

УДК 614.862

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.49.32.002

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРТИФИЦИРОВАННЫХ ПЕРЕНОСНЫХ ОГNETУШИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Куприн Д.С.¹; Поляков А.С.² д.т.н., профессор

¹ООО «НПО «СОПОТ»

²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Аннотация. Стремительный рост популярности и востребованности электрических транспортных средств по всему миру ведет к высокой актуальности обеспечения их пожарной и взрывобезопасности. В работе приведены результаты сравнительных огневых испытаний переносных огнетушителей по тушению литиевых аккумуляторов различными огнетушащими веществами (огнетушащий порошок, огнетушащий порошок специального назначения, быстротвердеющая кремнеземная пена).

Ключевые слова: литиевый аккумулятор, электротранспорт, пожар, огнетушащий порошок, быстротвердеющая пена.

APPLICATION EXPERIENCE OF CERTIFIED HANDLE FIRE-EXTINGUISHERS FOR THE LITHIUM ACCUMULATORS FIRE-EXTINGUISHING

Kuprin D.S.¹; Polyakov A.S.² Ph.D. of technical sciences, professor

¹LLC RPA "SOPOT"

²FSBEE HE Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Abstract. Impetuous popularity and demand growth of the electric transport means all over the world leads to the high actuality of the fire and explosion safety provision for them. Results of the comparison fire tests of the handle fire-extinguishers regarding to lithium accumulators extinguishing with different fire-extinguishing substances (fire-extinguishing powder, special fire-extinguishing powder, fast-hardening silica foam) are introduced in this work.

Key words: lithium accumulator, electric transport, fire, fire-extinguishing powder, fast-hardening foam.

Литиевые аккумуляторы известны достаточно давно и пользуются заслуженной популярностью у производителей бытовых и промышленных устройств. Они обладают рядом достоинств: обладают высокой энергетической плотностью, низким саморазрядом и т.д.

Эти достоинства вдохновляют производителей увеличивать энергоемкость аккумуляторов, одновременно уменьшая их габаритные размеры, что зачастую приводит к снижению безопасности [1-2].

В отечественных и зарубежных информационных источниках часто появляются сообщения о самовозгораниях и взрывах литиевых аккумуляторов, которые приводят к травмам,

возникновению пожаров и даже авиационным катастрофам. Расследуя случаи возгорания литиевых аккумуляторов, эксперты установили ряд причин, из-за которых происходят подобные ситуации.

Основная из них — это короткое замыкание между катодом и анодом. При достаточно небольшом нагреве (не более 90°C) материал катода начинает разлагаться с выделением кислорода, окисляющего электролит, которым пропитан пористый сепаратор. В состав электролитов могут входить такие вещества как винилкарбонат, этиленкарбонат, диэтилкарбонат и т.д. Ион-проводящий защитный слой на аноде начинает разлагаться. Встроенный в анод литий вступает в реакцию с электролитом, выделяя горючие газы: этан, метан, этилен, водород и т.д. Данная смесь является взрывоопасной. Процесс «перекидывается» на соседние ячейки аккумулятора, и таким образом возникает цепная реакция, которая протекает вплоть до полного выгорания батареи. Этот процесс называется термическим разгоном батареи. Возможен также ее взрыв. В случае, если температура достигнет 200°C, материал катода начнет разлагаться совместно с термическим разложением электролита. В наихудшем случае, температура внутри аккумулятора может достигнуть 660-900°C, когда в реакцию с электролитом вступает графит и плавится алюминиевый токоприемник. Причины, приводящие литиевый аккумулятор к короткому замыканию, могут быть разные: физическое повреждение, нагрев, износ и т.д. [3].

Горящий литиевый аккумулятор очень плохо поддается тушению традиционными огнетушащими веществами (*далее – ОТВ*), поскольку происходит не только выделение запасенной электрической энергии, но и ряд выделяющих энергию химических реакций, приводящих к росту температуры [4].

Тем не менее, благодаря перечисленным выше достоинствам литиевых аккумуляторов, наблюдается глобальный переход автоиндустрии с производства автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (*далее – ДВС*) на электромобили. Многие автопроизводители заявляют о постепенном полном переходе от автомобилей с ДВС к автомобилям на электротяге. Данная инициатива поддерживается правительствами практически всех развитых стран.

Также все большую популярность набирают так называемые средства индивидуальной мобильности, к которым относятся: электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, моноколеса и т.д. в которых также используется в качестве энергии электричество литиевых аккумуляторов. Компактные, удобные средства для передвижения с мощным электрическим двигателем все чаще встречаются в нашей повседневной жизни. И также все чаще в новостях упоминаются случаи пожаров средств индивидуальной мобильности, причиной которых является возгорание литиевых аккумуляторов [5].

В связи с вышеизложенным, поставлена цель экспериментального сравнения эффективности тушения пожаров литиевых аккумуляторов быстротвердеющей кремнеземной пеной [6-8] и огнетушащими порошками (как наиболее распространенными ОТВ в автомобильных огнетушителях). Ранее авторами было проведено экспериментальное сравнение эффективности огнетушителей с быстротвердеющей пеной и порошковых по тушению пожаров класса А [9-10]. В представленной работе рассмотрено горение литиевого аккумулятора в его сопоставлении с модельным очагом пожара класса В.

В качестве объекта тушения использовали литиевые аккумуляторы емкостью 1600 mAh (данное значение входит в диапазон наиболее распространенных аккумуляторов, в том числе в электромобилях) с напряжением 3,7В каждый (соответствует напряжению одной ячейки в стандартной литиевой аккумуляторной батарее). Указанная емкость соотносится с предполагаемой емкостью всей аккумуляторной батареи электромобиля приблизительно как 1:10000.

Номинальная энергия одного такого аккумулятора составляет около 22кДж (*рассчитано при помощи online-сервиса translatorscafe.com*), что сопоставимо с количеством выделяемой энергии при сгорании модельного очага пожара 1В по ГОСТ Р 51057-2001.

Методика ударного поджигания аккумуляторов

Главной причиной возгорания литиевых аккумуляторов электромобилей является их механическое повреждение вследствие дорожно-транспортных происшествий [11]. В связи с этим решено производить поджигание аккумуляторов путем удара по ним при помощи специального механизма. Схематически экспериментальный стенд для поджигания представлен на рис. 1.

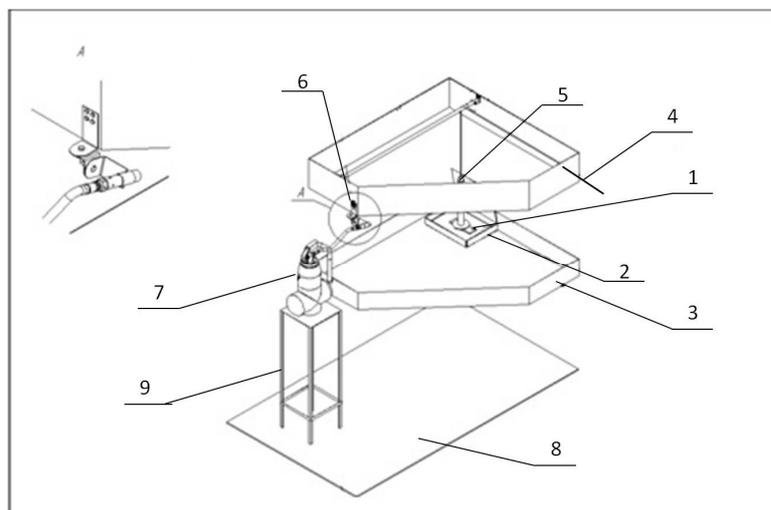


Рис. 1. Схема установки пробоя аккумуляторов: 1 - литиевые аккумуляторы; 2 - стальная ванна; 3 - стенд огневых испытаний; 4 - трос; 5 - ударный механизм; 6 - поворотный узел ствола огнетушителя; 7 - огнетушитель; 8 - пол; 9 - подставка под огнетушитель

Аккумуляторы (1) в количестве 2 единиц выкладывали друг на друга так, что удару подвергался только верхний аккумулятор. Таким образом, объектом пожара являлся один аккумулятор, а воспламенение или отсутствие воспламенения второго аккумулятора (то есть распространение пожара) в процессе огневого испытания служит косвенным признаком эффективности или неэффективности применяемого ОТВ.

Температуру поверхности горения измеряли пирометром (со встроенным видеоскопом DT – 9860, относительная погрешность измерения - 1,5%), время - секундомером механическим СОСпр-26-2-000 (предел погрешности измерения на интервале времени 60 мин при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ - 1,8с).

Для подачи огнетушащих веществ использовали 3 вида сертифицированных огнетушителей:

- 1) огнетушитель порошковый ОП-6(з)-АВСЕ [12] (как самый распространенный тип автомобильных огнетушителей);
- 2) огнетушитель порошковый специальный ОПС-5(з)-Д,У2 (Вексон ДЗ) - данное огнетушащее вещество рекомендуют применять для тушения металлорганических соединений, гидридов металлов [13-14]);
- 3) огнетушитель с быстротвердеющей пеной ОТПТ-6 [15-16].

Проведение испытаний:

После совершения удара начинается выделение смеси горючих газов из верхнего аккумулятора. Затем при их контакте с источником зажигания начинается горение, продолжающееся около 2 мин до полного выгорания аккумулятора при отсутствии воздействия на него ОТВ (рис. 2).



Рис. 2. Свободное горения верхнего аккумулятора

Свободное горение аккумулятора принято за 20с. За указанное время пламя охватывает полностью весь аккумулятор. По истечении данного времени приступают к тушению. Проводят по 4 испытания каждым огнетушителем (согласно ГОСТ 8.736-2011).

Результаты испытаний:

1. Тушение порошком из огнетушителя ОП-6(з)-АВСЕ

В каждом испытании подачу огнетушащего порошка осуществляли прерывисто порциями, поскольку в связи с его высокой летучестью существенно снижалась видимость. Кроме того, температура поверхности аккумулятора после подачи каждой порции огнетушащего порошка снижалась на некоторое время, но затем снова возрастала.

Во всех 4 испытаниях (через 2-2,5мин после повреждения верхнего аккумулятора) происходило возгорание нижнего аккумулятора, нагревавшегося от верхнего, что свидетельствует об отсутствии охлаждения и изолирования объекта пожара.

Снижение температуры является следствием подачи огнетушащего порошка, однако эффект носит лишь кратковременный характер, и температура затем снова быстро растет вследствие повторного воспламенения, что свидетельствует об отсутствии охлаждающего и изолирующего механизмов огнетушащего действия.

Следует отметить, что данный очаг пожара (непотушенный) сопоставим по энергии с минимальным по размерам модельным очагом пожара 1В по ГОСТ Р 51057-2001. При этом, в соответствии с указанным ГОСТ, порошковый огнетушитель с массой заряда бкг должен обеспечить тушение модельного очага пожара ранга не ниже 89В.

2. Тушение порошком Вексон ДЗ из огнетушителя специального ОПС-5(з)-Д,У2

Подачу огнетушащего порошка осуществляли также прерывисто порциями по указанной выше причине.

После окончания подачи каждой порции огнетушащего порошка температура поверхности объекта пожара быстро поднималась.

Пламенное горение было ликвидировано, однако из-под порошка по-прежнему выделялись продукты реакции лития с электролитом в виде горючих этана, метана, этилена, что подтвердило их возгорание в результате контакта с открытым пламенем.

Таким образом, объект пожара не может считаться полностью потушенным, так как не созданы условия, исключаяющие возможность его повторного воспламенения и горения.

3. Тушение быстротвердеющей кремнеземной пеной из огнетушителя ОПТТ-6

В процессе тушения быстротвердеющей пеной на горящих аккумуляторах создавался защитный пенный слой. После окончания тушения из-под пены выделялись лишь пары воды, о чем свидетельствовало отсутствие их реакции с открытым пламенем. Таким образом, объект

пожара был потушен. Во всех испытаниях нижний аккумулятор не был поврежден, то есть обеспечивалась безопасная окружающая обстановка.

Результаты сравнительных огневых испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сравнительных огневых испытаний

| Показатель | ОП-6(з)-ABCE | | | | | ОПС-5(з)-Д,У2 (Вексон ДЗ) | | | | | ОТПП-6 | | | | | |
|---|--------------|------|------|------|--------|---------------------------|------|------|------|--------|--------|-----|-----|-----|--------|-----------|
| | №1 | №2 | №3 | №4 | Средн. | №1 | №2 | №3 | №4 | Средн. | №1 | №2 | №3 | №4 | Средн. | |
| Время тушения, с | >120* | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | >120 | 11 | 16 | 19 | 15 | 15 |
| Количество израсходованного на тушение ОТВ, л | 4,8** | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 1,7 | 2,4 | 2,9 | 2,3 | 2,3 | |

**окончательного тушения достигнуто не было*

***объемы огнетушащих порошков в огнетушителях определены путем заполнения ими мерных емкостей и уплотнения порошков путем постукивания емкостей о твердую поверхность в течение 5 мин.*

Совмещенный график усредненных изменений (результатов 4 испытаний) температуры поверхности аккумулятора представлен на рис. 3.

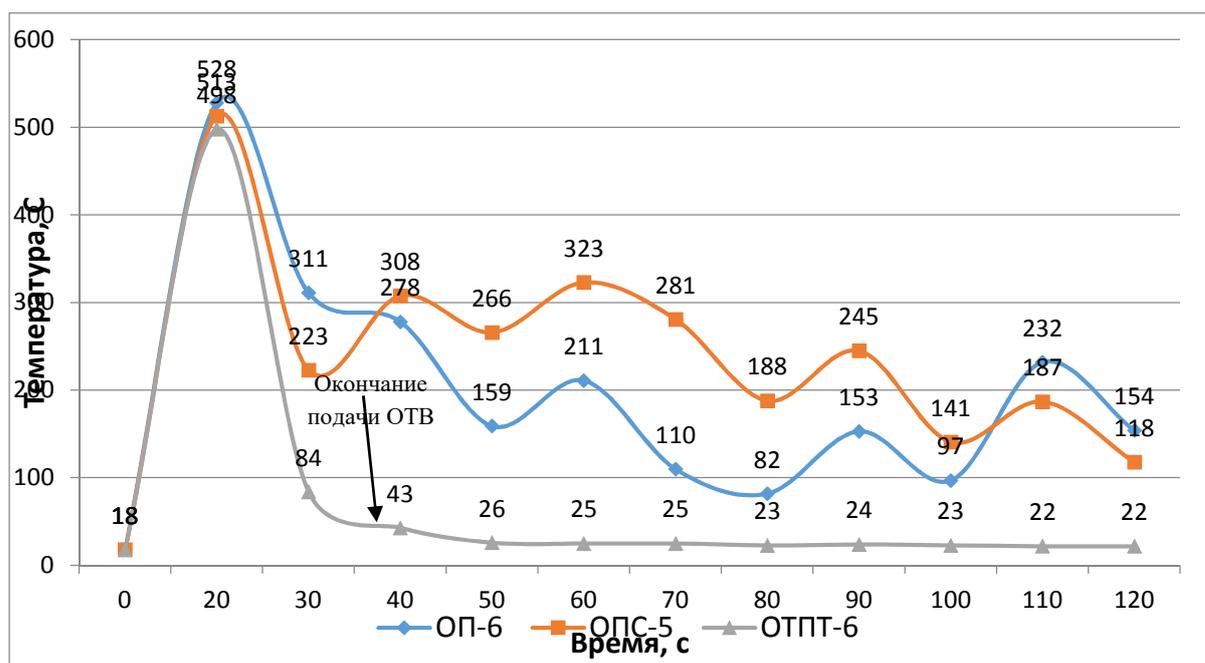


Рис. 3. Совмещенный график усредненных изменений температуры поверхности аккумулятора

Выводы:

1) Применение огнетушащих порошков общего назначения для тушения пожаров литиевых аккумуляторов крайне неэффективно, так как не обеспечивает тушение. Кроме этого, порошки, задымляя окружающую среду, существенно затрудняют процесс тушения. При подаче порошка температура поверхности аккумулятора снижается благодаря механическому сбиванию пламени, однако после этого происходит повторное воспламенение, и температура снова растет.

2) Применение для тушения специальных порошков типа Вексон ДЗ также не дает положительного результата. Данные порошки сбивают пламенное горение аккумуляторов,

но не обеспечивают изоляцию. В результате получается ситуация, идентичная применению обычных огнетушащих порошков.

3) Наиболее эффективным огнетушащим веществом для тушения литиевых аккумуляторов оказалась быстротвердеющая кремнеземная пена. Ее применение обеспечивает быструю ликвидацию пламенного горения аккумуляторов. При этом образовавшийся слой пены защищает от выхода в окружающую среду продуктов горения, а температура над слоем пены после окончания подачи ОТВ не превышает 43°C. Таким образом, применение быстротвердеющей пены резко уменьшают вероятность развития пожара и перехода горения от воспламенившегося аккумулятора на другие горючие материалы.

4) Испытанные серийные сертифицированные порошковые огнетушители оказались непригодными для тушения литиевых аккумуляторов, сопоставимых по энергии с модельным очагом пожара 1В, следовательно, необходимы более действенные мобильные средства пожаротушения.

5) Целесообразно продолжить исследование процесса тушения литиевых аккумуляторных батарей быстротвердеющей кремнеземной пеной путем моделирования работы стационарной автоматической системы пожаротушения, встроенной в конструкцию электромобиля. Конструкция и способ практического применения должны учитывать необходимость надежного изолирования аккумуляторной батареи огнетушащим веществом, не разрушающимся под действием высоких температур.

Литература

1. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. М: Изумруд, 2003.
2. И.А. Кедринский, В.Е. Дмитриенко, И.И. Грудянов. Литиевые источники тока. М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Габриэлян С. Г., Чибисов А. Л., Смирнова Т. М. Особенности горения и тушения металлов и гидридов металлов с применением огнетушащих порошковых составов.
4. В.П. Тарасов, В.В. Миклушевский. Способ преднамеренного приведения герметизированных литиевых аккумуляторов в потенциально пожаро-взрывоопасное состояние. Патент на изобретение № 2180148. Россия, 2002, Дата. Регист.31.01.2001. Номер заявки 2001102719/09 МПК: 7Н 01М 10/40 А, 7Н 01М 10/44 В
5. Ежелева Е.Е. Исследование пожаров, связанных с возгоранием литий-ионных аккумуляторных батарей на транспорте / Ежелева Е.Е., Елисеев Ю.Н. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2021. - №1. – С. 50-53.
6. Denis S. Kuprin. Physical-chemical explanation of fire-fighting efficiency of FHF (fast-hardening foam) based on structured silica particles. Journal of sol-gel science and technology Springer. 03 January 2017. 81 (1). P.36-41. DOI 10.1007/s10971-016-4285-8.
7. Абдурагимов, И.М. Быстротвердеющие пены – новая эра в борьбе с лесными пожарами / Абдурагимов, И.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. – М.: Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 7–13.
8. Патент на изобретение №2672945 «Способ взрывопожаропредотвращения и твердопенного тушения вспененным гелем кремнезема и устройство для его осуществления». Дата приоритета: 17.01.2018г.
9. Куприн Д.С., Поляков А.С. Об эффективности переносных огнетушителей при тушении твердых горючих материалов автомобилей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 32-39.
10. Куприн Д.С., Поляков А.С. О точности и достоверности сравнительной оценки эффективности переносных огнетушителей при пожаротушении конструкционных и отделочных материалов автомобилей // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т.30. №2. С. 88-97.

11. Горят ли электрокары и как часто? [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://el-book.ru/2019/10/18/goryat-li-elektrokary-i-kak-chasto-pozhar-elektromobilya/> (Дата обращения: 08.04.2021).
12. Руководство по эксплуатации. Паспорт. Огнетушители порошковые переносные закачные. ООО «МЕЛАНТИ», 2с.
13. ГОСТ Р 53280.5-2009 Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 5. Порошки огнетушащие специального назначения. Классификация, общие технические требования и методы испытаний.
14. ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров.
15. Руководство по эксплуатации. Паспорт №428.00.000РЭ. Огнетушитель воздушно-пенный ОВП-6(з)-А-ТПТ(СДКП)-01. ООО «НПО «СОПОТ», 18с.
16. Куприн Д.С. Патент на изобретение RU 2668749 С1 Огнетушитель для взрывопожаропредотвращения и твердопенного тушения / Г.Н. Куприн, Д.Г. Колыхалов // Официальный бюллетень Изобретения. Изобретения. – 2018. - №28.
17. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2002.
18. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.