич В.В., Кобяк В.В., Казутин Е.Г.

Цель. Провести комплексный анализ пожаров с участием аккумуляторных электромобилей (BEV) на территории Республики Беларусь за период 2021–2025 гг., а также оценить особенности их развития и способы тушения.

Методы. Статистический анализ данных о парке электромобилей (EV) за период 2022–2024 гг. и о пожарах с участием BEV за 2021–2025 гг. включая предварительные данные за 2025 г.; сравнительный анализ эффективности существующих способов тушения высоковольтной литий-ионной тяговой аккумуляторной батареи (тяговая АКБ).

Результаты. Установлен экспоненциальный рост парка EV в Республике Беларусь за период 2022–2024 гг. Определены доминирующие причины пожаров, ключевой из которых является термический разгон в литий-ионных тяговых АКБ, спровоцированный преимущественно короткими замыканиями (КЗ) вследствие механических повреждений или производственных дефектов. Установлена низкая эффективность тушения (охлаждения) тяговой АКБ с помощью традиционных стволов-пожарных. Выявленна необходимость применения специализированных тактик и технических средств для тушения тяговой АКБ, таких как: стволы-пробойники, высоковольтные контейнеры, огнезащитные полотна и др.

Область применения исследований. Результаты исследования предназначены для Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, производителей EV, страховых компаний, а также для разработки нормативных правовых актов в области пожарной безопасности EV.

Ключевые слова: пожары BEV, термический разгон, тушение EV, литий-ионные аккумуляторные батареи, высоковольтные системы, способы пожаротушения, пожарная безопасность электротранспорта.

(Поступила в редакцию 6 июня 2025 г.)

Введение

Активное развитие электротранспорта в Республике Беларусь, стимулируемое глобальной экологической повесткой и мерами государственной поддержки, сопровождается значительным ростом парка EV [1]. Этот рост неизбежно влечет новые вызовы в сфере пожарной безопасности, обусловленные специфическими рисками, связанными с эксплуатацией высоковольтных литий-ионных тяговых АКБ. Наиболее опасным процессом при возгорании литий-ионной тяговой АКБ является термический разгон (thermal runaway), характеризующийся экстремальной скоростью тепловыделения, высокой температурой, риском взрыва и повторного воспламенения, а также токсичностью продуктов горения. Существующие способы и средства пожаротушения, эффективные для транспортных средств (TC) с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), зачастую оказываются малоэффективными или ресурсозатратными при ликвидации пожаров EV.

Современные EV с электрической или гибридной силовой установкой классифицируются по степени электрификации и типу применяемого источника энергии. К основным категориям относятся: электромобили без ДВС (BEV, battery electric vehicle), гибридные электрические автомобили (HEV, hybrid electric vehicle), подключаемые гибридные электрические автомобили (PHEV, plug-in hybrid electric vehicle), электромобили с увеличенным запасом хода (EREV, extended range electric vehicle), водородные электромобили на топливных элементах (FCEV, fuel cell electric vehicle), а также мягкие гибридные электрические автомобили (MHEV, mild hybrid electric vehicle) и малые городские электромобили (NEV, neighborhood electric vehicle).

В рамках настоящего исследования акцент сделан на BEV, поскольку их тяговые АКБ обладают наибольшей емкостью, что при возгорании приводит к значительному тепловыделению и существенно осложняет процесс тушения.

Основная часть

1. Развитие транспорта в Республике Беларусь (2022–2024 гг.). Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь¹, за период 2022–2024 гг. количество зарегистрированных EV в стране возросло с 3635 до 26 356 единиц (рис. 1), что соответствует росту в 7,25 раза².

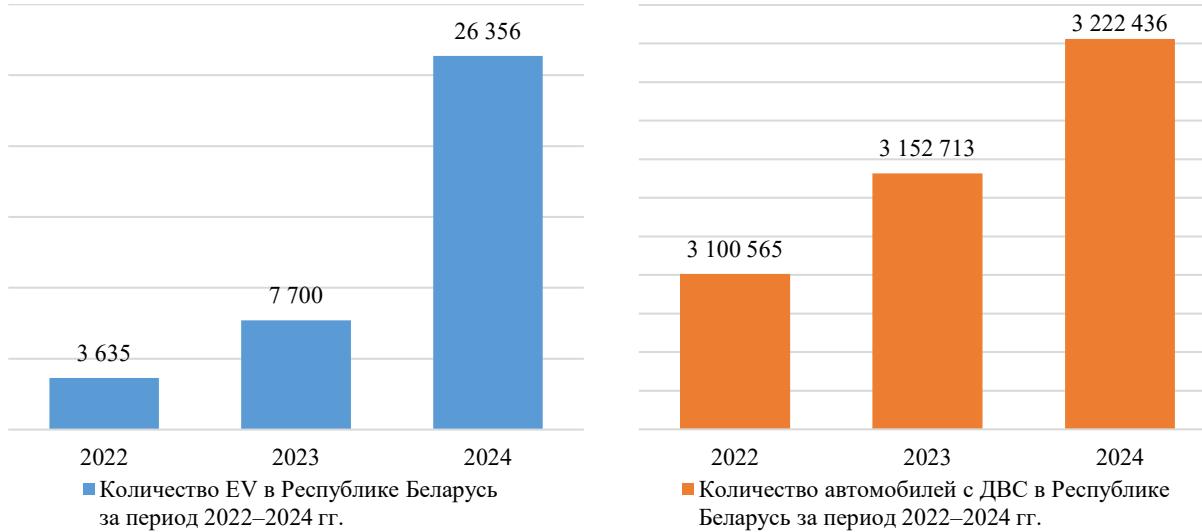


Рисунок 1. – Динамика роста парка EV и автомобилей с ДВС в Республике Беларусь (2022–2024 гг.)

Парк легковых автомобилей с ДВС увеличился в 1,04 раза (с 3,10 до 3,22 млн ед.). Отдельного внимания заслуживает развитие электротранспорта в сегменте общественного транспорта: к концу 2024 г. в стране насчитывалось порядка 147 электробусов. Экспоненциальный рост парка EV характерен не только для Беларуси, но и для других стран, где ежегодное удвоение количества EV создает системные вызовы для подразделений МЧС. К 2030 г. доля EV на рынке может достичь 300 000 единиц, что потребует масштабной модернизации инфраструктуры³.

Распределение EV по регионам Беларуси представлено на рисунке 2.

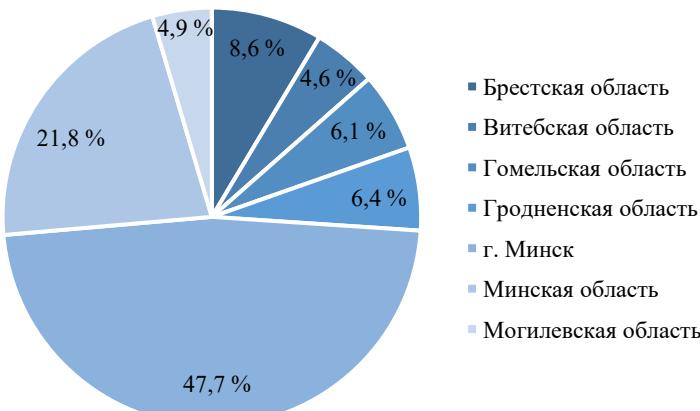


Рисунок 2. – Региональное распределение EV в Республике Беларусь (2024 г.)

¹ Наличие транспортных средств (на конец года) // Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Национального статистического комитета Республики Беларусь: [сайт]. – Минск, 1998–2024. – URL: <https://dataportal.belstat.gov.by/osids/indicator-info/10209000005> (дата обращения: 05.05.2025).

² Количество электромобилей в Беларуси за год увеличилось в 3 раза // evon.by: сайт ООО «ЮНИСТЕП». – 2025. – 18 мар. – URL: <https://evon.by/kolichestvo-elektromobilej-v-belarusi-za-god-uvelichilos-v-3-raza/> (дата обращения: 05.05.2025).

³ К 2030 году в Белоруссии будет почти в 30 раз больше электромобилей, чем сейчас // iXBT.com. – 2024. – 3 апр. – URL: <https://www.ixbt.com/news/2024/04/03/k-2030-godu-v-belorussii-budet-pochti-v-30-raz-bolshe-jelektromobilej-chem-sejchasi.html> (дата обращения: 05.05.2025).

Территориальное распределение EV демонстрирует высокую концентрацию в столичном регионе: г. Минск – 12 571 ед. (47,7 % от общего парка), Минская область – 5758 ед. (21,8 %). В сумме на столичный регион приходится 69,5 % всех зарегистрированных EV (рис. 2), что обусловлено наиболее развитой зарядной инфраструктурой. Распределение по другим областям: Брестская – 2271 ед. (8,6 %), Гродненская – 1699 ед. (6,4 %), Гомельская – 1614 ед. (6,1 %), Витебская – 1301 ед. (4,9 %), Могилевская – 1214 ед. (4,6 %)⁴.

Анализ данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и оператора зарядных станций «Маланка»⁵ выявил следующие ключевые тенденции в сегменте электротранспорта. Лидерами рынка являются китайские бренды (около 60 % рынка): BEV BYD Song Plus, BYD Dolphin, Zeekr 001 и EREV Voyah Free, Voyah Dream. В премиум-сегменте доминируют BEV Tesla Model 3, Tesla Model, Porsche Taycan, Mercedes-Benz EQS. Постепенно теряют долю рынка из-за ограниченной автономности и высокой стоимости обслуживания, а также конкуренции с китайскими аналогами BEV Nissan Leaf, Renault Zoe, Audi e-tron и Hyundai Kona. Доля HEV достигла 28 % в 2025 г., что обусловлено их способностью комбинировать электротягу. Следует отметить, в мае 2025 г. был представлен первый белорусский EV Belgee eX50, с локализацией 70 % компонентов, что создает потенциал для импортозамещения⁶.

2. Статистика пожаров EV в Республике Беларусь. За 2024 г. в Минске зарегистрировано 60 пожаров ТС, из них 2 случая с BEV⁷. МЧС Беларуси не публикует отдельной статистики по возгораниям EV, однако по данным СМИ, в Республике Беларусь за период с 2021 по 2025 г. зафиксировано пять случаев возгорания BEV.

27 июля 2021 г., г. Могилев. В результате дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с участием BEV марки Tesla Model 3 (рис. 3) произошло механическое разрушение кузова с последующим возгоранием и полным термическим уничтожением ТС. Причиной инцидента стала потеря контроля над управлением, приведшая к столкновению с опорой освещения. Водитель госпитализирован с травмами⁸.

26 марта 2023 г., г. Жодино. Возгорание BEV марки Zotye E200 (рис. 4) на территории жилой застройки, сопровождавшееся взрывом⁹. Официальная версия причин возгорания указывает на КЗ электрических цепей ТС. В результате возгорания транспортное средство полностью уничтожено, пострадавших нет¹⁰.

11 марта 2024 г., аг. Колодищи. Самопроизвольное возгорание тяговой АКБ BEV марки Porsche Taycan (рис. 5) спровоцировало распространение пожара на шесть BEV марки Tesla и мотоцикл на территории станции технического обслуживания. Судебная экспертиза, проведенная Государственной комиссией судебно-экспертных исследований, установила, что причиной возгорания стало КЗ в одной из ячеек тяговой АКБ Porsche Taycan. Данный дефект привел к неконтролируемому выделению тепла, что вызвало цепную реакцию и возгорание рядом стоящих ТС. В результате возгорания восемь ТС полностью уничтожены, пострадавших нет¹¹.

⁴ См. сноску 2.

⁵ Ахрем, А. Цены снижаются, скорость заряда растет: тенденции рынка электромобилей в мире и Беларусь / А. Ахрем // abw.by: Автопортал. – 2025. – 28 янв. – URL: <https://abw.by/news/automarket/2025/01/28/ceny-snizhutsya-skorost-zaryada-rastet-tendencii-rynska-elektromobilei-v-mire-i-belorussi> (дата обращения: 05.05.2025).

⁶ Первый белорусский электромобиль Belgee eX50: презентация в мае 2025 года // findit.city. – 2025 – 20 апр. – URL: <https://findit.city/belarus/minsk/news/pervyy-beloruskiy-elektromobil-belgee-ex50-prezentaciya-v-mae-2025-goda> (дата обращения: 05.05.2025).

⁷ В 2024 г. в Минске горели 60 автомобилей, в том числе одна «электричка» // Минское городское управление МЧС Республики Беларусь. – 2024. – 1 апр. – URL: <https://minsk.mchs.gov.by/novosti/447346/> (дата обращения: 05.05.2025).

⁸ ДТП в Могилеве: Tesla врезалась в световую опору и загорелась // ont.by: Общенациональное телевидение Беларусь. – 2021. – 26 апр. – URL: <https://ont.by/news/dtp-v-mogileve-tesla-vrezalas-v-svetovuyu-oporu-i-zagorelas> (дата обращения: 05.05.2025).

⁹ В Жодино взорвался электромобиль // smartpress.by: информационный ресурс Смартпресс. – 2024. – 3 мая. – URL: <https://smartpress.by/news/40506/> (дата обращения: 05.05.2025).

¹⁰ Взрыв электромобиля Zotye в Беларусь попал на видео // autogrodno.by. – 2024. – 15 февр. – URL: <https://autogrodno.by/news/28477-zotye-e200-vrzuv.html> (дата обращения: 05.05.2025).

¹¹ Ажгирей, М. На СТО в Колодищах сгорели семь электрокаров и мотоцикл: эксперты назвали причину пожара / М. Ажгирей // abw.by: Автопортал. – 2024. – 16 мая. – URL: <https://abw.by/news/incidents/2024/05/16/na-sto-v-kolodischah-sgoreli-sem-elektrokarov-i-motocikl-ekspertry-nazvali-prichinu-pozhara> (дата обращения: 05.05.2025).

16 марта 2024 г., г. Минск. Произошло возгорание BEV марки Nissan Leaf (рис. 6). Согласно информации, предоставленной МЧС в средствах массовой информации, спасателям потребовалось около часа, чтобы потушить BEV (задействовали аварийно-спасательный инструмент). В результате пожара поврежден салон, моторный отсек и электроника EV¹².

17 января 2025 г., д. Междуречье. Произошло возгорание неизвестного BEV, в результате которого он был полностью уничтожен (рис. 7). Пострадавших в результате инцидента не зафиксировано¹³.



Рисунок 3. – ДТП BEV марки Tesla Model 3
(27 июля 2021 г., г. Могилев)



Рисунок 4. – Возгорание BEV марки Zotye E200
(26 марта 2023 г., г. Жодино)



Рисунок 5. – Возгорание BEV марки Porsche Taycan (11 марта 2024 г., аг. Колодищи)



Рисунок 6. – Возгорание BEV марки Nissan Leaf
(16 марта 2024 г., г. Минск)



Рисунок 7. – Возгорание неизвестного BEV
(17 января 2025 г., д. Междуречье)

Согласно данным международных исследований¹⁴, количество пожаров BEV составляет 20–30 случаев на 100 000 ТС. Для HEV этот показатель выше: 50 пожаров на 100 000 единиц в США и до 40 – в Европе. Для сравнения: у автомобилей с ДВС фиксируется в среднем 3500 возгораний на 100 000 единиц. Анализ статистики пожаров демонстрирует, что

¹² Бурый, В. Видео: на столичной улице горел электромобиль / В. Бурый // auto.onliner.by. – 2024. – 18 мар. – URL: <https://auto.onliner.by/2024/03/18/gorel-elektromobil> (дата обращения: 05.05.2025).

¹³ Савко, Л.В. Междуречье сгорел электромобиль / Л. Савко // sammit.tv. – 2025. – 17 янв. – URL: <https://sammit.tv/2025-01-17/v-mezhdureche-sgorel-jelektromobil/> (дата обращения: 05.05.2025).

¹⁴ Вероятность возгорания электромобиля в 60 раз ниже, чем машины с ДВС // columbauto.by. – URL: <https://columbauto.by/news/veroyatnost-vozgoraniya-elektromobilya-v-60-raz-nizhe-chem-mashiny-s-dvs/> (дата обращения: 05.05.2025).

количество пожаров у BEV примерно в 60 раз ниже, чем у HEV, и в 140 раз ниже, чем у автомобилей с ДВС. Однако этот фактор должен рассматриваться в контексте ключевых вызовов: экспоненциально растущий парк EV в мире неизбежно приведет к увеличению абсолютного числа инцидентов, а также возгорания BEV требуют принципиально иных, значительно более сложных и дорогостоящих способов тушения по сравнению с автомобилями с ДВС.

3. Особенности развития пожара тяговой АКБ. Характерной особенностью возгораний EV является стремительное развитие термических процессов (thermal runaway) в тяговой АКБ. Этот процесс характеризуется экстремальным тепловыделением (температура в батарейном модуле достигает 800–1000 °C за 2–15 с), а также высокой вероятностью воспламенения (через несколько часов или даже суток после тушения), что обусловлено остаточной энергией в поврежденных участках аккумуляторных элементов [2; 3].

Основные факторы, инициирующие термический разгон:

1. Механические повреждения. Прокол, удар, сдавливание или деформация корпуса элемента вызывают непосредственное КЗ между электродами или повреждают внутренние компоненты.

2. Электрический перезаряд. Превышение верхнего порогового напряжения зарядки вызывает необратимые реакции (окисление электролита, структурные изменения катода) с интенсивным тепловыделением.

3. Экстремальные режимы заряда/разряда. Высокоскоростная зарядка большими токами, особенно при низких температурах, способствует образованию дендритов на аноде (рост литиевых дендритов), что повышает риск пробоя сепаратора и внутреннего КЗ. Глубокий разряд также опасен.

4. Тепловое воздействие. Эксплуатация или хранение при повышенных температурах ускоряет деградационные процессы компонентов тяговой АКБ. Низкие температуры увеличивают внутреннее сопротивление и риск литиевого покрытия при заряде.

5. Производственные дефекты. Нарушения технологии изготовления снижают устойчивость тяговой АКБ к эксплуатационным нагрузкам.

4. Особенности тушения тяговой АКБ. Анализ отечественного и международного опыта тушения [4–10] выявил следующие системные проблемы при ликвидации возгораний EV:

– Сложность тушения и охлаждения тяговой АКБ. Герметичный защитный корпус тяговой АКБ препятствует проникновению огнетушащих веществ (ОВ) напрямую в очаг пожара. Для эффективного подавления реакции и охлаждения элементов требуется около 10 000 л воды (или специальных составов), подаваемых непрерывно в течение 60–90 мин. Также термический разгон способен лавинообразно распространяться на соседние аккумуляторные элементы, делая современные способы тушения недостаточно эффективными.

– Риск повторного возгорания после тушения, а также высокая вероятность взрыва из-за накоплений горючих газов внутри тяговой АКБ.

– Напряжение в высоковольтной системе BEV (400–800 В) сохраняет угрозу поражения электрическим током даже после деактивации тяговой АКБ.

– Токсичность продуктов горения. Горение тяговой АКБ сопровождается выделением веществ, представляющих опасность для здоровья человека, включая фтороводород, оксиды кобальта, никеля, марганца, а также органические растворители, образующие токсичные пары.

5. Способы тушения (охлаждения) тяговой АКБ

Охлаждение водой. Способ тушения основан на непрерывной подаче ОВ в нижнюю часть аккумуляторного отсека для охлаждения тяговой АКБ, предотвращения распространения пожара между аккумуляторными ячейками и предотвращения термического разгона. Основным преимуществом данного способа является его доступность, т.к. для реализации не требуется специализированного оборудования. Отрицательной стороной является чрезмерный расход воды, образование токсичных стоков, содержащих ионы лития, кобальта и фториды соединения. Кроме того, эффективность данного метода ограничена конструктивными особенностями EV: защитный корпус тяговой АКБ препятствует подаче ОВ непосредственно в зону экзотермической реакции, в результате чего большая часть ОВ не участвует в охлаждении. Для повышения эффективности требуется применение специальных добавок и систем рециркуляции жидкости [5].

Охлаждение тяговой АКБ через люк экстренного доступа. Данный способ основан на использовании термоплавких элементов, которые при достижении критической температуры (около 180 °C) разрушаются, формируя технологические отверстия для доступа ОВ к элементам тяговой АКБ. Ключевым преимуществом является автоматическое размыкание высоковольтной цепи при активации системы, что минимизирует риск поражения спасателей-пожарных электрическим током. Однако данный способ обладает существенными ограничениями: его эффективность зависит от конструктивных особенностей конкретной модели EV, что снижает универсальность способа, а деформация кузова при ДТП блокирует доступ к люку, делая его неэффективным при серьезных авариях. Следует также отметить, что при горении тяговой АКБ существует сложность подачи ОВ, из-за большого теплового потока и внедрение таких решений требует сотрудничества с производителями и специальной подготовки спасателей-пожарных.

Охлаждение тяговой АКБ погружением в высоковольтные контейнеры. Способ заключается в изоляции горящего EV в герметичную емкость объемом 20–30 м³, оснащенную кислотостойкими уплотнителями и системой заполнения жидкостью. Преимущества включают нейтрализацию токсичных веществ и универсальность применения, независимо от модели ТС. Однако высокая стоимость оборудования (до 50 000 \$ за единицу) и отсутствие четких алгоритмов по утилизации загрязненных контейнеров ограничивают их массовое использование. Дополнительной проблемой является необходимость лебедочного механизма для перемещения EV. Следует отметить, что данный способ неэффективен при пожаре EV в труднодоступных местах (подземные и многоуровневые паркинги, а также тоннели) [6].

Охлаждение тяговой АКБ способом пробоя. Указанный способ основан на локальной подаче ОВ через перфорированные насадки специальных стволов-пробойников (5–8 отверстий диаметром 2–3 мм), пробивающих корпус тяговой АКБ. Технология позволяет сократить расход воды на 85–90 % по сравнению с традиционным охлаждением. Основные ограничения связаны с необходимостью точного знания конструктивных особенностей и расположения тяговой АКБ. Неправильное позиционирование ствола снижает эффективность охлаждения, более того, сильная деформация при ДТП, может сделать этот способ недоступным, а из-за большого теплового потока существует сложность подачи ОВ в тяговую АКБ.

Подавление пламени огнезащитными полотнами. Способ предполагает изоляцию очага возгорания с помощью полотен из силиконизированного стекловолокна с алюминизированным покрытием, выдерживающих температуру до 600 °C. Вместе с тем при термическом разгоне батарей материал теряет эффективность из-за разрушения защитного слоя. Применение противопожарных полотен целесообразно в сочетании с другими способами тушения или в качестве начального этапа локализации возгораний EV, особенно в условиях ограниченного доступа или необходимости экстренной эвакуации не горящих ТС из труднодоступных зон.

Заключение

Проведенный комплексный анализ пожаров с участием BEV на территории Республики Беларусь за период 2021–2025 гг. позволил сделать следующие основные выводы:

1. Парк EV в Республике Беларусь характеризуется экспоненциальным ростом (с 3635 единиц в 2022 г. до 26 356 единиц в 2024 г.), при этом его распределение крайне неравномерно: около 69,5 % сконцентрировано в Минске и Минской области.

2. Анализ имеющихся данных подтверждает, что относительная частота пожаров у BEV в настоящее время примерно в 60 раз ниже, чем у HEV, и в 140 раз ниже, чем у автомобилей с ДВС. Однако тушение возгораний EV сопряжено с принципиально иными, значительно более сложными и дорогостоящими способами тушения по сравнению с автомобилями на ДВС.

3. Характерной особенностью возгораний EV является термический разгон, инициируемый преимущественно механическими повреждениями, электрическим перезарядом, экстремальными режимами заряда/разряда, тепловым воздействием, а также производственными дефектами.

4. Ликвидация пожаров EV связана со значительными трудностями: сложность тушения и охлаждения тяговой АКБ, высокий риск повторных возгораний и взрывов, опасность поражения электрическим током, а также высокая токсичность продуктов горения.

5. Сравнительный анализ способов тушения установил, что ни один из существующих способов не является эффективным на 100 %. Охлаждение водой требует большого количества ОВ и не обеспечивает прямого доступа в тяговую АКБ. Способ пробоя и экстренного доступа теряет эффективность при деформации кузова, а также из-за большого теплового потока существует сложность подачи ОВ. Погружение в высоковольтные контейнеры невозможно в стесненных условиях. Подавление пламени огнезащитными полотнами эффективно исключительно на начальной стадии пожара, когда требуется подготовка средств тушения и экстренная эвакуация негорящих ТС из труднодоступных зон. На сегодня оптимальным решением является комбинация существующих способов тушения.

Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией ресурсозатрат при тушении, изучением альтернативных ОВ и технологий, а также разработкой и совершенствованием способов тушения при горении тяговых АКБ. Обеспечение пожарной безопасности в условиях массового перехода на электротранспорт требует системного подхода, объединяющего технические решения, организационные меры, нормативно-правовое регулирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 9 апр. 2021 г. № 213 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100213> (дата обращения: 05.05.2025).
2. Коробочка, Д.Н. Механизмы, факторы и последствия термического разгона литий-ионных аккумуляторных батарей / Д.Н. Коробочка, А.В. Пивоваров, В.В. Лахвич // Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций: сб. материалов XI Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 30 мая 2025 г. / УГЗ. – Минск: УГЗ, 2025. – С. 115.
3. Feng, X. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review / X. Feng, M. Ouyang, X. Liu [et al.] // Energy Storage Materials. – 2018. – Vol. 10. – P. 246–267. – DOI: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.
4. Канонин, Ю.Н. Пожарная опасность электромобилей / Ю.Н. Канонин, А.В. Лышчик // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 1. – С. 38–51. – DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-38-51. – EDN: ZJAQX.
5. Аубакиров, С.Г. Как и чем тушить электромобили? Сравнительный анализ способов тушения пожаров электромобилей / С.Г. Аубакиров, Р.М. Джумагалиев // cesdrr.org: сайт Центра по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий, Республика Казахстан, г. Алматы. – 11 с. – URL: https://cesdrr.org/uploads/docs/2024/sravnitelnyi_analiz_sposobov_tusheniya.pdf (дата обращения: 05.05.2025).
6. Foessleitner, P. Challenges of alternative fuel vehicles and their impact on safety in road tunnels: diss. ... for the degree of PhD in technical sciences / P. Foessleitner; Graz University of Technology. – Graz, 2024. – 197 p. – DOI: 10.3217/mk26s-s1544.
7. Галкина, А.А. Анализ динамики развития горения при расследовании пожаров электромобилей / А.А. Галкина, А.Л. Беляк, А.А. Шеков // Право и управление. – 2024. – № 12. – С. 307–313. – EDN: QJCEEI.
8. Кобяк, В.В. Разработка многофункционального тренажерного комплекса для ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий на электротранспорте / В.В. Кобяк, В.Е. Бабич, В.В. Кессо [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларусь. – 2023. – Т. 7, № 1. – С. 75–85. – DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-1.75. – EDN: KCATEM.
9. Николаев, В.А. Возможные способы пожаротушения электромобилей в современном мире / В.А. Николаев, Е.С. Бажанова // Вестник науки. – 2025. – Т. 2, № 2 (83). – С. 763–769. – EDN: HATUVP.
10. Методические рекомендации МЧС по тушению пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций в электромобилях и электробусах: утв. первым заместителем министра А.Ф. Худолеевым 6 окт. 2021 г. – Минск: МЧС Респ. Беларусь, 2021. – 28 с.

**Пожары с участием электромобилей в Республике Беларусь:
статистический анализ, особенности развития и тушения**

**Fires involving electric vehicles in the Republic of Belarus:
statistical analysis, development features and extinguishing methods**

Пивоваров Александр Вадимович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра ликвидации
чрезвычайных ситуаций, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: sasha1500vo@list.ru

SPIN-код: 5506-5244

Aleksandr V. Pivovarov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Elimination,
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: sasha1500vo@list.ru

ORCID: 0009-0006-5876-9949

Лахвич Вячеслав Вячеславович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации чрезвычайных
ситуаций, начальник факультета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: slavaspec@rambler.ru

SPIN-код: 5450-0192

Vyacheslav V. Lakhvich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
Head of the Faculty

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: slavaspec@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-7601-305X

Кобяк Валерий Викторович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра ликвидации
чрезвычайных ситуаций, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: valkobkii@gmail.com

SPIN-код: 7828-1103

Valeriy V. Kobyak

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Elimination,
Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: valkobkii@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5989-5465

Казутин Евгений Геннадьевич

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: EKazutin@tut.by

Evgeniy G. Kazutin

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Rescue Equipment,
Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: EKazutin@tut.by

ORCID: 0009-0008-1498-6284

FIRE INVOLVING ELECTRIC VEHICLES IN THE REPUBLIC OF BELARUS: STATISTICAL ANALYSIS, DEVELOPMENT FEATURES AND EXTINGUISHING METHODS

Pivovarov A.V., Lakhvich V.V., Kobyak V.V., Kazutin E.G.

Purpose. To conduct a comprehensive analysis of fires involving battery electric vehicles (BEV) in the Republic of Belarus during the period 2021–2025, as well as to assess their development features and firefighting methods.

Methods. Statistical analysis of data on the electric vehicle (EV) fleet for the period 2022–2024 and on fires involving BEVs for 2021–2025, including preliminary data for 2025; comparative analysis of the effectiveness of existing methods for extinguishing high-voltage lithium-ion traction battery packs (traction batteries).

Findings. An exponential growth of the EV fleet in the Republic of Belarus was identified for the period 2022–2024. The dominant causes of fires were determined, the key one being thermal runaway in lithium-ion traction batteries, mainly triggered by short circuits resulting from mechanical damage or manufacturing defects. The low efficiency of extinguishing (cooling) traction batteries with conventional fire hoses was established. The necessity of applying specialized tactics and technical means for extinguishing traction batteries was revealed, such as piercing nozzles, high-voltage containers, fire blankets, and others.

Application field of research. The results of the study are intended for the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, EV manufacturers, insurance companies, as well as for the development of regulatory legal acts in the field of EV fire safety.

Keywords: BEV fires, thermal runaway, electric vehicle extinguishing, lithium-ion batteries, high-voltage systems, firefighting methods, electric vehicle fire safety.

(The date of submitting: June 6, 2025)

REFERENCES

1. *O Kompleksnoy programme razvitiya elektrotransporta na 2021–2025 gody* [On the Comprehensive Program of the Development of Electric Transport for 2021–2025]: *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated April 9, 2021 No. 213*. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100213> (accessed: May 5, 2025). (rus)
2. Korobochka D.N., Pivovarov A.V., Lakhvich V.V. Mekhanizmy, faktory i posledstviya termicheskogo razgona litiy-ionnykh akkumulyatornykh batarey [Mechanisms, factors and consequences of thermal runaway in lithium-ion batteries]. *Proc. of XI Intern. correspondence scientific-practical conf. «Tekhnologii likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy»*, Minsk, May 30, 2025. Minsk: UCP, 2025. Pp. 115. (rus)
3. Feng X., Ouyang M., Liu X., Lu L., Xia Y., He X. Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 2018. Vol. 10. Pp. 246–267. DOI: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.
4. Kanonin Yu.N., Lyshchik A.V. Fire danger of electric vehicles. *Bulletin of Scientific Research Result*, 2023. No. 1. Pp. 38–51. (rus). DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-38-51. EDN: ZJAQX
5. Aubakirov S.G., Dzhamagaliev R.M. *Kak i chem tushit' elektromobili? Sravnitel'nyy analiz sposobov tusheniya pozharov elektromobiley* [How and what to extinguish electric vehicles with? Comparative analysis of methods for extinguishing fires on electric vehicles]. Cesdrr.org: website of the Center for Emergency Situations and Disaster Risk Reduction, Republic of Kazakhstan, Almaty. 11 p. Available at: https://cesdrr.org/uploads/docs/2024/sravnitelnyi_analiz_sposobov_tusheniya.pdf (accessed: May 5, 2025). (rus)
6. Foessleitner P. *Challenges of alternative fuel vehicles and their impact on safety in road tunnels*. PhD tech. sci. diss.; Graz University of Technology. Graz, 2024. 197 p. DOI: 10.3217/mk26s-s1544.
7. Galkina A.A., Belyak A.L., Shekov A.A. Analiz dinamiki razvitiya goreniya pri rassledovanii pozharov elektromobiley [Analysis of the dynamics of combustion development during the investigation of fires in electric vehicles]. *Law and Management*, 2024. No. 12. Pp. 307–313. EDN: QJCEEI.
8. Kobyak V.V., Babich V.E., Kesso V.V., Sak S.P., Skorupich I.S. Razrabotka mnogofunktional'nogo trenazhernogo kompleksa dlya likvidatsii posledstviy dorozhno-transportnykh proisshestviy na elektrotransporte [Development of a multifunctional training complex for the elimination of consequences of

- road accidents in electric transport]. *Journal of Civil Protection*, 2023. Vol. 7, No. 1. Pp. 75–85. DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-1.75. EDN: KCATEM.
9. Nikolaev V.A., Bazhanova E.S. Vozmozhnye sposoby pozharotusheniya elektromobiley v sovremenennom mire [Possible ways fire extinguishing of electric vehicles in the modern world]. *Vestnik nauki*, 2025. Vol. 2, No. 2 (83). Pp. 763–769. EDN: HATUVP.
10. Metodicheskie rekomendatsii MChS po tusheniyu pozharov i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy v elektromobilyakh i elektrobusakh [Methodological recommendations of the Ministry for Emergency Situations on extinguishing fires and eliminating emergencies on electric vehicles and electric buses]: approved by the First Deputy Minister A. F. Khudoleyev on October 6, 2021. Minsk: MES of the Republic of Belarus, 2021. 28 p.

Copyright © 2025 Pivovarov A.V., Lakhvich V.V., Kobyak V.V., Kazutin E.G.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.