

УДК 614.842.4
МРНТИ 81.35.23

Р. М. Джумагалиев¹, О. К. Кокушев², Т. Р. Джумагалиев², М. Б. Клышбаев²

¹*ТОО «GFP Science», Алматы, Казахстан*

²*ТОО "Global Fire Protection", Алматы, Казахстан*

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Аннотация. В статье представлены результаты математического моделирования зон поражения тепловым излучением, с целью расчета пожарных рисков электромобилей. Определены уровни теплового воздействия на различных расстояниях от источника и их влияние на человека и материалы. Построены границы безопасных и опасных зон, что позволяет оценить потенциальные риски возникновения ожогов и воспламенения. Полученные данные могут быть использованы для проверки адекватности принятых проектных решений при разработке противопожарных мероприятий на стадии проектирования мест стоянок электромобилей и организации обеспечения безопасности людей при тушении пожаров. Учитывая предварительный характер расчетов, требуется проведение дополнительных исследований с учетом влияния окружающих факторов для повышения точности прогнозирования и практического применения.

Ключевые слова: пожар, электромобиль, пожарная опасность электромобилей, моделирование пожара, продукты сгорания аккумуляторной батареи электромобиля, тепловое воздействие, зона теплового поражения, пожарные риски

Введение

Мировым трендом развития автомобильной промышленности является развитие и внедрение на рынок легковых электромобилей. Для активизации и регулирования использования электромобилей в Казахстане был принят Закон Республики Казахстан «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам транспорта и развития инфраструктуры для электромобилей» [1]. Документ направлен на развитие и упорядочения инфраструктуры использования электромобилей. Однако вопросы обеспечения безопасности этого вида транспортных средств не нашли отражения в этом законе [1]. Вместе с тем общие подходы к обеспечению пожарной безопасности, закрепленные в нормативно-правовых актах, обязывают субъектов, осуществляющих деятельность в данной сфере, предпринимать необходимые меры, направленные на обеспечение пожарной безопасности и разрешение возникающих неопределенности.

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

По результатам сформированных МЧС РК предложений, Министерством промышленности и строительства Республики Казахстан внесены изменения и дополнения в строительные нормы и своды правил по строительству в части размещения электромобилей и их зарядных станций [2], внесены изменения в Правила организации тушения пожаров [3], в части тушения пожаров (водой и

огнетушащим порошком) и проведения аварийно-спасательных работ на электромобилях и электробусах [4]. Также приказом МЧС РК [5] внесены изменения и дополнения в Правила пожарной безопасности 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 в сфере обеспечения пожарной безопасности на всех основных стадиях функционирования электромобилей, а именно эксплуатация, хранение и заправка, необходима методика оценки пожарных рисков. Ключевым звеном, такой методики является динамика развития пожаров. Ранее мы подробно рассмотрели особенности пожарной опасности электромобилей в сравнении с обычными автомобилями оснащенными двигателями внутреннего сгорания [6].

В рамках настоящей работы, в соответствии с поставленной задачей, мы ограничились исследованиями открыто горящего электромобиля, с целью определения безопасных расстояний от факела пламени до различных потенциальных объектов риска, другими словами, определения критериев выбора такой площадки. К потенциальным объектам риска относятся люди, участвующие в тушении пожара, граждане и персонал объекта, смежные здания и сооружения, а также пожарные и иные автомобили. Определение безопасных расстояний до пожарных машин позволит осуществить проектирование пожарных гидрантов и места для размещения пожарного автомобиля.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

При пожаре на открытом пространстве наибольшую опасность представляет такой опасный фактор пожара, как тепловое излучение факела пламени.

В общем виде существуют две модели тепловых источников открытых пожаров углеводородов: точечная модель и модель поверхностно–объемного источника излучения. Точечная модель принимается в случаях, когда размеры источника излучения несоизмеримо малы по сравнению с расстоянием между объектами, участвующими в теплообмене, и форма факела не имеет решающего значения.

В пределах безопасных расстояний от горящего электромобиля необходимо использовать модель поверхностно-объемного излучателя. Воспользуемся методикой расчета изложенной в [7].

Интенсивность теплового излучения q (кВт/м²), от факела открыто горящего электромобиля [7].

$$q = E_f \times F_q \times \tau \quad (1)$$

где E_f - среднеповерхностная интенсивность теплового излучения пламени, кВт/м²;
 F_q - угловой коэффициент облученности;
 τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Значение E_f принимают на основе имеющихся экспериментальных данных или по таблице В.4 приведенной в [7]. Особенности горения силовой аккумуляторной батареи заключается в том, что ее продуктами горения являются пожароопасные и высокотоксичные газы.

Рассмотрим характеристики основных продуктов сгорания аккумуляторной батареи электромобиля по справочным данным [8].

Водород. Физико-химические свойства: Мол. масса 2,016; т-ра кипения $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; плотность по воздуху 0,0695; вязкость 8800 кПа·с при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; коэф. диф. в воздух $0,68\text{ см}^2/\text{с}$; тепл. сгор. - 241,6 кДж/моль; в воде малорастворим.

Пожароопасные свойства: Горючий газ. Т-ра самовоспл. $510\text{ }^{\circ}\text{C}$; конц. пределы распр. пл. 4,12 - 75,0 % об. в воздухе, 4,1 - 96 % об. в кислороде; миним. энергия зажигания 0,017 мДж; макс. норм. скорость распр. пл. 2,7 м/с; макс. давл. взрыва 730 кПа; критический диаметр 0,6-10-3 м; МВСК при разбавлении азотом 5 % об., диоксидом углерода 7,9 % об. При истечении газообразного или испарении жидкого водорода в атмосферу в создании взрывоопасного облака участвует не более 50 % водорода. Наиболее эффективным средством флегматизации водородо-воздушной смеси является комбинированный состав, содержащий 85 % масс. диоксида углерода и 15 % масс. хладона 114В2. Флегматизирующая концентрация этого состава, диоксида углерода и азота соответственно равны 32; 62 и 76 % об. Для прекращения диффузионного горения водорода, истекающего из трубопровода со скоростью 10 м/с, необходимо его разбавить 10-кратным объемом азота.

Метан. Физико-химические свойства: Бесцветный газ. Мол. масса 16,04; плотность. 0,7168 кг/м³ при 0°C ; т-ра кипения $161,58^{\circ}\text{C}$; $l_{\text{гр}} = 5,68923 - 380,224/(264,804 + t)$ при т-ре от -182 до -162°C ; коэф. диф. газа в воздухе $0,196\text{ см}^2/\text{с}$; тепл. образ. $-74,8\text{ кДж/моль}$; тепл. сгор. -802 кДж/моль .

Пожароопасные свойства: Горючий газ. Т-ра самовоспл. 535°C ; конц. пределы распр. пл.: в воздухе 5,28-14,1 % об., в кислороде 5,1-61 % об., в гемеоксиде азота 4,3-22,9 % об., в оксиде азота 8,6-21,7 % об., в хлоре 5,6-70 % об.; макс. давл. взрыва 706 кПа; макс. скорость нарастания давл. 18 МПа/с; норм. скорость распр. пл. 0,338 м/с; миним. энергия зажигания 0,28 мДж в воздухе и 0,0027 мДж в кислороде; миним. флегм. конц. разбавителя, % об.: N 37, H₂O 29, CO₂ 24, Ag 51, H₂ 39, CCl₄ 13; МВСК 11 % об. Средства тушения: Инертные газы.

Окись углерода. Окись углерода — это газ, который образуется в качестве продукта неполного сгорания углерода из органических веществ, таких как масло, нефть и её производные, древесина, природный и промышленный газ, взрывчатые вещества, уголь или кокс. В процессе сгорания избыток углерода способствует образованию СО, и, если кислорода больше, полностью окисляется, образуется углекислый газ (СО₂). Окись углерода может образовываться всякий раз, когда пламя касается поверхности, температура которой ниже температуры воспламенения газовой части этого пламени, состояние в живом организме, возникшее в результате вдыхания опасных концентраций окиси углерода (СО) в быту, на улице, в транспорте, промышленности и сельском хозяйстве, из-за очень широкого использования углеродного топлива, а также сильных лесных пожаров. Из-за сильной цитотоксичности для живых существ СО относится к группе химических загрязнителей и крупнейших загрязнителей воздуха. Его токсический эффект

проявляется очень быстро даже при крайне низких концентрациях. Таким образом, воздействие концентраций окиси углерода от 100 и выше ppm сопровождается симптомами острого или хронического отравления, с возможными тяжёлыми последствиями для здоровья человека. Смертельная доза СО для человека составляет 1000–2000 ppm (0,1–0,2 %) при вдыхании газа в течение 30 минут. При высоких концентрациях окиси углерода во вдыхаемом воздухе смерть может произойти во время ингаляции в течение 1-2 минут.

Фтористый водород. Фтористый водород HF (фтороводород, фторид водорода, гидрофторид) — бесцветный газ или легко испаряющаяся жидкость с очень резким запахом. На воздухе дымится из-за взаимодействия с водой. В безводном состоянии фтороводород химически инертен. В присутствии воды он проявляет сильные окислительные свойства и активно реагирует с большинством веществ, включая даже хлористый водород, который и сам является сильным окислителем. Фтористый водород (гидрофторид) обладает резким запахом, очень ядовит, дымит на воздухе (вследствие образования с парами воды мелких капелек раствора) и сильно разъедает стенки дыхательных путей. Фтороводород обладает слабыми наркотическими свойствами. Как и некоторые другие производные фтора, HF высокоопасен в обращении.

Цианистый водород. Синильная кислота очень токсична и смертельно ядовита. Является веществом, вызывающим кислородное голодание тканевого типа. При этом наблюдается высокое содержание кислорода как в артериальной, так и в венозной крови и уменьшение, таким образом, артериовенозной разницы, резкое понижение потребления кислорода тканями с уменьшением образования в них углекислоты. Синильная кислота и её соли, растворённые в крови, достигают тканей, где вступают во взаимодействие с трёхвалентной формой железа цитохромоксидазы. Соединившись с цианидом, цитохромоксидаза теряет способность переносить электроны на молекулярный кислород. Вследствие выхода из строя конечного звена окисления блокируется вся дыхательная цепь и развивается тканевая гипоксия. С артериальной кровью кислород доставляется к тканям в достаточном количестве, но не усваивается ими и переходит в неизменённом виде в венозное русло. Одновременно нарушаются процессы образования макроэргов, необходимых для нормальной деятельности различных органов и систем. Активизируется гликолиз, то есть обмен с аэробного перестраивается на анаэробный. Также подавляется активность и других ферментов — каталазы, пероксидазы, лактатдегидрогеназы. Была обнаружена ототоксичность (возможность ухудшать слух) цианистого водорода при одновременном воздействии с источниками шума, однако в тишине изменений слуха обнаружено не было.

Впервые в роли боевого отравляющего вещества синильная кислота была использована французской армией 1 июля 1916 года на реке Сомме. Однако из-за отсутствия кумулятивных свойств и малой стойкости на местности её последующее использование в этом качестве прекратилось.

Синильная кислота являлась основной составляющей препарата «Циклон Б», который был наиболее популярным в Европе во время Второй мировой войны инсектицидом, а также использовался нацистами для убийства людей в концентрационных лагерях. В некоторых штатах США синильная кислота

использовалась в газовых камерах в качестве отравляющего вещества при исполнении приговоров смертной казни; в последний раз это было сделано в Аризоне в 1999 году. Смерть, как правило, наступает в течение 5-15 минут.

В рамках настоящей работы нас интересует излучение струи выходящего из аварийного аккумулятора и воспламенённого газа. В качестве основного продукта горения, определяющего тепловой излучения пламени, принимаем метан. Для метана среднеповерхностная плотность излучения пламени составит 220 кВт/м².

Угловой коэффициент облученности F_q определяют по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (2)$$

где F_v , F_H - факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени, по формулам (3) и (4):

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \cdot \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1+a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1) \cdot a \cdot b \cdot \sin \theta}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} \quad (4)$$

$$a = \frac{2 \cdot L}{d} \quad (5)$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{d} \quad (6)$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b+1) \cdot \sin \theta)} \quad (7)$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b-1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b-1) \cdot \sin \theta)} \quad (8)$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)} \quad (9)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1} \right)} \quad (10)$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta} \quad (11)$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)} \quad (12)$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;
 d - эффективный диаметр пролива, м;
 L - длина пламени, м;
 θ - угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра.

Для площадок, расположенных вне указанного сектора, а также в случаях отсутствия ветра, факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок определяют по формулам (3) - (6) принимая $\theta = 0$.

Изучение ряда фото-видео материалов и реальных пожаров ЭМ, а также публикаций научно-технического характера [8] позволили определить типовой сценарий пожара и его эскалацию. Условно пожар можно разделить на три стадии.

Первая стадия развития пожара. Эту стадию можно определить как начальную. После термического разгона аккумулятора происходит выделение большого количества горючих газов и паров и как следствие повышение давления в ячейке аккумулятора. Через предохранительный клапан струя горящего газа под давлением выходит наружу. Здесь возможны два варианта развития событий. Если в результате теплового разгона температура превысила температуру самовоспламенения либо в результате механического повреждения аккумулятора происходит воспламенение горючей смеси электрической искрой, то уже в начальной стадии пожара из аварийного аккумулятора будет выходить струя пламени. Считается, что самовозгорание электромобиля начинается, когда температура внутри аккумулятора достигает 180–200°C [9]. При такой температуре материал катода, обычно представляющий собой оксид переходных металлов со встроенным в кристалл литием, вступает в реакцию диспропорционирования и выделяет кислород, что и вызывает самовозгорание и ещё более резкий скачок температуры. В тоже время, имеют место случаи, когда при аварии вначале совершается выход струи газа, происходит загазованность местности, далее от постороннего источника зажигания газопаровое облако воспламеняется, происходит вспышка и возникает горение струи выходящего газа. Вектор оси струи пламени зависит от местоположения горячей ячейки и практически может быть направлена в любую сторону. Длина струи пламени может достигать 6-8 метров. Горящий аккумулятор инициирует горение салона и корпуса ЭМ. Пламя имеет характер струйного пожара, и может быть аппроксимировано конусом, который может быть как горизонтальным, так и вертикальным или под любым другим углом к горизонту. Поскольку ориентация струи пожара в пространстве не определена, то интегральная (усредненная во времени) форма факела будет иметь вид сферического сегмента высотой 6-8 метра с таким же радиусом.

Вторая стадия развития пожара. Эту стадию мы определим как стадию эскалации пожара. Происходит традиционное горение автомобиля, усугубляемое периодическим выбросом струи пламени из очередной, последовательно воспламеняемой аварийной ячейки. Поскольку температура аккумулятора значительно повысилась вследствие теплового воздействия пламени пожара, то давление выходящих паров и газов приводит к их выбросу, а скорость их истечения превышает скорость распространения пламени, поэтому происходит вспышка выходящих продуктов сгорания, высота пламени превышает 20 метров, а диаметр очага около 8-10 метров. Такая вспышка длится от 1 до 3 секунд. С учетом настоящих данных мы принимаем излучающую поверхность в форме усеченного конуса. После завершения вспышки устанавливается струйное горение характерное для первой стадии.

Третья стадия развития пожара. Стадия установившегося пожара с постепенным затуханием. Интенсивность горения корпуса ЭМ уменьшается. Прекращается инициирование пожара вспышки, понижается длина струйного горения аккумулятора. Форма факела имеет ту же конфигурацию, что и при первой стадии.

Таким образом эффективный диаметр очага горения принимаем 10 метров.

Длину пламени L принимаем 20 м.

Параметр u_* определяют по формуле (13)

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\text{п}}}}} \quad (13)$$

где w_0 - скорость ветра, м/с;

m' - удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с);

g - ускорение свободного падения ($g = 9,81$ м/с²);

d - эффективный диаметр пролива, м;

$\rho_{\text{п}}$ - плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³.

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ определяют по формуле (14)

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0.5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases} \quad (14)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для пожара пролива определяют по формуле (15)

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X + 0.5 \cdot d)] \quad (15)$$

где X - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;

d - эффективный диаметр пролива, м.

РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате математического моделирования были получены значения теплового излучения q_{CR} на различных расстояниях от источника, соответствующие разным степеням поражения. Данные расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные значения теплового излучения и соответствующие им расстояния

Степень поражения	q_{CR} , кВт/м ²	Расстояние, м
Без негативных последствий в течение длительного времени	1,4	52,37
Безопасно для человека в брезентовой одежде	4,2	28,52
Непереносимая боль через 20 - 30 с	7,0	20,68
Ожог 1 степени через 15 - 20 с		
Ожог 2 степени через 30 - 40 с		
Непереносимая боль через 3 – 5 с	10,5	15,54
Ожог 1 степени через 6 - 8 с		
Ожог 2 степени через 12 - 16 с		
Воспламенение древесины	13,9	12,5
Воспламенение резины	14,8	11,89

Анализ полученных данных показывает, что зона безопасного пребывания человека без защитной одежды ($q_{CR} \leq 1,4 \text{ кВт/м}^2$) начинается на расстоянии 52,37 м от источника. При увеличении интенсивности теплового излучения до $4,2 \text{ кВт/м}^2$ (28,52 м) пребывание человека возможно только в брезентовой одежде без угрозы для здоровья.

При уровнях излучения 7,0–10,5 кВт/м² наблюдается непереносимая боль через короткие промежутки времени (от 3 до 30 секунд), что делает пребывание в данной зоне опасным без специализированной защиты. Более высокие уровни излучения (13,9–14,8 кВт/м²) приводят к воспламенению древесины и резины, что свидетельствует о высокой вероятности пожароопасной ситуации вблизи источника.

Таким образом, полученные результаты позволяют определить безопасные и опасные зоны воздействия теплового излучения при пожаре электромобиля, что может быть использовано при проектировании мест для эвакуации горящего электромобиля, разработке мер защиты и планировании мероприятий по пожаротушению.

На рисунке 1 приведен график зон поражения тепловым излучением, иллюстрирующая распределение уровней теплового воздействия в зависимости от расстояния.

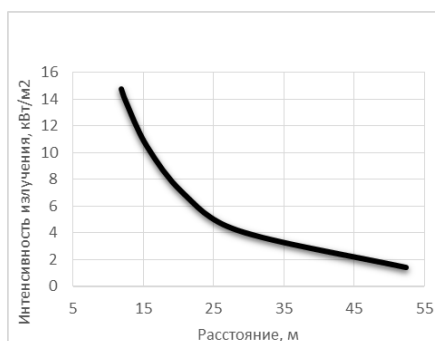


Рисунок 1 – График распределения уровней теплового излучения в зависимости от расстояния

Заключение

Проведенное математическое моделирование позволило количественно определить зоны теплового поражения в зависимости от интенсивности излучения при струйном горении силового аккумулятора ЭМ. Установлено, что безопасное пребывание возможно на расстояниях свыше 52,37 м, тогда как на расстояниях менее 15 м наблюдается высокий риск получения ожогов второй степени и воспламенения материалов. Полученные данные могут быть использованы при разработке противопожарных мероприятий на стадии проектирования и планировании мероприятий по пожаротушению.

Следует отметить, что представленные результаты являются предварительными и данный вопрос требует дальнейших исследований, в том числе проведения натурных испытаний. Проведение дополнительных исследований с учетом различных факторов, таких как влияние атмосферных условий, материалов окружающей среды и динамики тепловых потоков, позволит повысить точность расчетов и обеспечить более надежные рекомендации для практического применения.

Список литературы

1. Республика Казахстан. Закон РК. О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам транспорта и развития инфраструктуры для электромобилей: принят 18 июля 2024 года № 126-VIII ЗРК.
2. Приказ и.о. Председателя Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан от 19 апреля 2024 года № 68-НК «О внесении изменений и дополнений в государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства в части размещения зарядных станций электромобилей».
3. Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 26 июня 2017 года № 446 «Об утверждении Правил организации тушения пожаров».
4. Приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 7 июня 2024 года № 217 «О внесении изменений и дополнений в приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 26 июня 2017 года № 446 «Об утверждении Правил организации тушения пожаров».
5. Приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 15 августа 2024 года № 321 «О внесении изменений и дополнений в приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 21 февраля 2022 года № 55 «Об утверждении Правил пожарной безопасности».
6. Аубакиров С.Г., Джумагалиев Р.М., Клышбаев М.Б. Сравнительный анализ пожарной опасности электромобилей // Сборник тезисов и докладов XV Междунар. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – Кокшетау: АГЗ им. М. Габдуллина МЧС РК, 2024. – С. 51-69.
7. СТ РК 3019-2017 «Безопасность пожарная. Оценка пожарного риска. Метод определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
8. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пожнаука, 2004. Ч. 1. – 713 с.
9. Sun P, Bisschop R, Niu H, Huang X (2019) A review of battery fires in electric vehicles. Fire Technol.
10. Харламенков А.С. Пожарная опасность применения литий-ионных аккумуляторов в России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2022. – № 31(3) – С. 96-102.

References

1. Respublika Kazahstan. Zakon RK. O vnesenii izmenenij i dopolnenij v nekotorye zakonodatel'nye akty Respubliki Kazahstan po voprosam transporta i razvitiya infrastruktury dlya elektromobilej: prinyat 18 iyulya 2024 goda № 126-VIII ZRK.
2. Prikaz i.o. Predsedatelya Komiteta po delam stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Ministerstva promyshlennosti i stroitel'stva Respubliki Kazahstan ot 19 aprelya 2024 goda № 68-NK «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v gosudarstvennye normativy v oblasti arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva v chasti razmeshcheniya zaryadnyh stancij elektromobilej».
3. Prikaz Ministra vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 26 iyunya 2017 goda № 446 «Ob utverzhdenii Pravil organizacii tusheniya pozharov».
4. Prikaz Ministra po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan ot 7 iyunya 2024 goda № 217 «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v prikaz Ministra vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 26 iyunya 2017 goda № 446 «Ob utverzhdenii Pravil organizacii tusheniya pozharov».

5. Prikaz Ministra po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan ot 15 avgusta 2024 goda № 321 «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v prikaz Ministra po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan ot 21 fevralya 2022 goda № 55 «Ob utverzhdenii Pravil pozharnoj bezopasnosti».

6. Aubakirov S.G., Dzhumagaliev R.M., Klyshbaev M.B. Sravnitel'nyj analiz pozharnoj opasnosti elektromobilej // Sbornik tezisev i dokladov XV Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti, preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij». – Kokshetau: AGZ im. M. Gabdullina MCHS RK, 2024. – S. 51-69.

7. ST RK 3019-2017 «Bezopasnost' pozharnaya. Ocenka pozharnogo riska. Metod opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob'ektah».

8. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. Pozharovzryvopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya. Spravochnik: v 2 ch. 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Pozhnauka, 2004. Ch. 1. – 713 s.

9. Sun P, Bisschop R, Niu H, Huang X (2019) A review of battery fires in electric vehicles. Fire Technol.

10. Harlamenkov A.S. Pozharnaya opasnost' primeneniya litij-ionnyh akkumulyatorov v Rossii // Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety. – 2022. – № 31(3) – S. 96-102.

Р. М. Джумагалиев¹, О. К. Қоқушев², Т. Р. Джумагалиев¹, М. Б. Қлышбаев²

¹«Gfp Science» ЖШС, Алматы, Қазақстан

²«Global Fire Protection», ЖШС, Алматы, Қазақстан

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДЕРДІҢ ӨРТ ТӘУЕКЕЛДЕРІН БАҒАЛАУ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕГЕ

Аңдатпа. Мақалада электромобильдердің өрт қаупін есептеу мақсатында жылу сәулеленуінің зақымдану аймақтарын математикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Көзден әр түрлі қашықтықтағы жылу әсерінің деңгейлері және олардың адамдар мен материалдарға әсері анықталды. Қауіпсіз және қауіпті аймақтардың шекаралары салынды, бұл күйік пен тұтанудың ықтимал қаупін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған деректер электромобильдердің тұрақ орындарын жобалау сатысында өртке қарсы іс-шараларды әзірлеу кезінде қабылданған жобалық шешімдердің барабарлығын тексеру және өртті сөндіру кезінде адамдардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуді ұйымдастыру үшін пайдаланылуы мүмкін. Есептеулердің алдын-ала сипатын ескере отырып, болжау мен практикалық қолданудың дәлдігін арттыру үшін қоршаған факторлардың әсерін ескере отырып, қосымша зерттеулер жүргізу қажет.

Түйінді сөздер: өрт, электромобиль, электромобильдердің өрт қаупі, өртті модельдеу, аккумулятордың жану өнімдері электромобиль

R. M. Dzhumagaliev¹, O. K. Kokushev², T. R. Dzhumagaliev², M. B. Klyshbaev²

¹TOO "GFP Science", Almaty, Kazakhstan

²TOO "Global Fire Protection", Almaty, Kazakhstan

PROBLEMS OF ASSESSING INDIVIDUAL FIRE RISK AT THE DESIGN STAGE ON THE ISSUE OF ASSESSING FIRE RISKS OF ELECTRIC VEHICLES

Abstract. The article presents the results of mathematical modeling of heat radiation zones in order to calculate the fire risks of electric vehicles. The levels of thermal exposure at different distances from the source and their impact on humans and materials are determined. The boundaries

of safe and hazardous zones are constructed, which allows for the assessment of potential risks of burns and ignition. The obtained data can be used to verify the adequacy of the adopted design solutions during the development of fire prevention measures at the stage of designing parking areas for electric vehicles and ensuring the safety of people during firefighting. Given the preliminary nature of the calculations, additional research is required to take into account the influence of environmental factors in order to improve the accuracy of forecasting and practical application.

Keywords: fire, electric vehicle, fire hazard of electric vehicles, fire simulation, combustion products of an electric vehicle battery, thermal effects, thermal damage zones, fire risks.

Сведения об авторах / Information about the authors

Джумагалиев Руслан Маркленович – кандидат технических наук, профессор, директор ТОО "GFP Science", Алматы, Казахстан. E-mail: ruslan_djum@mail.ru, r_djum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-9218>

Кокушев Олжас Куанышбаевич – руководитель проектов, ТОО "Global Fire Protection", Алматы, Казахстан. E-mail: djafar2503@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0594-4268>

Джумагалиев Тимур Русланович – руководитель проектов, ТОО "Global Fire Protection", Алматы, Казахстан. E-mail: timohad87@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1092-7155>

Клышбаев Марат Бахытжанович – ведущий научный сотрудник, магистр технических наук, ТОО "Global Fire Protection", Алматы, Казахстан. E-mail: gfp_mk@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6710-1090>

Ruslan M. Dzhumagaliev – Candidate of Technical Sciences, Professor, "GFP Science" LLP, Almaty, Kazakhstan. E-mail: ruslan_djum@mail.ru, r_djum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0724-9218>

Timur R. Djumagaliev – Project manager, "Global Fire Protection" LLP, Almaty, Kazakhstan. E-mail: timohad87@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1092-7155>

Olzhas K. Kokushev – Project manager, "Global Fire Protection" LLP, Almaty, Kazakhstan. E-mail: djafar2503@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0594-4268>

Marat B. Klyshbaev – Senior research fellow, master of technical science "Global Fire Protection" LLP, Almaty, Kazakhstan. E-mail: gfp_mk@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6710-1090>