

УДК 614.841.2.001.2

АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Ю.Н. Елисеев, кандидат технических наук;

А.В. Мокряк.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Как один из наиболее перспективных новых источников энергии, литий-ионный аккумулятор и связанные с ним проблемы пожарной безопасности вызвали большой исследовательский интерес. Литий-ионные аккумуляторные батареи содержат опасные материалы, такие как легковоспламеняющиеся растворители, которые могут привести к экзотермической реакции и, как следствие, повышению температуры выше предельно допустимой. Несмотря на защиту с помощью механизмов безопасности батарей, пожары являются относительно частым явлением. В данной статье рассматриваются случаи возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей и их причины.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторы, исследование, пожар, пожароопасность, тепловой разгон, короткое замыкание

FIRE HAZARD ANALYSIS OF LITHIUM-ION BATTERIES

Yu.N. Eliseev; A.V. Mokryak.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

As one of the most promising new energy sources, the lithium-ion battery and related fire safety issues have generated a great deal of research interest. Lithium-ion batteries contain dangerous materials, such as flammable solvents, which can lead to an exothermic reaction and, as a result, hang temperatures above the maximum permissible temperature. Despite being protected by battery safety mechanisms, fires are relatively common. This article discusses the cases of ignition of lithium-ion batteries and their causes.

Keywords: Li-ion batteries, research, fire, fire hazard, thermal acceleration, short circuit

Аккумулятор представляет собой электрохимическое устройство, которое хранит энергию и выпускает ее в виде электричества. Литий-ионные аккумуляторы по праву можно назвать самыми распространенными в жизни человека в XXI в. Благодаря таким преимуществам, как длительный срок службы, габариты и вес, быстрая перезарядка, литий-ионные аккумуляторы можно встретить в портативных электронных устройствах – телефоны, ноутбуки, камеры и т.д. Также они встречаются в промышленных сферах – например, источники бесперебойного питания, охранные системы, силовые агрегаты, уличное освещение, медицинское оборудование. Литий-ионные аккумуляторные батареи могут обеспечить энергией электрические транспортные средства, благодаря высокой энергетической емкости [1, 2].

Однако литий-ионные аккумуляторы имеют недостаток – электролит может самонагреться и батарея может перейти в тепловой разгон, то есть батарея воспламеняется, это приводит к быстрому повышению давления и температуры в ячейке. Тепловой разгон может произойти, когда батарея выходит из стабильного рабочего состояния в результате, например, короткого замыкания, перегрева, перезарядки или механического повреждения. В результате происходит выделение легковоспламеняющихся и токсичных газов. Утечка газа из литий-ионной аккумуляторной батареи является серьезной проблемой, поскольку выделяемые летучие органические вещества являются легковоспламеняющимися, а их выброс представляет собой угрозу, которая может вызвать взрыв и пожар [3, 4].

Электролит в батарейке, как правило, выполнен из растворов солей лития. Так при первой зарядке на заводе-изготовителе, в процессе интеграции лития в анод на электродах (в основном на аноде), образуется защитный ионопроводящий слой, образованный из разложившегося электролита. Сформированный барьер защищает электроды от недопустимых реакций с электролитом. При нормальном использовании температура батареи ниже 40 °С. Короткое замыкание в элементе запускает процесс нагрева аккумулятора и, когда температура достигает 70–90 °С, ионопроводящий защитный барьер начинает разрушаться на аноде. После этого литий, интегрированный в анод, запускает реакцию с электролитом, в результате этого процесса происходит выделение летучих газов: этана, метана, этилена и т.п. Кроме того, типичные компоненты батареи, например пластиковая упаковка, сепаратор и электролит, являются горючими. Таким образом, пожары, могут происходить в самых разных устройствах – от мобильных телефонов до самолетов [5].

В таблице перечислены несколько случаев взрывов и возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей за последние годы, которые можно разделить на три основных типа: мобильный телефон, электромобили и самолеты.

Таблица. Отдельные случаи взрывов и возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей в последние годы

Устройства	№	Дата	Страна	Случай
Мобильные телефоны	1	24.08.2016	Корея	Взрыв и возгорание аккумулятора Note 7
	2	18.09.2016	Китай	Аккумулятор Note 7 взорвался и загорелся во время зарядки
	3	10.10.2016	Китай	Аккумулятор iPhone 7 взорвался, и пользователь получил ранения
	4	14.10.2016	Китай	Huawei P9 взорвался и загорелся во время зарядки
	5	10.17.2016	Австралия	В результате самовозгорания iPhone 7 произошло возгорание автомобиля
	6	09.01.2018	Швейцария	При замене взорвался аккумулятор iPhone в руках продавца в розничном магазине. Один человек получил ранения, семь человек были доставлены в больницу с отравлением
	7	10.01.2018	Испания	В процессе ремонта батарея мобильного телефона iPhone взорвалась, произошло возгорание
	8	29.12.2018	Америка	iPhone XS Max загорелся в кармане владельца
Электромобили	1	01.01.2016	Норвегия	Электромобиль Tesla Model S загорелась во время зарядки
	2	14.05.2016	Китай	Электробус загорелся из-за короткого замыкания аккумуляторной батареи
	3	07.09.2016	Нидерланды	Электромобиль Tesla Model S врезался в дерево, из-за чего загорелся аккумулятор, в результате чего водитель погиб
	4	15.01.2016	Китай	Самовозгорание электробуса во время движения
	5	19.02.2017	Китай	Электромобиль Tesla Model X загорелся после аварии
	6	01.05.2017	Китай	Самовозгорание электробуса во время зарядки
	7	24.03.2018	Америка	Электромобиль Tesla Model S загорелся во время стационарного режима
	8	21.05.2018	Китай	Самовозгорание электробуса во время движения

Устройства	№	Дата	Страна	Случай
Самолеты	1	03.09.2010	ОАЭ	Boeing 787 потерпел крушение из-за самовозгорания груза (81 000 литий-ионных аккумуляторных батарей)
	2	07.01.2013	Америка	Взрыв литий-ионной аккумуляторной батареи в отсеке электрооборудования в задней части самолета Boeing 787
	3	16.01.2013	Япония	Аккумуляторная батарея загорелась во время полета Boeing 787

Что касается случаев взрывов и возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей мобильных телефонов, то почти все производители сталкивались с такими инцидентами: Apple, Samsung и Huawei. Например, Samsung Note 7 был выпущен 3 августа 2016 г., а его первый взрыв был 24 августа 2016 г. В конце концов, количество взрывов вынудило Samsung отозвать все устройства Note 7 по всему миру 2 сентября 2016 г. Основная причина Note 7 была связана с неисправностью батареи, Samsung использовал чрезмерно тонкий сепаратор для увеличения плотности энергии батареи, что существенно увеличило вероятность короткого замыкания батареи [6].

Использование литий-ионных аккумуляторов в автомобильной промышленности предъявляет более высокие требования к аккумуляторам, поскольку они значительно больше и имеют более жесткие условия окружающей среды, например вибрацию, влажность, большие колебания температуры. Для электромобилей большинство случаев возгорания возникали в условиях сбоя зарядки, разрядки и самовозгорания, что впоследствии приводило к короткому замыканию батарей. Хотя частота взрывов и возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей электромобилей составляет примерно 1/10 000, что значительно ниже, чем у традиционных транспортных средств (7,6/10 000), эта проблема все еще значительно мешает разработке электромобилей.

Случаи взрыва и пожара на самолетах обычно происходили из-за отказа электронного оборудования пассажиров, когда загоралась батарея, наполнялась дымом кабина и приводила к катастрофическим последствиям. Эти аварии вынудили бюро гражданской авиации по всему миру принять жесткие меры в отношении портативной электроники. Исследования показали, что взрывы и пожары батарей в самолетах, как правило, были результатом неисправности батарей, вибрации самолета, изменения давления и температуры, которые впоследствии вызывали короткое замыкание батарей [7, 8].

Общедоступной статистики по причине и количеству возгораний литий-ионных аккумуляторных батарей на данный момент не ведется, возможно, такую статистику ведут сами производители. Как показали результаты анализа общедоступных случаев, основной причиной возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей является тепловой разгон в результате короткого замыкания и горючесть компонентов батареи, таких как электролит и сепаратор. Ведение такой статистики имело бы огромный интерес для пожарно-технического эксперта, который расследует причины пожара, связанные с возгоранием литий-ионных аккумуляторных батарей, так как там могли быть описаны условия окружающей среды (время года, температура), возраст аккумулятора, в какой момент произошло возгорание (в режиме зарядки, работы или покоя) и возможная причина.

Литература

- ГОСТ Р МЭК 61960–2007. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи литиевые для портативного применения. М.: Стандартинформ, 2008.
- CEI/IEC 61960, First edition 2003–12. International Electrotechnical Commission, 3. rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20.

3. Плотников В.Г., Чешко И.Д., Кондратьев С.А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе // Расследования пожаров. 2014. Вып. 4. С. 53–58.

4. Поведение литий-ионного аккумулятора емкостью 150 А·ч в экстремальных ситуациях / А.Н. Кожевников [и др.] // Электрохимическая энергетика. 2008. Т. 8. № 1. С. 46–50.

5. Румянцев А.М., Волжинская Е.Г., Жданов В.В. Поведение малогабаритных литий-ионных аккумуляторов в условиях перезаряда // Электрохимическая энергетика. 2007. Т. 7. № 2. С. 73–77.

6. Влияние эксплуатационных факторов на работу литий-ионного аккумулятора / М.А. Бураков [и др.] // Символ науки. 2019. № 7.

7. *Advances in Lithium-Ion Batteries* / Edited by W. A. Schalwijk van, B. Scrosati. N.Y.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.

8. Ohsaki T., Kishi T., Kuboki T., Takami N., Shimura N., Sato Y., Sekino M., Satoh A. // *J. Power Sources*. 2005. V. 146. P. 97.

References

1. GOST R MEK 61960–2007. Akkumulyatory i akkumulyatornye batarei, sodержashchie shchelochnoj i drugie nekislotnye elektrolity. Akkumulyatory i akkumulyatornye batarei litievye dlya portativnogo primeneniya. M.: Standartinform, 2008.

2. CEI/IEC 61960, First edition 2003–12. International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20.

3. Plotnikov V.G., Cheshko I.D., Kondrat'ev S.A. Pozharnaya opasnost' litij-ionnyh akkumulyatorov i nizkovol'tnyh istochnikov pitaniya na ih osnove // Rassledovaniya pozharov. 2014. Vyp. 4. S. 53–58.

4. Povedenie litij-ionnogo akkumulyatora emkost'yu 150 A·ch v ekstremal'nyh situatsiyah / A.N. Kozhevnikov [i dr.] // Elektrohimičeskaya energetika. 2008. T. 8. № 1. S. 46–50.

5. Rumyancev A.M., Volzhinskaya E.G. Zhdanov V.V. Povedenie malogabaritnyh litij-ionnyh akkumulyatorov v usloviyah perezaryada // Elektrohimičeskaya energetika. 2007. T. 7. № 2. S. 73–77.

6. Vliyanie ekspluatatsionnyh faktorov na rabotu litij-ionnogo akkumulyatora / M.A. Burakov [i dr.] // Simvol nauki. 2019. № 7.

7. *Advances in Lithium-Ion Batteries* / Edited by W. A. Schalwijk van, B. Scrosati. N.Y.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.

8. Ohsaki T., Kishi T., Kuboki T., Takami N., Shimura N., Sato Y., Sekino M., Satoh A. // *J. Power Sources*. 2005. V. 146. P. 97.