

УДК 614.841.2.001.2

melnik@igps.ru

**ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ПРОВОЦИРУЮЩИЕ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ  
ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ****MAIN FACTORS PRODUCING FIRE HAZARD  
IN LITHIUM-ION BATTERIES**

*Мельник А. А., кандидат технических наук, доцент,  
Елисеев Ю. Н., кандидат технических наук,  
Мокряк А. В.,  
Санкт-Петербургский университет  
ГПС МЧС России, Санкт-Петербург*

*Melnik A., Eliseev Yu., Mokryak A.,  
Saint-Petersburg university of State fire service  
of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg*

Такие экологические проблемы как глобальное потепление, выбросы парниковых газов и повышение уровня моря, вызванное широким использованием полезных ископаемых, привело к применению в качестве источника питания для электронных устройств литий-ионных аккумуляторов.

Литий-ионные аккумуляторы благодаря своей высокой плотности энергии, стабильной производительности, длительному сроку службы, низкому техническому обслуживанию, низкому саморазряду, быстрой зарядке и долговечности стали широко применяться. Особенно это становится актуально с экологической стороны при использовании литий-ионных аккумуляторов в области электромобилей, в которых потребляющие топливо двигатели заменяются электрическими, уменьшая зависимость от ископаемой энергии и в конечном итоге производя меньше вредных выбросов. Однако термическая стабильность литий-ионных аккумуляторных батарей относительно невелика, и их выход из строя может привести к пожару и, при определенных обстоятельствах даже к взрыву. В связи с применением литий-ионных аккумуляторов в портативных изделиях и электромобилях проблема их пожарной безопасности стала сегодня актуальной и значимой темой для исследований.

В настоящей статье приведен обзор факторов, провоцирующих пожарную опасность в литий-ионных аккумуляторных батареях.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, безопасность литий-ионного аккумулятора, тепловой разгон, поведение при пожаре, противопожарная защита.

Environmental concerns such as global warming, greenhouse gas emissions and sea level rise caused by the widespread use of minerals have led to the widespread use of lithium-ion batteries as a power source for electronic devices.

Lithium-ion batteries have become widely used due to their high energy density, stable performance, long service life, low maintenance, low self-discharge, fast charging and durability. This is especially important from the environmental side when using lithium-ion batteries in the field of electric vehicles, in which fuel-consuming engines are replaced by electric ones, reducing dependence on fossil energy and ultimately producing less harmful emissions. However, the thermal stability of lithium-ion batteries is relatively poor, and failure can lead to a fire and, under certain circumstances, even an explosion. Due to the widespread

use of lithium-ion batteries in portable products and electric vehicles, the problem of their fire safety has become an urgent and significant topic for research today.

This article provides an overview of the factors provoking a fire hazard in lithium-ion batteries.

*Keywords:* fire safety, lithium-ion battery safety, thermal acceleration, fire behavior, fire protection.

Литий-ионные аккумуляторы идеально подходят для портативных устройств благодаря своей легкости и высокой плотности энергии. Они изготавливаются в основном из электролита и активных материалов. Кроме того, литий-ионные аккумуляторы не обладают эффектом памяти и не используют ядовитые металлы, такие как свинец, ртуть или кадмий [1].

Как правило, литий-ионные аккумуляторы обладают стабильной структурой, в которой ионы лития переносятся между катодом и анодом во время зарядки/разрядки таким образом, что он может регулярно циклироваться значительное время. Из-за воздействия агрессивных факторов стабильная структура литий-ионного аккумулятора может быть повреждена, что провоцирует пожарную опасность. Эти факторы можно свести к нескольким основным типам: физические, электрические и тепловые факторы, а также производственный дефект и старение батареи [2].

#### *Физический фактор*

Деформация батареи, вызванная приложенной силой, является главной чертой физического фактора, где основными условиями являются столкновение (авария, удар) электронного (транспортного) средства и, как следствие повреждение батареи. Кроме того, объемное расширение электродных материалов и генерация напряжений внутри батареи также могут привести к физическому повреждению.

Многие происшествия, связанные с литий-ионными аккумуляторами, произошли после их деформации. Известно, что во время аварии с участием автомобиля одна батарея или батарейный блок могут деформироваться под действием внешней силы. Деформация батареи может привести к опасным последствиям [3, 4]:

1) электроды могут соприкоснуться, вызывая внутреннее короткое замыкание;

2) воспламеняющийся электролит протекает, что может привести к пожару.

Повреждение литий-ионного аккумулятора в результате воздействия острого предмета может привести к более серьезным последствиям из-за тяжести внутреннего короткого замыкания, по сравнению со столкновением или аварией. В этом случае быстро произойдет сильное короткое замыкание батареи, а затем может произойти сильное тепловыделение и, как следствие возгорание и даже взрыв.

#### *Электрический фактор*

Внешнее короткое замыкание, перезаряд и чрезмерный разряд являются основными чертами электрического фактора, где внешнее короткое замыкание батареи происходит после того, как электроды с разницей напряжений соединены проводниками. Это обычно происходит из-за деформации батареи, погружения в воду, старения проводника, неправильного использования и длительной зарядки и т. д. Во время внешнего короткого замыкания аккумулятор находится в состоянии быстрого разряда, и ток разряда может быть намного больше, чем в нормальном состоянии. После этого батарея подвергается сильному повышению температуры, что может привести к серьезным последствиям, таким как возгорание.

Когда напряжение разомкнутой цепи батареи заряжается выше допустимого напряжения, происходит перезаряд. Отказ системы управления батареей является обычной причиной перезаряда, так что зарядка батареи будет продолжаться непрерывно. В результате увеличивается внутреннее давление батареи, происходит деформация батареи и утечка электролитов, а также значительно снижается производительность батареи. Кроме того, в процессе перезаряда

также наблюдается сильное выделение тепла и газа. По сравнению с обычным процессом зарядки, поведение тепловыделения при перезаряде будет намного больше в результате побочных реакций внутри батареи и повышенного внутреннего сопротивления. Кроме того, чрезмерная потеря ионов лития на катоде при перезаряде приведет к структурному разрушению катода и последующему выделению кислорода. Выделяющийся кислород ускоряет разложение электролита, после чего образуются газы. Следовательно, пожарная опасность, связанная с перегруженной батареей, значительно повышается [5].

Аналогично, когда напряжение разомкнутой цепи батареи разряжается ниже допустимого напряжения, происходит чрезмерный разряд и отказ системы управления батареей. Чрезмерный разряд приводит к чрезмерной потере ионов лития на аноде, что разрушает стабильную структуру анода и вызывает необратимые повреждения. Между тем, такие газы, как СО и СО<sub>2</sub>, также могут генерироваться, что приводит к набуханию батареи. Кроме того, чрезмерный разряд приведет к растворению медного коллектора. Растворенная медь мигрирует и осаждается на поверхности анода, который повреждает сепаратор, вызывая короткое замыкание.

#### *Тепловой фактор*

Помимо перегрева, вызванного физическими или электрическими факторами, термический сбой также может быть вызван внешней высокой температурой и перегревом. Тепловой фактор приводит к резкому повышению температуры батареи, плавлению сепаратора, разложению электродов/электролитов и многочисленным побочным реакциям и т. д. Другими словами, тепловое воздействие является основной причиной теплового разгона батареи. Следует отметить, что как физические, так и электрические факторы, так же, в конечном счете, вызывают тепловой разгон. Это происходит, когда катод и анод контактируют друг с другом из-за выхода из строя сепаратора ба-

тареи. Как только внутреннее короткое замыкание срабатывает, электрохимическая энергия, хранящаяся внутри батареи, самопроизвольно высвобождается, генерируя большое количество тепла, что так же приводит к воспламенению [6].

#### *Производственный дефект и старение*

Помимо внешних факторов, внутренний дефект батареи из-за плохого изготовления, такой как некачественный сепаратор, загрязнение материала и неправильно расположенные компоненты, также может привести к выходу батареи из строя и пожароопасным условиям. Дефекты катодного материала снижают производительность батареи и повышают риск термической опасности. Кроме того, низкокачественный сепаратор снизит эффективность прохождения Li<sup>+</sup> через сепаратор и приведет к серьезному покрытию Li, которое в дальнейшем проникнет в сепаратор и вызовет внутреннее короткое замыкание. Неправильное расположение компонентов также вредно для работы батареи, ухудшает тепловыделение и, следовательно, снижает пожарную безопасность батареи [7, 8].

Наконец, из-за ухудшения качества, связанного со старением батареи, ее пожарная опасность соответственно возрастет. Старая батарея будет терять большое количество лития и активных веществ. По мере прогрессирования старения батареи степень покрытия Li будет постепенно увеличиваться и впоследствии образуется дендрит. Дендрит может проникнуть в сепаратор и образовать мостик между электродами, что вызовет микрозамыкание внутри батареи и в конечном итоге приведет к выходу батареи из строя. В то же время толщина слоя интерфейса твердого электролита будет постепенно увеличиваться по мере старения батареи, что приведет к увеличению сопротивления батареи, тепловыделению и, как следствие, увеличению пожарной опасности.

Данный обзор показал, что проблема, связанная с пожарной безопасностью литий-

ионных аккумуляторов по-прежнему является одной из основных, препятствующих крупномасштабному применению литий-ионных батарей во многих областях. С точки зрения безопасности и противопожарной защиты, высокая плотность энергии со-

здавала ряд новых проблем, связанных с конструированием батареи, содержащие литий-ионные элементы, но, даже не смотря на это, литий-ионная технология демонстрирует большие преимущества перед другими видами батарей [9, 10].

#### Литература

1. ГОСТ Р МЭК 61960–2007. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи, содержащие щелочной и другие неокислотные электролиты. Аккумуляторы и аккумуляторные батареи литиевые для портативного применения. М., 2008.
2. CEI/IEC 61960, First edition 2003–12. International Electrotechnical Commission, 3. rue de Varembe, 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. Кожевников А. Н. и др. Поведение литий-ионного аккумулятора емкостью 150 А·ч в экстремальных ситуациях // 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. Бураков М. А. и др. Влияние эксплуатационных факторов на работу литий-ионного аккумулятора // Символ науки. 2019. № 7.
7. W. A. Schalwijk van, B. Scrosati. N. Y. Advances / in Lithium-Ion Batteries / Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.
8. Ohsaki T. et al. J. Power Sources. 2005. V. 146. P. 97.
9. Скундин А. М., Ефимов О. Н., Ярмоленко О. В. Современное состояние и перспективы развития исследований литиевых аккумуляторов // Успехи химии. 2012. Т. 71. № 4. С. 378–398.
10. Скундин А. М. Литий-ионные аккумуляторы: современное состояние, проблемы и перспективы // Электрохимическая энергетика. 2011. Т. 1. С. 5–15.

#### 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., 2008.
2. CEI/IEC 61960, First edition 2003–12. International Electrotechnical Commission, 3. rue de Varembe, 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. Kozhevnikov A. N. et al. Povedenie litij-ionnogo akkumulyatora emkost'yu 150 A·ch v ekstremal'nyh situaciyah // Elektrohimicheskaya energetika. 2008. T. 8. № 1. P. 46–50.
5. Rumyancev A. M., Volzhinskaya E. G., ZHDanov V. V. Povedenie malogabaritnyh litij-ionnyh akkumulyatorov v usloviyah perezaryada // Elektrohimicheskaya energetika. 2007. T. 7. № 2. P. 73–77.
6. M. A. Burakov et al. Vliyanie ekspluatacionnyh faktorov na rabotu litij-ionnogo akkumulyatora // Simvol nauki. 2019. № 7.
7. W. A. Schalwijk van, B. Scrosati. N.Y. Advances / in Lithium-Ion Batteries / Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.
8. Ohsaki T. et al. J. Power Sources. 2005. V. 146. P. 97.
9. Skundin A. M., Efimov O. N., YArmolenko O. V. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya issledovaniy litievyyh akkumulyatorov // Uspekhi himii. 2012. T. 71. №4. P. 378–398.
10. Skundin A. M. Litij-ionnye akkumulyatory: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy // Elektrohimicheskaya energetika. 2011. T. 1. P. 5–15.