

## **Сравнительный анализ пожарной опасности электромобилей**

*С.Г. Аубакиров, генерал-майор противопожарной службы, к.т.н.*

*Директор Центра по чрезвычайным ситуациям и  
снижению риска стихийных бедствий*

*Р.М. Джумагалиев, к.т.н.*

*Директор ТОО «GFP Science»*

*М.Б. Клышбаев, магистр технических наук,*

*ведущий научный сотрудник ТОО «Global Fire Protection»*

В настоящее время весьма популярным стал вопрос об активном внедрении на мировой авторынок в общем и на отечественный, в частности, электромобилей, либо их разновидности гибридных автомобилей. Одной из основных причин развития рынка электромобилей в Казахстане является экономическая целесообразность. Причина здесь простая - электричество дешевле бензина. Приведем некоторые данные, подтверждающие этот тезис. Легковые автомобили с бензиновым двигателем в смешанном режиме город/пригород расходуют в среднем 7–10 литров на 100 километров пробега. Популярные сейчас кроссоверы — уже 10–12 литров на сто километров. Большие внедорожники, даже дизельные, тратят по 11–14 литров топлива на 100 км, а мощные люксовые — все 15–20 литров. Если взять среднюю стоимость топлива по стране на начало 2024 года в 200 тенге за литр, то каждые 100 километров пути автомобиля с двигателем внутреннего сгорания составят около 2000–4000 тенге, в зависимости от класса автомобиля.

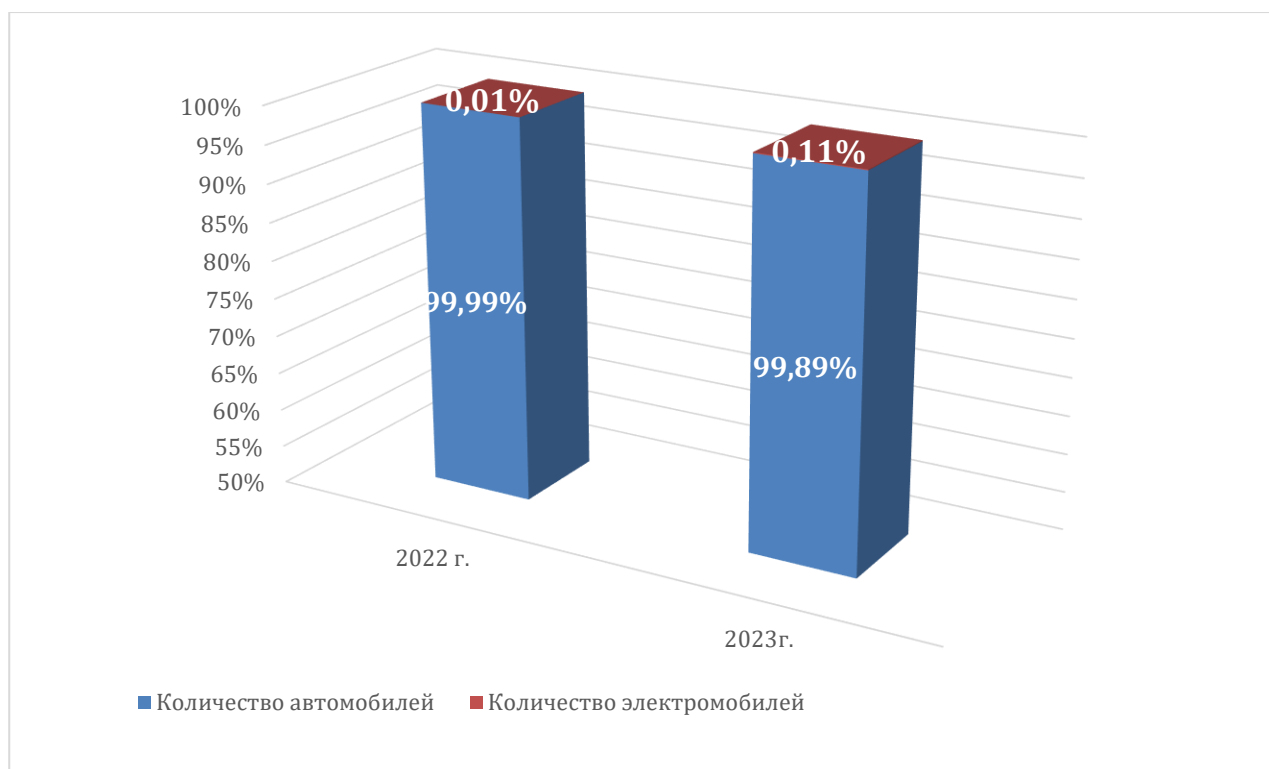
Средний расход электроэнергии в обычном электромобиле в смешанном режиме движения составляет около 20 кВт·ч., по стоимости около 1000-1600 тенге в зависимости от типа зарядной станции на каждые 100 километров.

Простота конструкции электромобиля предопределяет более простое, а значит более дешевое, техническое обслуживание.

Другой важной причиной интенсивного внедрения электромобилей в Казахстане являются экологические проблемы, которые носят глобальный характер. Люди видят влияние традиционных транспортных средств на загрязнение воздуха и понимают актуальность внедрения зеленых технологий не только в энергетике, в транспортной сфере и ищут более экологичные альтернативы. Электромобили идеально отвечают этим требованиям. Электромобили предлагают более чистый и экологичный вид транспорта, который привлекает потребителей, заботящихся об окружающей среде. Кроме того, растущая стоимость топлива и стремление общества к декарбонизации также способствовали росту спроса на электромобили в Казахстане.

Абсолютное количество электромобилей в Казахстане не велико. По данным [1] за 2023 год доля электромобилей в Казахстане составила всего 0,11% от автопарка. В то же время в аналогичном периоде прошлого года показатель достигал лишь 0,01% от всех зарегистрированных легковых машин. На рисунке

1 показано соотношение общего количества автомобилей и электромобилей в Казахстане за 2022-2023 годы.



*Рисунок 1 – Соотношение количества автомобилей и электромобилей в Казахстане в 2022-2023 годах*

В региональном разрезе в 2023 году больше всего электромобилей зарегистрировали в городе Алматы: 2,8 тыс., против лишь 40 машин годом ранее. Годовой рост — в 68,8 раза. Доля таких авто в Алматы составила 59% от Казахстана против 8,9% годом ранее.

На второй и третьей строчках расположились город Астана (550 электромобилей, против 12 машин годом ранее) и Алматинская область (208 авто, против всего 1 электромобиля годом ранее).

Меньше всего автомобилей с электродвигателями было зарегистрировано в Абайской (8 авто), Северо-Казахстанской (14 машин) и Жетысуской (21 автомобилей) областях.

Всего на 1 августа 2023 года в стране было зарегистрировано 4,4 млн легковых автомобилей. Большая часть транспортных средств в стране работала на бензине: 3,9 млн машин. Также было зарегистрировано 83,2 тыс. авто на дизельном топливе, 5,4 тыс. — на газобаллонном топливе, 4,7 тыс. — на электрической энергии, 366,4 тыс. — на смешанном топливе (на бензине, на газобаллонном топливе и с электродвигателями). У 90,8 тыс. машин при регистрации не был указан вид топлива. На рисунке 2 показано распределение количества автотранспорта в республике по типу двигателя.

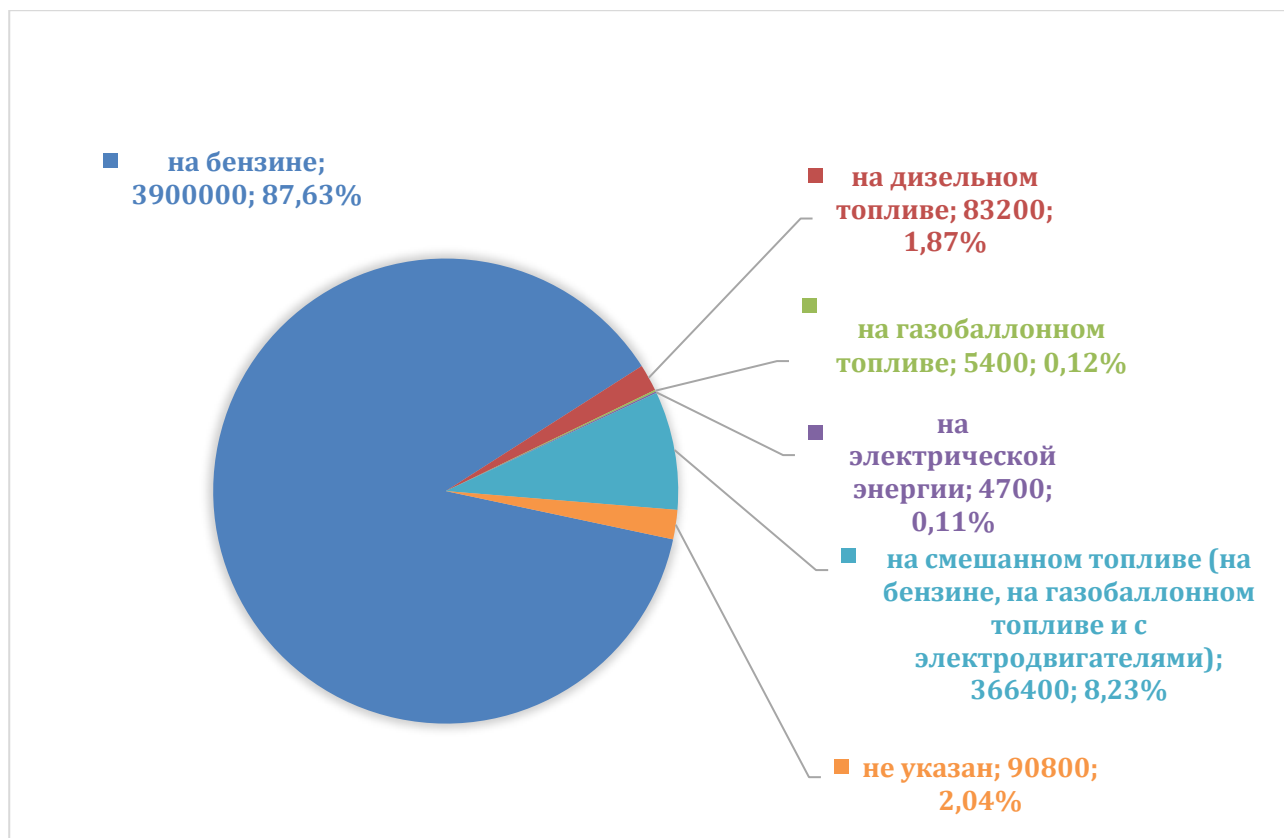


Рисунок 2 - Количество автотранспортных средств по типам двигателя по состоянию на 1 августа 2023 г.

Число машин на бензине увеличилось на 14,9%, на дизельном топливе — на 12,2%, на газобаллонном топливе — на 38,2%, а количество авто смешанного типа — на 19,3%.

Согласно данным Бюро национальной статистики по состоянию на 1 июня 2024 г. количество электромобилей в Казахстане выросло в три раза по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, с 3229 до 9906 единиц [2].

Для активизации и регулирования использования электромобилей в Казахстане принимается Закон Республики Казахстан от 18 июля 2024 года № 126-VIII ЗРК **О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам транспорта и развития инфраструктуры для электромобилей** [3]. Из названия документа видно, что он направлен на развитие и упорядочения инфраструктуры использования электромобилей. Однако вопросы обеспечения безопасности этого вида транспортных средств не нашли отражения в этом законе. Вместе с тем общие подходы к обеспечению пожарной безопасности закрепленные в нормативно правовых актах обязывают субъектов Государственной системы обеспечения пожарной безопасности предпринимать все необходимые меры для разрешения этой неопределенности.

На первом этапе Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан изучен опыт зарубежных стран по эксплуатации и размещению электромобилей и их зарядных станций (США, Канада, Мексика, Нидерланды, Швейцария, Германия, Великобритания и Россия).

По результатам сформированных МЧС РК предложений Министерством промышленности и строительства РК внесены изменения и дополнения в строительные нормы и своды правил по строительству в части размещения электромобилей и их зарядных станций (*приказ КДС МПС от 19.04.2024г. №68-нк*), внесены изменения в Правила организации тушения пожаров (*приказ МВД от 26.06.2017г. №446*) в части тушения пожаров (*водой и огнетушащим порошком*) и проведения аварийно-спасательных работ на электромобилях и электробусах (*приказ МЧС РК от 7.06. 2024 г. №217*), также приказом МЧС РК от 15 августа 2024 года №321 внесены изменения и дополнения в Правила пожарной безопасности (*утв. приказом МЧС от 21.02.2022г. №55*) в части возможности подзарядки электромобилей в боксах, паркингах, помещениях для стоянки транспортных средств, помещениях производственных гаражей, под навесами и на открытых площадках, а также необходимости соблюдения требований государственных нормативов при размещении электромобилей и их зарядных станций в паркингах. Принятые меры являются неотложными и первоочередными для закрытия неопределенности в нормативных документах в части обеспечения пожарной безопасности и ликвидации пожаров электромобилей.

Для определения основных направлений дальнейших исследований, необходимых для актуализации нормативных документов с сфере обеспечения пожарной безопасности на всех основных стадиях функционирования электромобилей, а именно эксплуатация, хранение и заправка, прежде всего требуется рассмотреть особенности конструкции и принципа действия электромобиля, сведения о произошедших пожарах и на их основе создать сценарий возможного пожара. Это даст возможность провести сравнительный анализ пожарной опасности электромобилей по сравнению с автомобилями, оборудованными двигателем внутреннего сгорания.

С точки зрения пожарной опасности автомобиль представляет собой передвижной объект на котором в сравнительно небольшом объеме сконцентрирована большая пожарная нагрузка включающая в себя легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, твердые синтетические материалы, при горении некоторых выделяются высокотоксичные соединения, по своей опасности не уступающие боевым отравляющим веществам. Разработка мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и методики тушения пожаров основывается анализе пожарной опасности. Для понимания специфики электромобилей в рамках рассматриваемого вопроса, произведем сравнительный анализ пожарной опасности электромобилей и автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Очевидно, что будут иметь место идентичные и специфические основные блоки и системы, влияющие на пожароопасность автомобиля в целом. Для наглядности в таблице 1 приведем данные о наличии основных блоков и систем этих транспортных средств.

Таблица 1 - Блоки и системы легкового автомобиля

| № п.п. | Наименование блока или системы | Автомобили с двигателем внутреннего сгорания | Электромобили |
|--------|--------------------------------|--|---------------|
| 1      | Кузов                          | +  | +             |
| 2      | Салон                          | +  | +             |
| 3      | Колеса                         | +  | +             |
| 4      | Топливная система              | +  | -             |
| 5      | Система смазки                 | +  | +             |
| 6      | Система охлаждения             | +  | -             |
| 7      | Двигатель внутреннего сгорания | +  | -             |
| 8      | Силовой электродвигатель       | -  | +             |
| 9      | Аккумулятор силового двигателя | -  | +             |

Для анализа пожарной опасности воспользуемся широко известной методикой [4] несколько оптимизировав ее применительно к автомобилям.

Очевидно, что пожарная опасность автомобиля обусловлена наличием в нем большого количества горючих материалов. ГОСТ 12.1.044-89 [5] дает нормативное определение горючести веществ и материалов, а также подробную методику их экспериментального исследования в зависимости от их агрегатного состояния, а в автомобиле имеют место горючие материалы в газообразном состоянии, жидком и твердом состоянии, а также в виде пыли. Особенности механизма воспламенения и горения веществ и материалов в газообразном состоянии, жидком и твердом состоянии, а также в виде пыли. Особенности механизма воспламенения и горения веществ и материалов в зависимости от агрегатного состояния известны и достаточно подробно описаны в литературе [6].

Пожарная опасность материалов деталей кузова и оборудования, расположенного в функциональных отсеках автомобиля приведена в таблице 2.

Таблица 2 - Показатели пожарной опасности материалов, которые применяются во всех легковых автомобилях

| Наименование материала       | Группа горючести | Температура, °С   |               |           |                     |             |
|------------------------------|------------------|-------------------|---------------|-----------|---------------------|-------------|
|                              |                  | самовоспламенения | воспламенения | Плавления | хрупкости, морозост | Размягчения |
| Полиэтилен низкого давления  | горючий          | 417               | 306           | 120       | -180                | 80-90       |
| Полиэтилен высокого давления | горючий          | 349-422           | 340           | 138       | -245                | 120-125     |
| Полипропилен                 |                  | 325-388           | 325-343       | 165       | -23                 | 150-155     |
| Повинол                      | горючий          |                   |               |           |                     |             |
| Винипласт                    | горючий          | 580               | 580           | -         | -                   | -           |
| Полистирол УП                | горючий          | 486               | 343           | -         | -40                 | 85          |
| Дерматин                     | горючий          | -                 | 165           | -         | -                   | -           |
| Линолеум ПВХ                 | горючий          | 410               | 330           | -         | -                   | -           |
| Гетинакс                     | горючий          | 480               | 285           | -         | -60                 | -           |
| Текстолит                    | горючий          | 491-500           | 358           | -         | -60                 | -           |
| Резина                       | горючий          | 350               | -             | -         | -                   | -           |

| Наименование материала                         | Группа горючести | Температура, °С        |                              |                |                         |                  |
|--|------------------|------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------|------------------|
|  |                  | самовоспла-<br>менения | воспла-<br>менения           | Плав-<br>ления | хрупкости,<br>морозоуст | Размяг-<br>чения |
| ДВП  | горючий          | 345                    | 222                          | -              | -                       | -                |
| Битум  | горючий          | 380-397                | 300-351<br>(всп.240-<br>299) | -              | -                       | 40-100           |
| Поропласт<br>пенополиуретана                   | горючий          | 480                    | 440                          |                |                         |                  |
| Поропласт<br>пенополиуретановый<br>эластичный  | горючий          | 480                    | 440                          |                |                         |                  |
| Кожа искусственная                             | горючий          |                        |                              |                |                         |                  |
| Кожа искусственная<br>на трикотажной<br>основе | горючий          |                        |                              |                |                         |                  |
| Винилискожа ТР<br>Обивочная                    | горючий          |                        |                              |                |                         |                  |
| Покрышка<br>автомобильной шины                 | горючий          | 440                    | 270                          |                |                         |                  |

Из таблицы 2 видно, что независимо от типа легкового автомобиля, в конструкциях используется широкий спектр пожароопасных веществ и материалов.

По результатам изучения и анализа аспектов пожарной опасности помещений стоянок автомобилей и способов их тушения нами в рамках разработки Специальных технических условий было выявлено следующее: Основную пожарную нагрузку автомобиля составляет резина, топливо, смазочные масла, искусственные полимерные и другие пожароопасные материалы. Так исходя из результатов сбора эмпирической информации среднее значение количества этих материалов для гражданского внедорожного автомобиля следующее: резина -100 кг, бензин топливо - 64 кг, смазочные масла - 8 кг, пенополиуретан - 8 кг, полиэтилен-1,8 кг, полихлорвинил - 10 кг, искусственная кожа - 9 кг. Общая масса горючих материалов составляет 200,8 кг или до 15% от общей массы автомобиля.

Пожарную опасность автомобиля существенно повышают различные эксплуатационные жидкости и смазки. В таблице 3 приведены наиболее распространенные рабочие жидкости, которые используются как в автомобилях, оборудованных двигателем внутреннего сгорания так и в электромобилях.

Таблица 3 - Показатели пожарной опасности эксплуатационных жидкостей и смазок характерных для всех типов автомобилей

| Наименование материала  | Группа горючести                                | Температура, °С            |                    |                        |
|---|---|----------------------------|--------------------|------------------------|
|   |   | вспышки                    | воспла-<br>менения | самовоспла-<br>менения |
| <b>Консистентные смазки</b>   |   |                            |                    |                        |
| ЛИТОЛ<br>ТУ 38-101207-75  | Горючая вязкая<br>светло-коричневая<br>жидкость | 221(ОТ)<br>185(ЗТ)         | 231                | 364                    |
| ФИОЛ-2М<br>ТУ 38-101233-75  | Горючая вязкая<br>серебристо-черная<br>жидкость | 259-322<br>(ОТ)<br>183(ЗТ) | 304 -<br>346       | 402                    |
| ФИОЛ-2У<br>ТУ 38УССР 201266-79  | Горючая вязкая<br>темно-серая<br>жидкость       | 225-<br>269(ОТ)<br>191(ЗТ) | 261 –<br>280       | 395                    |
| ФИОЛ-4 марка А<br>ТУ 38 401.68-78   | Горючая вязкая<br>темно-серая<br>жидкость       | 186(ОТ)<br>164(ЗТ)         | 250                | 396                    |
| СОЛИДОЛ синтетический<br>ГОСТ 4366-76   | Горючая вязкая<br>жидкость                      | 185(ОТ)<br>184(ЗТ)         | 208                | 385                    |
| <b>Трансмиссионные масла</b>  |   |                            |                    |                        |
| TRANSELF TYPE B<br>80W90 (ELF)  | ГЖ  | 220                        | 290                |                        |
| <b>Тормозные жидкости</b>   |   |                            |                    |                        |
| БСК   | ЛВЖ   | 40                         | 46                 | 345                    |
| «НЕВА»  | ГЖ  | 97-102                     | 102                | 242                    |
| «РОСА»  | ГЖ  | 112-128                    | 131                | 315                    |
| «РОСДОТ-4 супер» ТУ<br>2451-004-36732629-99<br>(пр-во компании ТОСОЛ-<br>СИНТЕЗ г. Дзержинск) | ГЖ  | 139                        | 140                |                        |
| «РОСДОТ-4 супер» ТУ<br>2451-004-36732629-99<br>(пр-во компании ТОСОЛ-<br>СИНТЕЗ г. Дзержинск) | ГЖ  | 140                        | 142                |                        |
| Castrol RESPONSE DOT-4  | ГЖ  | 150                        | 155                |                        |
| <b>Некоторые жидкости, применяемые в гидросистемах автомобилей</b>                            |   |                            |                    |                        |
| Power steering oil<br>А 001 989 24 03 10  | ГЖ  | 155                        | 160                |                        |
| <b>Автомобильные антикоры и консерванты</b>   |   |                            |                    |                        |
| Антикор битумный  | ЛВ Эмульсия                                     | 16                         | 31                 | 433                    |
| Антикор для глушителей<br>(ТУ 6-15-07-12-74)  | ЛВЖ   | 21                         | 30                 | 463                    |
| Автоконсервант<br>(ТУ 6-15-1045-77)   | ЛВЖ   | 12                         | 25                 | 264                    |
| Мовиль  | ЛВЖ   | 42                         | 43                 | -                      |
| Автоконсервант<br>(ТУ 6-15-07-9-74)   | ЛВЖ   | 52                         | 66                 | 355                    |

Из таблицы 3 видно, что все они как правило являются горючими жидкостями, а отдельные из них даже относятся легковоспламеняющимся жидкостям.

Очевидно, что главным отличием автомобилей друг от друга являются наличие моторного топлива и соответственно охлаждающих жидкостей в одном случае и силового аккумулятора в другом, что и видно из таблицы 1.

В таблице 4 приведены данные о пожарной опасности моторного топлива и охлаждающих жидкостей, с учетом хранящегося объема их в автомобилях, это наиболее пожароопасные компоненты, тем более что топливо представляет также взрывную опасность. Все показатели, приведенные в таблицах 2-4 заимствованы из справочной литературы [7].

Таблица 4 - Показатели пожарной опасности жидкостей характерных для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания

| Марка автомобильного топлива | Температура вспышки, °С | Температура самовоспламенения, °С | Концентрационные пределы воспламенения, % |        | Температурные пределы воспламенения, % |        |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|--------|--|--------|
|                              |                         |                                   | верхний                                   | нижний | верхний                                | нижний |
| Бензин                       |                         |                                   |   |        |  |        |
| А-76                         | -37                     | 320                               | 5,6                                       | 0,78   | -7                                     | -35    |
| АИ-93                        | -37                     | 360                               | 6,14                                      | 0,79   | -6                                     | -37    |
| Дизельное топливо            |                         |                                   |   |        |  |        |
| ДЗ                           | 59                      | 237                               |   |        | 98                                     | 54     |
| ДЛ                           | 65                      | 225                               |   |        | 116                                    | 64     |
| ДС                           | 92                      | 231                               |   |        | 146                                    | 76     |
| ДТ-1                         | 110                     | 370                               |   |        | 135                                    | 99     |
| ДТ-2                         | 110                     | 350                               |   |        | 155                                    | 91     |
| Охлаждающие жидкости         |                         |                                   |   |        |  |        |
| «Тосол-А»                    | 108                     | 117                               |   |        |  |        |
| «Тосол»                      | 142                     | 148                               |   |        |  |        |

Пожарная опасность электромобилей преимущественно обусловлена характеристиками их силовых аккумуляторов, в частности литий-ионных. Нарушение нормальных условий эксплуатации аккумуляторных ячеек может привести к их перегреву, повреждению и последующему возгоранию. Основные факторы, вызывающие выход аккумуляторов из строя, включают следующие.

- Воздействие окружающей среды - перегрев аккумуляторов в условиях высоких температур окружающей среды или зарядка в холодное время года могут привести к ухудшению их эксплуатационных характеристик. Кроме того, контакт с соленой водой, например, при затоплениях, может вызвать коррозию компонентов и короткое замыкание.
- Механические повреждения - повреждение аккумуляторных ячеек в результате аварий или воздействия высоких нагрузок (например, на бездорожье) может нарушить их структурную целостность и вызвать выход из строя сепараторов, что повышает риск короткого замыкания и перегрева.



- Электрический перезаряд (Electrical Overcharge) - Превышение допустимого напряжения при зарядке аккумулятора может вызвать экзотермические реакции на катоде, что способствует его перегреву и возникновению аварийных ситуаций.
- Электрический переразряд (Electrical Over-Discharge) - Падение напряжения аккумулятора ниже допустимого уровня может привести к растворению ион-проводящего защитного слоя на аноде, что создаёт условия для короткого замыкания.
- Внешнее короткое замыкание - короткие замыкания во внешних электрических цепях электромобиля способны вызвать нагрев аккумуляторных элементов до температур, провоцирующих тепловой разгон (см. далее).
- Заводской брак - некачественная сборка, дефекты электродов или наличие загрязнений могут стать причиной внутренних коротких замыканий, что приводит к тепловому разгонному процессу.
- Старение - постепенная деградация литий-ионных элементов вследствие естественного износа, а также нарушения условий эксплуатации, увеличивает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Любой из вышеперечисленных факторов может инициировать процесс теплового разгона в аккумуляторной ячейке, что, в свою очередь, может привести к возгоранию всего аккумуляторного блока электромобиля вследствие цепной реакции.

Для понимания, степени опасности того или иного типа автомобиля приведем статистические данные о пожарах автомобилей.

#### **Статистика возгораний автомобилей в зависимости от типа топлива**

По данным сайта AutoinsuranceEZ.com [8] (наиболее цитируемый в тематических статьях и исследованиях источник приведенных данных) частота пожаров в зависимости от типа топлива распределяется следующим образом (на 100 000 ед.):

- Гибридные автомобили – 3474,5 ед. (~ 3.5% от 462 тыс. ед.).
- Автомобили с двигателем внутреннего сгорания – 1529,9 ед. (~ 1.5% от 13,0 млн. ед.)
- Электромобили – 25.1 ед. (~ 0,025% от 207,0 тыс. ед.).

В свою очередь, по данным СМИ в КНР за первый квартал 2022 г. загорелось 640 ед. электромобилей (~ 0,01% от 7,0 млн. ед.).

На рисунке 3. Показано соотношение возгораний к количеству автомобилей разного типа.

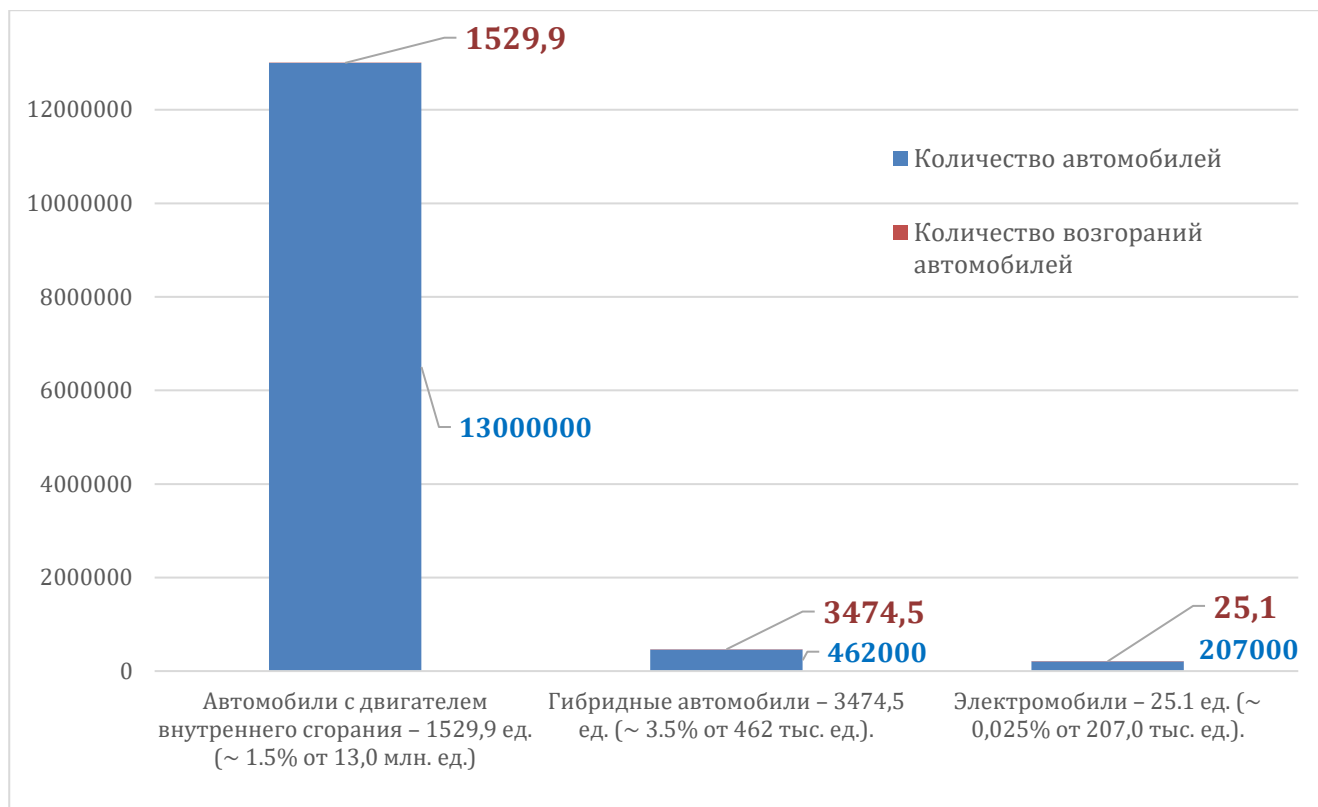


Рисунок 3 – Количество возгораний автомобилей разного типа

Несмотря на положительные статистические данные, свидетельствующие о сравнительно низкой частоте возгораний электромобилей по отношению к другим видам транспортных средств, следует учитывать, что подавляющее большинство электромобилей, эксплуатируемых на 2024 год, имеют срок службы не более 3-4 лет. Это значительно меньше, чем срок эксплуатации традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

По прогнозам экспертов, с увеличением возраста парка электромобилей, их массовым распространением, а также ростом числа случаев неквалифицированного ремонта и обслуживания, ожидается значительное повышение относительной частоты возгораний электромобилей.

Рассмотрим особенности пожара электромобилей.

Физико-химические процессы, приводящие к эффекту «теплого разгона» (Thermal Runaway) (далее – ТР), происходящие внутри ячеек батарей электромобилей при их выходе из строя.

После иницирующего события в аккумуляторной ячейке начинается процесс нагрева. При достижении температуры 70-90 °С начинается разложение ион-проводящего защитного слоя на аноде, что приводит к взаимодействию встроенного лития с электролитом, сопровождающемуся выделением летучих углеводородов, таких как этан, метан и этилен. Однако, несмотря на наличие взрывоопасной смеси, возгорание не происходит, так как внутри ячейки отсутствует кислород.

Поскольку реакции с электролитом носят экзотермический характер, температура и давление в аккумуляторе продолжают расти. Когда температура

достигает 180-200 °С, начинается диспропорционирование катодного материала, часто представленного оксидом переходных металлов с литиевыми вкраплениями, что сопровождается выделением кислорода. Это приводит к самовозгоранию аккумуляторной ячейки и дальнейшему резкому повышению температуры. Параллельно происходит термическое разложение электролита (при температуре 200-300 °С), сопровождающееся дополнительным выделением тепла.

На заключительном этапе графит вступает в реакцию с электролитом, а при температуре около 660 °С плавится алюминиевый токоприёмник. Температура в ячейке обычно не превышает 900 °С. После начала теплового разгона (ТР) в аккумуляторном блоке электромобиля процесс крайне сложно остановить, так как каждая ячейка содержит все необходимые компоненты для горения: окислитель, топливо и тепло, поступающее от соседних ячеек, уже находящихся на более поздних стадиях ТР.

Особенности возгорания аккумуляторных блоков электромобилей делают применение традиционных методов пожаротушения, разработанных для автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, неэффективными. В процессе ТР происходит интенсивное выделение горючих газов, которые на ранних стадиях выходят через предусмотренные клапаны сброса давления или вследствие разрушения ячеек из-за увеличения внутреннего давления. В замкнутых пространствах эти газы могут накапливаться, а их воспламенение, как правило, приводит к пожару по механизму вспышки.

Хотя в открытых источниках отсутствует информация о подобных инцидентах, накопление горючих газов в замкнутых объемах может привести к достижению взрывоопасных концентраций. При этом давление взрыва может превышать 5 кПа, что потенциально способно привести к разрушению несущих железобетонных конструкций зданий.

Токсичность отдельных продуктов химических реакций, происходящих в литий-ионных ячейках в процессе теплового разгона (ТР), представляет собой значительную угрозу для здоровья и жизни людей при возгорании электромобилей в замкнутых пространствах. Эти токсичные вещества также имеют склонность оседать в воде, используемой для тушения пожаров, что делает её токсичной и требует особого внимания к вопросам экологической и санитарно-эпидемиологической безопасности при её утилизации.

Факельный характер горения (высокотемпературное сжигание газов, выходящих под давлением из аккумуляторного блока) увеличивает воздействие на близлежащие объекты, например, на находящиеся поблизости автомобили, что существенно повышает общую пожарную нагрузку.

Расположение аккумуляторного блока электромобиля в герметичном и огнеупорном корпусе под днищем автомобиля значительно затрудняет доступ огнетушащих средств к очагу возгорания, что усложняет оперативную локализацию пожара.

Исследования показывают, что время, необходимое для первичной локализации пожара в электромобиле, в среднем составляет от 30 до 60 минут. При этом риск повторного возгорания остаётся высоким из-за особенностей

теплового разгона в каждой отдельной ячейке, что может приводить к повторным возгораниям даже спустя часы или недели после первичной локализации. В некоторых документированных случаях число повторных возгораний достигало 6-8 раз.

Продолжительность аварийно-спасательных работ, в среднем составляющая 6-8 часов, вызывает сомнения относительно эффективности существующих норм пожарной безопасности для зданий и текущих методов тушения пожаров электромобилей. Например, максимальная огнестойкость зданий по нормам Республики Казахстан составляет 2,5 часа, что существенно меньше времени, необходимого для борьбы с возгоранием электромобиля.

Остаточный заряд батареи является одной из причин повторных возгораний, а также представляет непосредственную угрозу для жизни и здоровья пожарных при контакте с высоковольтными кабелями электромобиля. Особую сложность вызывает невозможность определения уровня остаточного заряда аккумуляторов повреждённого транспортного средства без участия специалистов производителя электромобиля, что создаёт дополнительную непредсказуемость в ходе аварийно-спасательных работ и увеличивает риск для личного состава пожарных подразделений.

Отсутствие специализированных огнетушащих средств, обладающих повышенной эффективностью при тушении пожаров электромобилей, создаёт значительные трудности для пожарных подразделений. Это связано, прежде всего, с тем, что для горения литий-ионных ячеек не требуется наличие кислорода, что существенно ограничивает возможности традиционных методов тушения. На сегодняшний день стандартной рекомендацией исследователей в данной области, а также производителей электромобилей, является использование больших объёмов воды (до 30 тонн на один электромобиль) для охлаждения батареи и подавления реакции теплового разгона (ТР). Однако такая стратегия не является оптимальной, поскольку не гарантирует предотвращения повторных возгораний.

Такие широко применяемые огнетушащие вещества, как газ, порошок, аэрозоль и тонкораспыленная вода, продемонстрировавшие высокую эффективность при тушении пожаров другого рода, оказываются неэффективными при тушении пожаров, связанных с электромобилями.

Вопрос разработки более эффективных методов тушения пожаров электромобилей в настоящее время является предметом активных дискуссий среди профессиональных пожарных, а также производителей специального противопожарного оборудования. Тем не менее, предлагаемые решения пока не обладают достаточными доказательствами своей эффективности на основе широкомасштабной апробации.

Ситуация усугубляется разнообразием технических решений, применяемых различными производителями электромобилей, включая различия в химическом составе литий-ионных элементов, типоразмерах и конфигурациях аккумуляторных блоков, а также их расположении в конструкции автомобиля. Это значительно усложняет систематизацию накопленного мировым

сообществом опыта, что создаёт дополнительные трудности при разработке универсальных подходов к тушению пожаров электромобилей.

На данный момент масштабные исследования, направленные на разработку конкретных выводов и рекомендаций по проектированию зданий с учётом рисков возгорания электромобилей, находятся на начальной стадии. Это относится и к исследованиям, проводимым крупными профессиональными сообществами, такими как Национальная ассоциация противопожарной защиты (NFPA - National Fire Protection Association) [10], Институт исследований пожарной безопасности (FSRI - Fire Safety Research Institute), и Национальный совет по безопасности на транспорте (NTSB - National Transportation Safety Board).

Исследования в области обеспечения пожарной безопасности электромобилей должны проводиться по двум основным направлениям:

1. Совершенствование конструкции электромобилей и аккумуляторов. Это включает использование менее пожаро- и взрывоопасных материалов, улучшение систем управления батареей (BMS), которые контролируют температуру, напряжение и ток, а также разработку технических решений для управления сбросом избыточного давления и предотвращения внутренних коротких замыканий. Также важно рассмотреть возможность оснащения электромобилей и аккумуляторов системами автоматического пожаротушения. Данное направление выходит за рамки компетенции специалистов в области пожарной безопасности, за исключением выдвижения проблемных вопросов перед производителями электромобилей.

2. Разработка и внедрение стандартов и нормативов. Вторым ключевым аспектом обеспечения пожарной безопасности является создание стандартов, регулирующих эксплуатацию литий-ионных аккумуляторов и электромобилей. Эти стандарты должны включать требования к исследованию показателей пожаровзрывоопасности электромобилей, проектированию мест для хранения, ремонта и зарядки, а также к созданию условий для эффективного тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Важно также разработать методы тушения пожаров и соблюдать правила безопасности, специфичные для пожаров аккумуляторов и электромобилей данного типа.

В период с 24 по 27 сентября 2024 года по приглашению МОГО Директор Центра по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий генерал-майор противопожарной службы, к.т.н Аубакиров С.Г. принял участие в VII заседании руководителей учреждений - членов научно-образовательного комитета (НОК) МОГО, в городе Ниш, Республика Сербия (рис.). На заседании Комитета приняли участие более 30 научных деятелей профильных учебных заведений гражданской защиты из 9 стран, таких как Россия, Белоруссия, Армения, Алжир, Египет, Тунис, Казахстан, Кыргызстан, Азербайджан. Единодушным стало решение членов НОК о приеме Центра в состав Научно - образовательного Комитета МОГО. Данный факт еще более повышает актуальность наших отечественных исследований. В рамках заседания Комитета состоялась Международная научно-практическая конференция на тему: «Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации

последствий ДТП с электромобилями» (рисунки 4-5). Красной линией на конференции проходила мысль о том, что происходящие пожары на электромобилях выявили ряд проблем и отличий от пожаров на обычных авто с двигателями внутреннего сгорания, что не может не вызвать тревогу в научных и практических кругах в сфере предупреждения и реагирования на такие пожары[11]. Тем самым подтверждая наши подходы, выводы и планы на дальнейшую деятельность в рассматриваемой сфере. В последующих публикациях мы более подробно будем анализировать основные тезисы, озвученные на этой конференции.



Рисунок 4 - Рабочие моменты Международной научно-практической конференции на тему: «Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий ДТП с электромобилями»





Настоящая статья была подготовлена после консультаций с представителями Комитета противопожарной службы Министерства по



чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан и является первой в серии запланированных трудов в этой области. Мы надеемся активизировать отечественное сообщество специалистов для более глубокого осознания данной проблемы, решение которой возможно лишь при консолидированном подходе, объединяющем наш научный и творческий потенциал.

### Литература

1. <https://ru.sputnik.kz/20231003/chislo-elektromobiley-v-kazahstane-za-god-vyroslo-v-desyat-raz--39017899.html>
2. <https://news.mail.ru/economics/61956295/>
3. Закон Республики Казахстан от 18 июля 2024 года № 126-VIII ЗРК О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам транспорта и развития инфраструктуры для электромобилей.
4. Алексеев М.И., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986.- 371 с.
5. ГОСТ 12.1.044-89 ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. Номенклатура показателей и методы их определения
6. Процессы горения/ И.М. Абдурагимов, А.С. Аносов, Л.К.Исаева, Е.В. Крылов. Под редакцией Абдурагимова И.М. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. 268 с.
7. Земский Г.Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов: справ. М.: ВНИИПО, 2016. 971 с.
8. AutoinsuranceEZ.com
9. Канонин Ю. Н., Лыщик А. В. Пожарная опасность электромобилей // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 38–51. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-38-5
10. Electric Vehicle Hazards in Parking Garages – Full scale Testing
11. <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1epDIFrZtLav1rFVvN3XPR7VPyeBMDbXQ>