2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)
Научная статья
УДК 614.842.61

Обеспечение безопасного проведения аварийно-спасательных работ и тушение пожаров электротранспорта установками пожаротушения

Владислав Ярославович Гладченко[1]
Иван Александрович Ольховский[2]
Дмитрий Александрович Иощенко[3]
Азиз Ахмед-Бешарович Гаплаев[4]
Ярослав Станиславич Гладченко[5]
[1,2,3,4]*Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия*
[5]*Донской Государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия*
[1]*https://orcid.org/0009-0005-2262-4177*
[2]*https://orcid.org/0000-0002-7561-2517*
[4]*https://orcid.org/0009-0003-8466-4700*
Автор, ответственный за переписку: *Владислав Ярославович Гладченко, vgladchenko01@mail.ru*

Аннотация. На сегодняшний день сфера производства и обслуживания электротранспорта активно развивается как в столице нашей станы, так и в её регионах. Так, например, в еще 2022 году электробусы начали обслуживать на 4-х новых маршрутах Новую Москву. Маршруты связывают Троицк с ближайшими поселениями. Это произошло благодаря открытию электробусного парка. В регионах дела обстоят следующим образом. На улицы Ростова-на-Дону, начиная с 2024 года, вышли 20 электробусов, для которых поставили 6 станций. На данный момент в Ростове на маршрутах эксплуатируются электробусы КамАЗ-6282. Так же, например, в Оренбурге правительство города выделило часть бюджета на закупку электробусов и постройку зарядных станций, по планам до 2030 года. В работе проанализирована история появления электробусов и электромобилей в различных странах. Проведен также анализ структуры и пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов. Проведен эксперимент по оценке подачи огнетушащих веществ импульсным методом, который может обеспечить эффективное и безопасное тушение пожаров на различных объектах особенно в начальной стадии пожара, когда происходят работы по обесточиванию оборудования.

***Ключевые слова*:** Пожарная безопасность, тушение пожаров, электротранспорт, электробус, литий-ионные батареи, импульсное пожаротушение, установки пожаротушения

Для цитирования: Гладченко В.Я., Ольховский И.А., Иощенко Д.А., Гаплаев А.А-Б., Гладченко Я.С. Обеспечение безопасного проведения аварийно-спасательных работ и тушение пожаров электротранспорта установками пожаротушения.

Original article

Safe conduct of emergency rescue operations and fire extinguishing of electric vehicles

Vladislav Ya. Gladchenko[1]
Ivan A. Olkhovsky[2]
Dmitry A. Ioshchenko[3]
Aziz A-B. Gaplaev[4]
Yaroslav S. Gladchenko[5]
[1,2,3,4]*Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia*
[5]*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*
Corresponding author: *Vladislav Ya. Gladchenko, vgladchenko01@mail.ru*
[1]*https://orcid.org/0009-0005-2262-4177*
[2]*https://orcid.org/0000-0002-7561-2517*
[4]*https://orcid.org/0009-0003-8466-4700*

Annotation. Today, the field of production and maintenance of electric transport is actively developing both in the capital of our country and in its regions. Thus, for example, in 2022, the electric buses began to serve on 4 new routes of Novaya Moskva. The routes connect Troitsk with the nearest settlements. This was due to the opening of an electric park. The situation in the regions is as follows. Starting from 2024, 20 electric robots were installed on the streets of Rostov-on-Don, for which 6 stations were installed. At the moment in Rostov on routes are operated KamAZ-6282 electric buses. Similarly, in Orenburg, the city government has allocated a portion of the budget to purchase electrical equipment and build charging stations, as planned until 2030. The paper analyzes the history of the emergence of electric and electric vehicles in various countries. The structure and fire hazard of lithium-ion batteries was also analyzed. Conducted an experiment to evaluate the supply of extinguishing substances by impulse method that can provide effective and safe extinguishment of fires at various objects, especially in the initial stage of a fire, when work on equipment shutoff occurs.

Keywords: Fire safety, fire extinguishing, electric transport, electric bus, lithium-ion batteries, pulse fire extinguishing, fire suppression systems

For citation: Gladchenko V.Ya., Olkhovsky I.A., Ioshchenko D.A, Gaplaev A.A-B., Gladchenko Ya.S. Safe conduct of emergency rescue operations and fire extinguishing of electric vehicles.

Введение

Несмотря на то, что тема создания электрического общественного транспорта кажется современной, развитие данной отрасли началось еще в XX веке.

В Великобритании большое распространение в стране получили грузовые фургоны для доставки продуктов, городские электробусы, а также трехколесные электромобили универсального назначения, используемые для уборки улиц, обслуживания универсальных магазинов, банков и производственных предприятий. Поскольку электромобили используются в городе или пригородах, их невысокая максимальная скорость не вызывает особых неудобств.

Электромобили широко используются почтовыми ведомствами, санитарной службой, а также для коммунальных целей (перевозка муки, белья из прачечных и т. д.). Они обладают

хорошими пусковыми качествами в любое время года, приспособляемостью к прерывистому режиму движения. В период эксплуатации электромобилей неисправности двигателя практически не имели места. Техническое обслуживание электромобилей малотрудоемкое, износ их невелик.

Фирма Crompton, например, разработала городской автобус-электромобиль Р 190/110-МР 26, отличающийся высокой маневренностью. Пассажировместимость автобуса 26 человек. Аккумуляторная батарея напряжением 220В и емкостью 378А·ч обеспечивала непрерывное движение его в течение 5 ч.

В Германии проходили опытную эксплуатацию образцы городских автобусов с электроприводом («гибридным» и чисто аккумуляторным), разработанные фирмами Daimler Benz и MAN. В 1974 г. в г. Менхенгладбахе были введены в эксплуатацию первые семь электробусов типа MAN SL-E, созданных фирмами MAN, Bosch, Siemens, GES. Аккумуляторная батарея изготовлена фирмой Varta, а зарядная станция создана фирмами Voith, BBC и Hoesch. Размещение аккумуляторных батарей на одноосном прицепе не снижала пассажировместимости электробуса (98 пассажиров).

В США фирмой Torx-Link (штат Калифорния) был разработан автобус типа Electrobus-20 средней вместимости с приводом от аккумуляторной батареи. Такие автобусы были введены в регулярную эксплуатацию во многих городах страны.

Зарядку аккумуляторной батареи можно было осуществлять с помощью любого зарядного устройства, рассчитанного на переменный ток 100А при напряжении 240В или на переменный ток 50 А при напряжении 480В. Было разработано также автоматическое зарядное устройство. Когда электробус находится на длительной стоянке, например на конечной остановке маршрута, можно было использовать маломощное зарядное устройство.

Первые электромобили в СССР разрабатывались на Ульяновском автомобильном заводе (УАЗ). В 1974 году были построены и использовались в основном для перевозки продуктов. В 1978 году на электромобилях УАЗ-451МИ» (рис. 1) стали применять установку переменного тока и зарядное устройство, находящейся прямо на борту, что позволяло заряжать батареи от любой электросети.



Рис.1. Общий вид УАЗ-451МИ

Теоретическая часть

Эксплуатация в качестве общественного транспорта в больших городах электромобилей и электробусов способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду. Однако у таких транспортных средств есть серьёзный недостаток, который заключается повышенной пожарной опасности из-за возможных неисправностей аккумуляторов и электрооборудования [1,2].

В Табл.1. приведены показатели обстановки с пожарами на транспортных средствах за последние 7 лет [3-5].

Табл.1. Количество пожаров по виду общественного транспорта

Вид транспортного средства	Количество пожаров, ед.						
	2019	2020	2021	2022*	2023	2024	2025
Автобус	448	377	408	-	433	421	446
Трамвай	36	32	57	-	27	51	28
Троллейбус	12	19	17	-	20	18	20

* в официальных источниках информация отсутствует

Основной причиной возгорания электробуса является его аккумуляторная батарея, состоящая из множества литий-ионных элементов. Они объединены в сложную схему с последовательным и параллельным соединением. В каждом отдельном элементе

присутствуют катод и анод, которые изолированы друг от друга сепаратором – тонкой пористой мембраной из полимера.



Рис.2. Общий вид ячеек литий-ионных аккумуляторов

Батарейный отсек представляет собой потенциальный источник пожара из-за использования лития в качестве щелочного металла. При контакте с кислородом литий подвергается экзотермической реакции, сопровождающейся значительным выделением тепла и образованием оксида лития [6-8].

В современных электробусах различных производителей литий-ионные аккумуляторы расположены в различных местах, в зависимости от конструкции (Рис. 3).

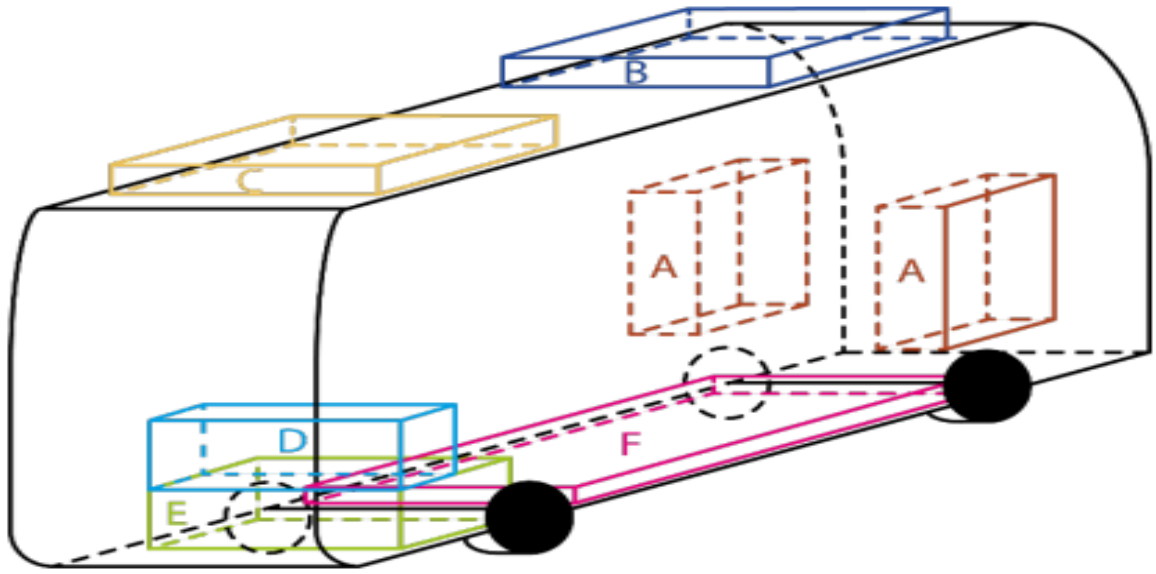


Рис.3. Варианты расположения батарей различных моделей электробусов

A+C+E - BYD K9, C - Volvo 7900, B - VDL Citea и Solaris Urbino, D+E - Optare Versa, F - Proterra Catalyst, B+C - КамАЗ-6282

При воздействии различных факторов структура литий-ионного аккумулятора может быть нарушена или повреждена, что может привести к пожару. Рассмотрим типы факторов, негативно воздействующих на аккумуляторные батареи.

Физический фактор. При различных ситуациях, где присуще механическое воздействие на батарею, может привести к следующим негативным последствиям:

1) контакт между электродами, инициирующий внутреннее короткое замыкание;

2) утечка горючего электролита, инициирующая процесс воспламенения.

Механические повреждения литий-ионных аккумуляторов, такие как прокол, могут вызвать внутреннее короткое замыкание. Это, в свою очередь, приводит к быстрому и интенсивному короткому замыканию батареи, сопровождающемуся значительным тепловыделением и последующим возгоранием.

Электрический фактор. Перезаряд возникает при подаче на аккумулятор напряжения, превышающего его номинальный предел. Основной причиной является неисправность системы управления батареей, которая не обеспечивает своевременное прекращение зарядного процесса. Это приводит к кумулятивному повышению внутреннего давления, что проявляется в макроскопической деформации корпуса и экструзии электролита. Процесс перезаряда сопровождается резким ростом интенсивности тепловыделения по сравнению с обычным циклом зарядки, что вызвано побочными экзотермическими реакциями и ростом внутреннего сопротивления. Кроме того, чрезмерное извлечение ионов лития из катодного материала провоцирует его структурное разрушение и выделение молекулярного кислорода. Этот кислород ускоряет разложение электролита, создавая предпосылки для термического разгона и возгорания.

Тепловой фактор. Данный Повышенная внешняя температура и перегрев могут спровоцировать данный фактор, вызывая стремительный рост температуры аккумуляторной батареи. Это, в свою очередь, ведет к деградации сепаратора (плавлению) и разложению электролитов, что порождает множество нежелательных побочных процессов. При умеренном нагреве (до 90 °C) кобальтит лития подвергается разложению с выделением кислорода, который провоцирует окисление электролита. Повышение температуры приводит цепной реакции соседних элементы аккумулятора. Скорость развития реакции теплового разгона составляет 22 секунды, а максимальная температура при горении может достигать до 1500°C. Существует риск повторного самовоспламенения через 22 часа после первоначального тушения. В связи с этим рекомендуется поместить батарею в водную емкость для изоляции на срок 24 часа [9,10].

Также основным источником пожарной опасности электробуса является сама силовая установка и высоковольтные кабели. При отсутствии или недостаточной защите высоковольтных кабелей от механического воздействия или вибраций, силовой установки от короткого замыкания приводит к нагреву и дальнейшему воспламенению окружающих элементов конструкции электробуса [9].

Воспламенение литий-ионного аккумулятора классифицируется как пожар, относящийся к группам А, В и С. Горение полимерного сепаратора относится к классу А. Горение жидкого органического электролита относится к класс В. Класс С обусловлена выделением горючих газов в процессе теплового разгона [12,16].

Рассмотрим генераторы огнетушащего аэрозоля (ГОА). Огнетушащий аэрозоль предназначен для тушения открытого пламени в замкнутых объёмах. В данном случае для осуществления подачи огнетушащего аэрозоля в литий-ионной аккумуляторной ячейке требуется герметичный объём и прямое действие ГОА непосредственно на источник пожара.



Рис.4. Общий вид генератора огнетушащего аэрозоля

При использовании в качестве огнетушащего вещества раствор пенообразователя возникает проблема: охлаждающий эффект пены достигается только при ее полном термическом разложении, что приводит непродолжительному времени защиты и разрушении.

На сегодняшний день вода остается главным и наиболее экономичным средством борьбы с возгораниями в аккумуляторных установках. Однако существенным минусом данного метода является его высокая ресурсоемкость. Например, согласно регламентам «Tesla», для ликвидации пожара в электромобиле необходимо направить на батарею не

менее 18 $м^3$ воды, после чего транспортное средство помещается под круглосуточный контроль на двое суток во избежание повторного воспламенения. В связи с этим в качестве альтернативы предлагается применять тонкораспыленную воду: ее мелкодисперсные частицы отличаются пониженной электропроводностью и высокой способностью к теплоотдаче [15].

При организации действий по тушению пожара электроавтомобилей существуют следующие виды опасностей:

– электрическая опасность представляет серьезную угрозу для личного состава подразделений. Она заключается в риске поражения электрическим током. Источником опасности являются высоковольтные провода и аккумуляторные батареи, напряжение в которых может варьироваться от 400 до 800 В.

– тепловая опасность при тушении пожара электробусов заключается в выделении мощных конвективных тепловых потоков с максимальной температурой до 1500°С. Это может привести к серьезным термическим ожогам среди личного состава подразделений пожарной охраны. Для обеспечения безопасности необходимо использовать боевую одежду пожарного (БОП) и действовать на расстоянии, где воздействие теплового потока будет минимальным.

– химическая опасность. При тушении пожаров в электробусах основную угрозу представляет утечка электролита из поврежденных аккумуляторных блоков. Контакт такого вещества с водой провоцирует экзотермическую реакцию, способную вызвать серьезные химические ожоги кожи при попадании состава на тело. Кроме того, горение батарей сопровождается выделением ядовитых паров, включающих оксиды меди, никеля и кобальта.

От тепловой и химической опасности пожарные подразделения имеют соответствующие средства и методы защиты. Вместе с тем высоковольтная аккумуляторная батарея, представляет угрозу поражения электрическим током, даже при условии её отключения от бортовой сети автомобиля, поскольку является неотъемлемой его частью. Это свидетельствует о необходимости определить безопасные условия и средства тушения пожаров электротранспорта.

Методы исследования

Для подтверждения предлагаемых решений и определения зависимости безопасного расстояния от напряжения и вида ОТВ была проведена серия экспериментов, которая подробно описана в работе [17].

Суть исследования заключалась в подаче ОТВ на мишень, выполненную из стальной сетки, которая была закреплена на изоляторах ИОС-110-400 на металлической основе.

Применение стальной сетки дало возможность эффективно решить вопрос удаления использованных огнетушащих веществ.

Для данных исследований применялась технология замедленной съемки. В процессе эксперимента происходила покадровая оценка временно-скоростных качеств струй ОТВ, также оценивались движения основной массовой части огнетушащей струи и остаточных явлений в виде мелкодисперсной фракции (Рис.5).

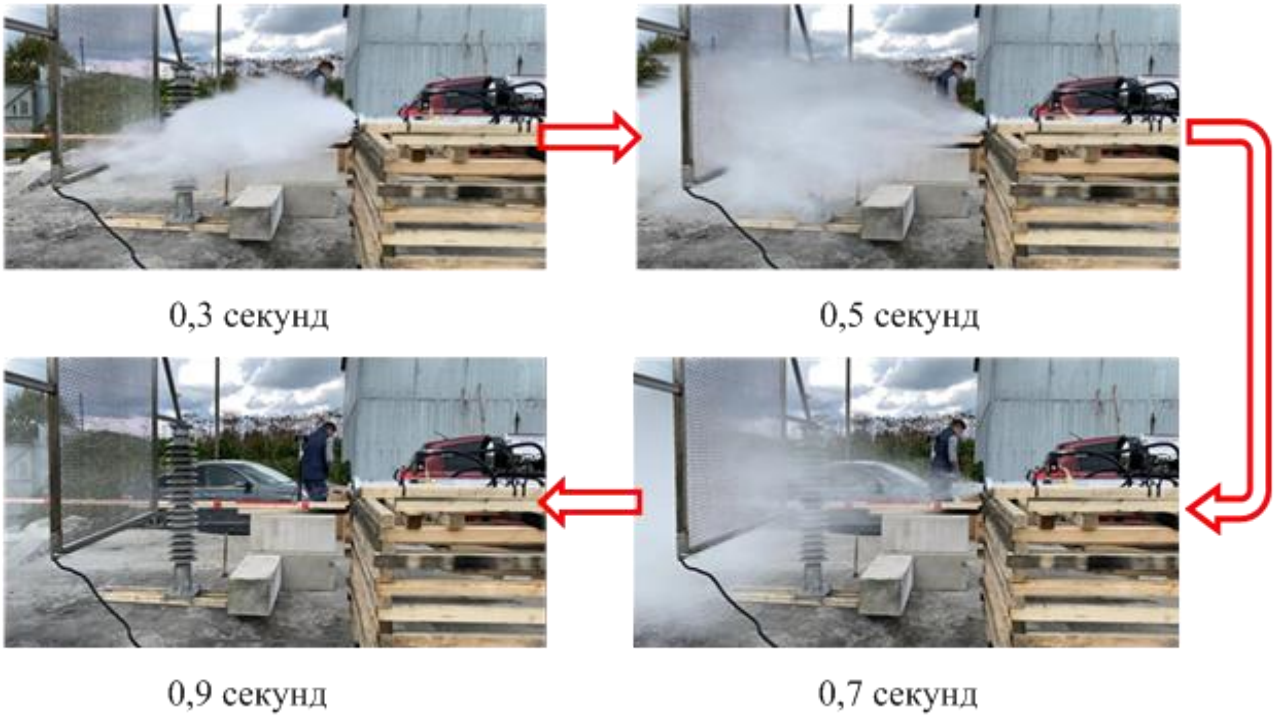


Рис.5. Дисперсность струи ОТВ в разный промежуток времени при испытаниях

В качестве источника высокого напряжения был использован аппарат для испытания диэлектриков «АИД-70М». Для исследования применялась установка импульсного пожаротушения, с высокоскоростной подачей огнетушащего IFEX 3001, технические характеристики которого представлены в Табл.2 [18, 19].

Табл.2. Технические характеристики насадки (ствола) IFEX 3001

Параметр	Показатель
Вместительность ОТВ, л	1
Мин./макс. объем вещества на выстрел, л	0,25/1,0
Максимальное расстояние выстрела, м	16
Ширина струи / расстояние, м	3,0/ 5,0
Время открытия / закрытия клапана, м/с (км/ч)	120 (432)
Средний размер капель, мк	от 2 до 200
Сила отдачи, кг	2,8

Представленная модель импульсных систем (установок) пожаротушения широко распространена во всем мире и активно применяются при тушении многих пожаров. Ввиду своих возможностей, импульсный метод пожаротушения может обеспечить эффективное и

безопасное тушение пожаров на различных объектах особенно в начальной стадии пожара, когда происходят работы по обесточиванию оборудования.

Условия эксперимента, расстояния до мишени и величины напряжений идентичны работе [21].

Затем с помощью мультиметра регистрировались и передавались на компьютер значения токов утечки, протекающих по струе ОТВ. На основе этих данных можно сделать вывод, что показатели токов утечки для растворов пенообразователя существенно превышают аналогичные величины для воды. Это объясняется тем, что электрический ток проходит через пузырьки воздушно-механической пены, что согласуется с результатами, полученными в исследовании [19].

В ходе экспериментов по измерению тока утечки были собраны эмпирические результаты, позволяющие вычислить такие статистические параметры, как математическое ожидание (X) и стандартное отклонение (σ), представленные в Табл.3 [20,21].

Табл.3. Экспериментальных данные

ОТВ	Концентр. (%)	Параметр	Показатель											
вода		X	0,18	0,329	0,56	0,03	0,06	0,162	0,03	0,04	0,06	0,03	0,03	0,04
		σ	1,3	1,5	1,3	1	0,9	1,7	1	1,2	1,8	1,1	0,8	0,9
		X_{max}	0,234	0,493	0,728	0,04	0,06	0,275	0,03	0,05	0,11	0,03	0,03	0,04
Пенообразователь WA (смачиватель)	1	X	0,438	0,797	1,355	0,09	0,15	0,383	0,08	0,09	0,15	0,07	0,08	0,11
		σ	1,4	1,6	1,3	0,8	1,2	1,1	0,8	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9
		X_{max}	0,613	1,276	1,762	0,074	0,184	0,421	0,064	0,116	0,163	0,063	0,071	0,094
	3	X	0,452	0,823	1,400	0,09	0,16	0,395	0,08	0,10	0,15	0,07	0,08	0,11
		σ	1,5	1,7	1,5	0,9	1,4	1,3	0,8	1,1	1	1	1	1
		X_m	0,679	1,400	2,100	0,09	0,22	0,514	0,07	0,11	0,15	0,07	0,08	0,11
	6	X	0,533	0,971	1,650	0,11	0,19	0,466	0,1	0,11	0,18	0,08	0,09	0,13
		σ	1,6	1,6	1,5	1,1	1,2	1,3	0,9	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3
		X_m	0,853	1,553	2,475	0,12	0,22	0,605	0,09	0,14	0,22	0,11	0,12	0,16
	10	X	1,948	3,545	6,026	0,41	0,68	1,701	0,36	0,43	0,66	0,31	0,35	0,46
		σ	1,6	1,7	1,7	1,2	1,3	1,2	1	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4
		X_m	3,116	6,026	10,24	0,49	0,88	2,041	0,36	0,56	0,86	0,43	0,46	0,65

Пенообразователь 6A3F тип AFFF	1	X	1,557	2,834	4,818	0,33	0,55	1,360	0,28	0,34	0,53	0,25	0,28	0,37
		σ	1,4	1,6	1,3	0,8	1,2	1,1	0,8	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9
		X_m	2,180	4,534	6,263	0,26	0,65	1,496	0,23	0,41	0,58	0,22	0,25	0,33
	3	X	3,867	7,037	11,96	0,81	1,35	3,377	0,71	0,85	1,31	0,62	0,7	0,92
		σ	1,5	1,7	1,5	0,9	1,4	1,3	0,8	1,1	1	1	1	1
		X_m	5,8	11,96	17,94	0,73	1,9	4,39	0,56	0,93	1,31	0,62	0,7	0,92
	6	X	6,429	11,7	19,89	1,35	2,25	5,614	1,17	1,41	2,18	1,03	1,16	1,53
		σ	1,6	1,6	1,5	1,1	1,2	1,3	0,9	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3
		X_m	10,29	18,72	29,83	1,48	2,71	7,298	1,05	1,7	2,61	1,33	1,39	1,99
	10	X	13,13	23,90	40,63	2,76	4,61	11,47	2,4	2,89	4,45	2,09	2,37	3,13
		σ	1,6	1,7	1,7	1,2	1,3	1,2	1	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4
		X_m	21,013	40,6	69,079	3,310	5,988	13,762	2,399	3,759	5,788	2,935	3,079	4,387

За критический показатель тока утечки в данной работе принят 0,5 мА, так как данный показатель применим для переносных огнетушителей, апробирован при проведении сертификационных испытаниях в Испытательной лабораторией сертификационных испытаний средств тушения пожаров Академии ГПС МЧС России и при практической деятельности.

Результаты исследования и их обсуждение

Как видно ток утечки при подачи воды превышает показатель 0,5 мА при напряжении на мишени равным 30 кВ и расстоянии от мишени 0,5 м. Далее были произведены серия испытаний с пенообразователями разных марок и разной концентрации. После проведения испытаний были сформированы графические зависимости, которые показывают, на сколько выше ток утечки через струю ОТВ, в которую входит пенообразователь чем через водную струю.

Можно сделать вывод, что зависимость тока утечки от расстояния до мишени и величины напряжения описывается степенной функцией, что можно оценить с помощью коэффициента детерминации R^2.

В Табл.4 представлены в степенные функции тока утечки от расстояния и напряжения.

Табл.4. Степенные функции в зависимости от вида ОТВ и напряжения на мишени

Вид ОТВ	Напряжение на мишени, кВ	Степенная функция
Вода	10	$I = 0{,}08 \cdot L^{-1{,}12}$; $R^2 = 0{,}87$
	20	$I = 0{,}11 \cdot L^{-1{,}49}$; $R^2 = 0{,}87$
	30	$I = 0{,}28 \cdot L^{-1{,}51}$; $R^2 = 0{,}97$
Пенообразователь WA	10	$I = 0{,}15 \cdot L^{-1{,}16}$; $R^2 = 0{,}81$
	20	$I = 0{,}32 \cdot L^{-1{,}49}$; $R^2 = 0{,}91$
	30	$I = 0{,}52 \cdot L^{-1{,}59}$; $R^2 = 0{,}99$

Пенообразователь AFFF	10	$I = 0{,}55 \cdot L^{-1{,}16}$; $R^2 = 0{,}81$
	20	$I = 1{,}12 \cdot L^{-1{,}49}$; $R^2 = 0{,}91$
	30	$I = 1{,}85 \cdot L^{-1{,}59}$; $R^2 = 0{,}99$

В связи с тем, что зависимость тока утечки от расстояния до мишени и приложенного к ней напряжения аппроксимируется степенной регрессионной моделью, то в Табл.5 показаны полученные коэффициенты регрессионного анализа для струи ОТВ [21].

Табл.5. Коэффициенты регрессионного анализа для струи ОТВ

Параметр	Показатель коэффициента		
	Вода	Пенообразователь WA	Пенообразователь AFFF
Z	0,23	0,6	2,1
α	-0,15	-0,4	-1,31
β	-0,01	0,02	0,07

В Табл.6 показаны степенные регрессионные зависимости, характеризующие ожидаемую регрессию и ее нижнюю и верхнюю доверительные границы.

Табл.6. Степенные регрессионные зависимости

Струя ОТВ	Вид регрессии
Вода	$I = \frac{0{,}23}{L^{0{,}15} \cdot U^{0.01}}$
Пенообразователь WA	$I = \frac{0{,}6 \cdot U^{0{,}02}}{L^{0{,}4}}$
Пенообразователь AAAF	$I = \frac{2.1 \cdot U^{0{,}07}}{L^{1{,}3}}$

Полученные зависимости тока утечки от струи УИП и от дистанции до мишени при напряжении 30 кВ показаны на Рис.6.

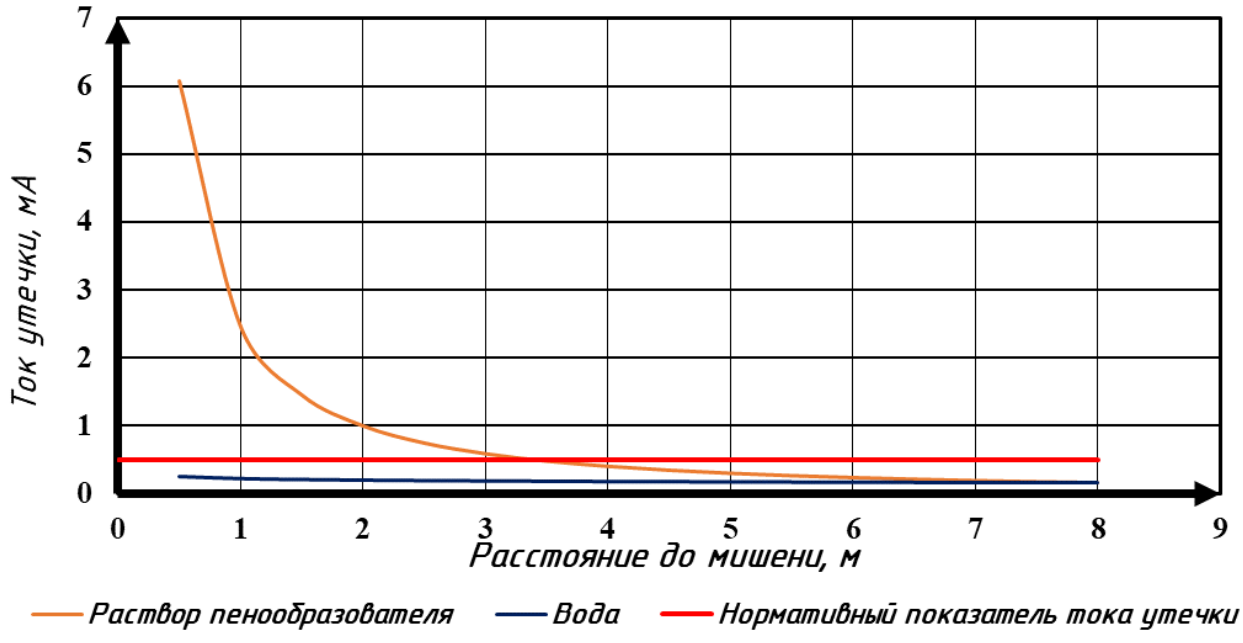


Рис.6. Зависимость тока утечки от расстояния до мишени

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что обработка экспериментальных данных дала возможность установить математические зависимости для воды и раствора пенообразователя. Это открывает возможность для количественной оценки тока утечки с учетом изменений расстояния и приложенного напряжения в электроустановке.

С учетом того, что синтетический фторсодержащий пленкообразующий пенообразователь типа AAAF обладает наивысшей пропускной способностью тока, то в дальнейшем для определения безопасного расстояния до электроустановки под напряжением при её тушении с помощью раствора пенооразователя и воды необходимо применять именно данную модель.

Заключение

На основании проведенной работы, можно сделать следующие выводы:

– при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ на электрическом транспорте предложена возможность применения УИП;

– полученные значения токов утечки возникающих при подаче ОТВ позволяют предусмотреть меры по обеспечению безопасности личного состава при тушении пожаров электробусов;

– расстояния, при которых ток утечки не превышает 0,5 мА, ощутимого для человека, составляют для воды 0,5 м, для раствора пенообразователя – 3,5 м. Исходя из этого безопасным вариантом подачи ОТВ является расстояние не менее 3-3,5 м. При необходимости использования пенообразователя требуется использовать синтетические пенообразователи, не содержащие фторированные поверхностно-активные вещества.

Учитывая проведенную выше работу, можно рекомендовать следующий алгоритм действий подразделений пожарной охраны при тушении пожаров электробусов:

– при следовании на место вызова РТП необходимо уточнить модель электробуса, произведена ли эвакуация пассажиров и наличие пострадавших;

– в ходе разведки отключено бортовое электрооборудование и тягового электропривода, а также о месте расположения аккумуляторных батарей. Следует помнить, что система высокого напряжения может оставаться под напряжением ещё 10 минут после выключения;

– подачу ОТВ осуществлять обесточивания (отключения) силовой установки. В случае, если это невозможно, необходимо заземлить пожарную технику и подавать ОТВ с безопасного расстояния импульсным способом;

– для тушения аккумуляторной батареи электробуса, а также для ее охлаждения, необходимо установить пожарный автомобиль на водоисточник, так как требуется большое количество ОТВ;

– при тушении пожара электробуса присутствует опасность возникновения химической реакции элементов литий-ионных аккумуляторов с водой, а также же возможность взрыва аккумуляторной батареи;

– после ликвидации пожара по возможности необходимо поместить аккумуляторную батарею на карантин в емкость с водой на 24 часа для исключения возможности повторного самовозгорания [2, 22].

Список источников

1. Кочеулов В. П., Федосенко В. Е. Использование электромобилей и электробусов на городском общественном транспорте больших городов. Москва: ГОСИНТИ, 1976. - 23 с.

2. Пивоваров Н.Ю., Зыков В.В., Гладких А.Н., Петухов А.Н. Особенности действий подразделений пожарной охраны при тушении пожаров автомобилей с электродвигателем. Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022; 2 (25);157-165.

3. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий:информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

4. Пожары и пожарная безопасность в 2023 г. Статистика пожаров и их последствий:информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. 112 с.

5. Пожары и пожарная безопасность в 2022 г. Статистика пожаров и их последствий:информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 112 с.

6. Гладченко В.Я., Ольховский И.А., Липатов А.Н. Перспектива применения гибридных пожарных автомобилей в России. Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С.61-65.

7. Мельник А. А., Елисеев Ю. Н., Мокряк А. В. Основные факторы, провоцирующие пожарную опасность литий-ионных аккумуляторов. Техносферная безопасность. 2021; 2 (31);113-116.

8. Roeland Bisschop, Francine Amon, Max Rosengren, Ola Willstrand. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles Technical Report. May 2019.

9. Мельник А.А., Охотников М.А., Клаптюк И.В. Анализ пожаров, связанных с возгоранием литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторных батарей. Проблемы управления рисками в техносфере. 2022; 3 (63); 39-47.

10. Колчин В.В., Мироньчев А.В., Долговидов А.В. Особенности пожаротушения тяговых литий-ионных аккумуляторов транспортных средств. Сборник Материалов II Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2021., стр.27-33.

11. Венжик А.В., Мнускина Ю.В., Мнускин Ю.В. Возгорание электромобиля: проблемы при тушении. Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021; 1(8); 77-80.

12. Плотников В.Г., Чешко И.Д., Кондратьев С.А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе // Сборник статей. Том Выпуск 4. Под редакцией С.В. Шарапова, И.Д. Чешко. Санкт-Петербург, 2014, стр.53-58.

13. Дидманидзе О. Н., Фетисов А. В., Строганов А. В. Срок службы аккумуляторных батарей электромобилей. Международный научный журнал. 2011; 2;118-120.

14. Охрименко И. В., Руденко Н. В., Филь М. М., Сычева М. А. Пути совершенствования систем заряда аккумуляторных батарей наземного автотранспорта. Молодой исследователь Дона. 2017; 3(6); 62-67.

15. Гарипов С.Г., Казаков А.В. Особенности конструкции электробуса КАМАЗ-6282 и условия его эксплуатации. Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2021;3(89); 51-57.

16. ZF Friedrichshafen AG Achs- und Getriebesysteme für Busse / Axle & Transmission Systems for Buses & Coaches, Deutschland / Germany.

17. Ольховский И.А., Иощенко Д.А., Гладченко В.Я., Меженов В.А., Орлов С.Д. Основные параметры струй ствольной техники, обеспечивающие огнетушащую эффективность подачи огнетушащих веществ // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2025. – № 1. – С. 48-57. – DOI 10.25257/FE.2025.1.48-57. – EDN BXSDGL.

18. Импульсные процессы пожаротушения. URL: https://ifex3000.ru/ (дата обращения 25.05.2026).

19. Аппарат испытания диэлектриков «АИД-70М». Руководство по эксплуатации 2 АМБ.169.001.РЭ. Москва.: ООО СКБ Медрентех, 2007. – 24 с.

20. Wissema J.G., Davies C.A. Canad. J Chem. Eng. V 47, № 6, 1969. – p 530 – 537.

21. Алешков, М. В. Определение рабочих параметров установок пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки, применяемых на объектах энергетики / М. В. Алешков, И. А. Гусев // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 10. – С. 69-76. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76. – EDN ZUFYCN.

22. Гладченко В.Я., Максимкин В.А. Примерный алгоритм действий пожарно-спасательных подразделений при проведении аварийно-спасательных работ при ДТП с участием электротранспорта // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий ДТП с электромобилями», (Российско-Сербский гуманитарный центр, 25 - 26 сентября 2024 года в г. Ниш, Республика Сербия), стр.176-179. EDN: IPGRGJ.

References

1. Kocheulov V. P., Fedosenko V. E. The use of electric vehicles and electric buses on urban public transport in large cities. Moscow: GOSINTI, 1976. - 23 p.

2. Pivovarov N.Yu., Zykov V.V., Gladkikh A.N., Petukhov A.N. Features of actions of fire protection units in extinguishing fires of cars with an electric motor. Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2022; 2 (25);157-165.

3. Pozhary i pozharnaia bezopasnost' v 2024 godu. Informatsionno-analiticheskii sbornik [Fires and Fire Safety in 2024: Information and Analytical Compendium]. Balashikha, All- Russian Research Institute of Fire Defense of EMERCOM of Russia Publ., 2025. 112 p. (in Russ.).

4. Pozhary i pozharnaia bezopasnost' v 2023 godu. Informatsionno-analiticheskii sbornik [Fires and Fire Safety in 2023: Information and Analytical Compendium]. Balashikha, All- Russian Research Institute of Fire Defense of EMERCOM of Russia Publ., 2024. 112 p. (in Russ.).

5. Pozhary i pozharnaia bezopasnost' v 2022 godu. Informatsionno-analiticheskii sbornik [Fires and Fire Safety in 2022: Information and Analytical Compendium]. Balashikha, All- Russian Research Institute of Fire Defense of EMERCOM of Russia Publ., 2023. 112 p. (in Russ.).

6. Gladchenko V.Ya., Olkhovsky I.A, Lipatov A.N. The prospect of using hybrid fire trucks in Russia Collection of materials XIII All-Russian scientific and practical conference "Reliability and durability of machines and mechanisms", 2022 pp.62-65.

7. Melnik A. A., Eliseev Yu. N., Mokryak A.V. The main factors provoking the fire hazard of lithium-ion batteries. Technosphere safety. 2021; 2 (31);113-116.

8. Roeland Bisschop, Francine Amon, Max Rosengren, Ola Willstrand. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles Technical Report. May 2019.

9. Melnik A.A., Okhotnikov M.A., Klaptyuk I.V. Analysis of fires associated with ignition of lithium-ion and lithium-polymer batteries. Problems of risk management in the technosphere. 2022; 3 (63); 39-47.

10. Kolchin V.V., Mironchev A.V., Dolgovidov A.V. Features of fire extinguishing traction lithium-ion batteries of vehicles. Collection of Materials of the II All-Russian scientific and practical conference. Ivanovo, 2021., pp.27-33.

11. Venzhik A.V., Mnuskina Yu.V., Mnuskin Yu.V. Ignition of an electric vehicle: problems during extinguishing. Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement. 2021; 1(8); 77-80.

12. Plotnikov V.G., Cheshko I.D., Kondratiev S.A. Fire hazard of lithium-ion batteries and low-voltage power supplies based on them // Collection of articles. Volume Issue 4. Edited by S.V. Sharapov, I.D. Cheshko. St. Petersburg, 2014, pp.53-58.

13. Didmanidze O. N., Fetisov A.V., Stroganov A.V. Battery life of electric vehicles. International Scientific Journal. 2011; 2;118-120.

14. Okhrimenko I. V., Rudenko N. V., Fil M. M., Sycheva M. A. Ways to improve battery charging systems for ground vehicles. A young researcher of the Don. 2017; 3(6); 62-67.

15. Garipov S.G., Kazakov A.V. Design features of the KAMAZ-6282 electric bus and its operating conditions. Socio-economic and technical systems: research, design, optimization. 2021;3(89); 51-57.

16. ZF Friedrichshafen AG Achs- und Getriebesysteme für Busse / Axle & Transmission Systems for Buses & Coaches, Deutschland / Germany.

17. Olkhovsky I.A., Ioshchenko D.A, Gladchenko V.Ya., Mezhenov V.A. Orlov S.D. The main parameters of the jet technology of the shaft, ensuring the fire-extinguishing efficiency // Fires and emergencies: prevention, elimination. - 2025. - №1. - pp. 48-57. - DOI 10.25257/FE.2025.1.48-57. - EDN BXSDGL.

18. Pulse fire extinguishing processes. URL: https://ifex3000.ru / (accessed 25.05.2026).

19. The device for testing dielectrics «AID-70M». Operation Manual 2 AMB.169.001.RE. Moscow.: SKB Medrentech LLC, 2007. – 24 p.

20. Wissema J.G., Davies C.A. Canad. J Chem. Eng. V 47, № 6, 1969. – p 530 – 537.

21. Aleshkov M.V., Gusev I.A. Determination of working parameters of the installations of fire extinguishing with opportunities of hydroabrasive cutting applied on power objects Pozharovzryvobezopasnost – Fire and Explosion Safety. 2017, no. 26(10), pp. 69-76 (in Russ.). – DOI 10.18322/PVB.2017.26.10.69-76. – EDN ZUFYCN.

22. Gladchenko V.Ya, Maksimkin V.A. Approximate algorithm of actions of fire and rescue units in emergency rescue operations in a traffic accident involving electric vehicle // Collection of materials Extinguishing fires and carrying out emergency rescue operations in response to accidents involving electric vehicles. pp. 176-179. – EDN: IPGRG.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.