

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023. Т. 32. № 2. С. 79–82
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023; 32(2):79-82

УДК 614.84

Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Часть 2

Александр Сергеевич Харламенков ✉

Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ существующих способов тушения литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) в системах накопления (хранения) электрической энергии (СНЭЭ). Представлены классификация, области применения и нормативные документы, регламентирующие выбор и проектирование СНЭЭ. Дано описание структуры и путей обеспечения пожарной безопасности СНЭЭ. Выполнено обобщение возможных технических решений с применением спринклерных и других систем по тушению и обнаружению пожаров в модулях хранения энергии. Рассмотрены рекомендации производителей огнетушащих веществ по тушению пожаров с участием ЛИА.

Ключевые слова: горение; взрыв; температура; огневые испытания; пожарная сигнализация; горючие материалы; электроприемники; номинальная энергия

Для цитирования: Харламенков А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 2. С. 79–82.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Modern methods of extinguishing lithium-ion accumulators. Part 2

Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

The analysis of existing methods of extinguishing lithium-ion accumulators (LIA) in electric energy storage (accumulation) systems (ESS) is provided. The classification, fields of application and normative documents regulating the selection and design of ESS are presented. The description of the structure and ways to ensure fire safety of ESS are provided. The possible technical solutions with the use of sprinkler and other systems for extinguishing and detecting fires in energy storage modules are summarized. The recommendations of extinguishing agent manufacturers on extinguishing fires involving LIA are considered.

Keywords: combustion; explosion; temperature; fire tests; fire alarms; combustible materials; electric receivers; rated energy

For citation: Kharlamenkov A.S. Modern methods of extinguishing lithium-ion accumulators. Part 2. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 32(2):79-82 (rus.).

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС

В рубрике «Вопрос–ответ» журнала № 1 за 2023 г. [1] был представлен анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) различного типа, возможные варианты тушения отдельных ячеек и аккумуляторных сборок. По результатам анализа было установлено, что выбор огнетушащего вещества (ОВ) во многом зависит от количества ячеек (емкости) аккумуляторной сборки, типа ЛИА,

а также условий их эксплуатации, места размещения, хранения и транспортировки.

В силу того, что в состав батарей входит не только литий (соли лития), но и другие горючие вещества, то горение ЛИА следует относить к пожарам класса А, В, С, Е. Поэтому в качестве ОВ при тушении ЛИА могут успешно применяться различные химические и сухие порошки, вода, водная дисперсия вермикулита (AVD), огнетушащие микрокапсулы, состав F-500, хладоны HFC-227, Novec 1230 и др. [1].

В то же время в нормативных документах^{1, 2} отсутствуют требования по тушению ЛИА. При этом горение металлического лития, относящегося к классу пожара D, часто приравнивают к горению ЛИА, что является некорректным. В ЛИА содержится 2–3 % металлического лития, что соответствует 8 г на 100 Вт·ч энергии (эквивалентное содержание лития — LEC). Для небольших аккумуляторных сборок с номинальной энергией до 6,2 кВт·ч суммарное содержание лития³ не превышает 500 г. В системах накопления (хранения) электрической энергии (СНЭЭ), а также в тяговых аккумуляторах электромобилей (EVB) масса лития может достигать нескольких килограммов. Следовательно, пожары на СНЭЭ и EVB будут характеризоваться более серьезными последствиями.

Какие способы тушения применяются при возгорании ЛИА в системах накопления (хранения) энергии?

ОТВЕТ

С каждым годом расширяется область применения СНЭЭ. Темпы роста особенно заметны в крупных городах развитых стран, где лидирующие позиции занимают США, Китай [2]. По прогнозам на 2030 г. более 50 % всех СНЭЭ будут размещаться на их рынках.

Ведется активная реализация различных проектов по внедрению данных систем на территории России. На основе стандартов МЭК разработана серия «Системы накопления энергии». В ГОСТ Р 58092.2.1–2020⁴ отмечается, что СНЭЭ разделяют на механические, электрохимические и электрические. Выбор того или иного типа СНЭЭ зависит от ее назначения и места установки, поэтому вводится дополнительная классификация систем (см. табл. 1).

Основными частями (подсистемами) СНЭЭ, используемыми в качестве накопителей энергии ЛИА, являются: подсистема контроля и управления; подсистема преобразования энергии; подсистема мониторинга и защиты ЛИА (BMS); система накопления и хранения энергии. Последняя подсистема представляет собой набор модулей с ЛИА различных типов, которые представляют наибольшую пожарную опасность. Реализуемые проек-

¹ СП 9.13130.2009. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации : введен в действие 01.05.2009. М. : МЧС России, 2009.

² Правила противопожарного режима в Российской Федерации (с Изменениями 21.05.2021) : утверждены постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 г. № 1479.

³ ГОСТ Р МЭК 62281–2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Первичные и вторичные литиевые элементы и батареи. Безопасность при транспортировании. Требования и методы испытаний : введен в действие 01.03.2021. М. : Стандартинформ, 2020.

⁴ ГОСТ Р 58092.2.1–2020 (МЭК 62933-2-1:2017). Национальный стандарт Российской Федерации. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Параметры установок и методы испытаний. Общее описание : введен в действие 01.11.2020. М. : Стандартинформ, 2020.

Таблица 1. Классификация СНЭЭ и типовые цели их применения

Класс	Характеристика класса	Цель применения
А	Обеспечивает поглощение или отдачу требуемой мощности в течение не продолжительного рабочего цикла (например, заряд и разряд СНЭЭ менее чем за 1 ч)	Регулирование частоты сети
		Компенсация колебаний мощности
		Регулирование напряжения в узлах
		Смягчение последствий снижения качества питания
В	Обеспечивает поглощение или отдачу требуемой мощности в течение длительного рабочего цикла (например, заряд и разряд СНЭЭ более чем за 1 ч)	Компенсация реактивной мощности
		Срезание или смещение пиков нагрузок
С	Обеспечивает отдачу электрической мощности переменного тока в энергосистему во время аварийного режима при отсутствии внешнего источника питания	Бесперебойное питание

ты СНЭЭ, использующие в качестве накопителей энергии ЛИА, составляют 67 % от общего числа [3]. На этапе проектирования и монтажа для СНЭЭ, согласно ГОСТ Р 58092.3.1–2020⁵, должны быть предусмотрены меры по обеспечению пожарной безопасности. К ним можно отнести применение негорючих строительных материалов, установку противопожарных систем, систем вентиляции, устройств обнаружения газов и др. При выделении газов и мелкодисперсных частиц из аккумуляторных батарей, с целью минимизации опасности, следует использовать специальное оборудование, обеспечивающее обнаружение утечки, включение вытяжной вентиляции, а также специальное противопожарное оборудование, способное обеспечить ликвидацию возгорания веществ, трудно поддающихся тушению.

Нужно понимать, что в реакции горения аккумуляторной сборки СНЭЭ на начальных этапах принимает участие только малая часть лития, которая ограничивается десятками грамм. Пожары с участием ЛИА больших аккумуля-

⁵ ГОСТ Р 58092.3.1–2020 (IEC TS 62933-3-1:2018). Национальный стандарт Российской Федерации. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Проектирование и оценка рабочих параметров. Общие требования : введен в действие 01.11.2020. М. : Стандартинформ, 2020.

торных сборок имеют затяжной характер. Выгорание одной ячейки (секции) запускает процесс воспламенения соседней с постепенным нарастанием доли лития, участвующего в горении. Поэтому раннее обнаружение неисправности или возгорания отдельной ячейки аккумуляторной сборки позволяет снизить последствия пожара и начать его своевременное тушение. Определение достаточного количества и типа ОВ является важной составляющей успешной ликвидации пожара с участием ЛИА.

Вода является наиболее дешевым средством тушения возгораний ЛИА на больших площадях, позволяет обеспечить охлаждение горячей и соседних ячеек аккумуляторной сборки, но имеет и определенные ограничения из-за хороших токопроводящих свойств. Поэтому применимы только при условии обеспечения электробезопасности персонала, что по ГОСТ Р 58092.5.1–2018⁶ относят к «электрическим опасностям». Для определения требуемой системы пожаротушения для обеспечения пожарной безопасности и противопожарной защиты людей и имущества данный стандарт указывает на необходимость проведения оценки риска пожара установок СНЭЭ (см. ГОСТ Р 58092.5.1–2018: раздел 6 и Приложение А).

Ведутся исследования⁷ по выбору параметров спринклерных систем пожаротушения при горении различных типов ЛИА, входящих в состав СНЭЭ. Так, результаты проведенных натурных огневых испытаний [4] аккумуляторных сборок с ячейками типа LFP (литий-железо-фосфатные) и LMO/LNO (литий-марганцево/никель-оксидные) позволили определить безопасные расстояния от модулей хранения энергии до горючих и негорючих материалов, а также установить время работы системы водяного пожаротушения и расположения спринклеров (см. табл. 2). Было установлено, что тип батарей LMO/LNO обладает большей пожарной опасностью. Для модулей СНЭЭ с аккумуляторами типа LMO/LNO спринклерная система должна обеспечивать тушение на всей площади помещения, причем для горящего блока следует обеспечить проливку на 45 мин дольше, по сравнению с соседними блоками. Для модулей СНЭЭ с аккумуляторами типа LFP система тушения должна обеспечивать непрерывную подачу воды с помощью спринклеров в течение 90 мин на площади не менее 230 м².

Помимо спринклерных систем пожаротушения для модулей накопления (хранения) энергии могут применяться локальные системы подачи различных огнетушащих веществ (азот, диоксид углерода, аргон) через вентиляци-

Таблица 2. Минимальные расстояния между негорючими/горючими материалами и модулем хранения энергии

Тип ЛИА	Номинальная энергия ЛИА, кВт·ч	Минимальные расстояния, м	
		Негорючие материалы	Горючие материалы
При наличии спринклерной системы пожаротушения			
LFP	31	–	–
	83	0,9	1,5
LNO/ LMO	47	–	–
	125	1,8	2,7
При отсутствии спринклерной системы пожаротушения			
LFP	31	Менее 0,9	1,2
	83	1,2	1,8
LNO/ LMO	47	1,2	1,8
	125	2,4	4,0

онные отверстия модулей, совмещенные с аспирационными дымовыми пожарными извещателями [5, 6].

В другом исследовании⁸ по горению стеллажей с картонными и пластиковыми упаковками ЛИА типа LCO (литий-кобальтовые) и NMC (литий-никель-марганец-кобальт-оксидные) различных размеров было об-

⁸ Li-ion Batteries Hazard and Use Assessment Phase III: Sprinkler Protection Criteria for Lithium Ion Batteries Stored in Cartons. Final Report // Fire Protection Research Foundation. 2016. 54 p. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/RFLithiumIonBatteriesPhaseIII.ashx>

Таблица 3. Рекомендуемые объемы огнетушителей с AVD

Объем огнетушителя, л	Номинальная энергия ЛИА, Втч	Тип электроприемника (оборудования, помещения)
0,5	До 60	Телефоны, планшеты
1	60–100	Ноутбуки и т.п.
2	100–250	Электроинструмент
6	250–500	Склады с отходами переработки лития
9	500–750	Средства индивидуальной мобильности с электрическим приводом
25	Более 750	Электромобили
50		Зарядные станции бесперебойных систем резервного питания и модули СНЭЭ
100		Склады хранения ЛИА

⁶ ГОСТ Р 58092.5.1–2018 (IEC/TS 62933-5-1:2017). Национальный стандарт Российской Федерации. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Безопасность систем, работающих в составе сети. Общие требования : введен в действие 01.03.2019. М. : Стандартинформ, 2018.

⁷ Sprinkler Protection Guidance for Lithium-Ion Based Energy Storage Systems. Final Report // Fire Protection Research Foundation. 2019. 30 p. URL: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Suppression>

наружено, что горение самой упаковки (особенно пластиковой) оказывает значительный вклад в тепловыделение на начальных этапах (в течение первых 5 мин), а дальше в процесс «подключаются» сами ЛИА. Поэтому сработка спринклерной системы на начальной стадии пожара может полностью исключить участие в нем ЛИА. Результаты данного исследования также можно использовать для реализации эффективного тушения модулей СНЭЭ.

По причине отсутствия требований норм фирмы проводят самостоятельные исследования, на основании которых выпускают рекомендации по применению своих ОВ. Например, производитель AVD рекомендует [7] для различных вариантов аккумуляторных сборок огнетушители с объемами, представленными в табл. 3

Применение иных способов тушения пожаров с участием ЛИА в СНЭЭ требует дальнейших исследований и продолжается по сей день.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Харламенков А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Часть 1 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 1. С. 89–96. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/1199>
2. Новикова А. Накопители энергии: технологии и тренды // Рынок электротехники. 2022. № 4. С. 6–25. URL: ites/default/files/RE_68_04_2022_web.pdf
3. Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Коротков И.Ю., Нестеренко Г.Б., Пранкевич Г.А. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт // Энергетическая политика. 2020. № 6 (148). С. 76–87. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_6148_76
4. Ditch B., Zeng D. Fire hazard of lithium-ion battery energy storage systems: 1. Module to rack-scale fire tests // Fire Technology. 2020. DOI: 10.1007/s10694-020-01041-6
5. Brandt S., Stephanie, Hülsen G., Schreiner M., Duric A., Zimmermann M. Fire detection tests to develop a fire protection concept for stationary lithium ion battery energy storage systems // AUBE'21/SUPDET 2021 : 17th International Conference on Automatic Fire Detection & Suppression. 2021. 10 p. URL: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Resources/Research-Foundation/Symposia/2021-SUPDET/Papers/Det-20-Brandt.ashx>
6. Conzen J., Lakshmipathy S., Kapahi A., Kraft S., Didomizio M. Lithium ion battery energy storage systems (BESS) hazards // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2022. Vol. 18. P. 104932. DOI: 10.1016/j.jlp.2022.104932
7. Wang H., Sun Q., Guo J., Xie S., He Y., Chen X. The efficiency of aqueous vermiculite dispersion fire extinguishing agent on suppressing three typical power batteries // Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage. 2021. Vol. 18. Issue 2. P. 020901. DOI: 10.1115/1.4048368

Материал поступил в редакцию 28.03.2023

Received Marth 28, 2023

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Deputy Head of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru