

Пожарная и промышленная безопасность. Безопасность в ЧС

Научная статья
УДК 614.841
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.27.29.022

Недостатки сборки и применяемых материалов аккумуляторных батарей, способствующие возникновению пожара, на примере возгорания груза в полуприцепе

Диана Николаевна Множина¹
Вадим Дмитриевич Синюк¹
Вероника Юрьевна Крисанова¹
Анатолий Александрович Шеков^{2,3}

¹Экспертно-криминалистический центр Министерства внутренних дел РФ, Москва, Россия

²Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, Россия

³Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

Автор ответственный за переписку: Шеков Анатолий Александрович, shek@inbox.ru

Аннотация. Актуальность данной статьи обусловлена высокой пожарной опасностью и распространенностью аккумуляторных батарей, которые используются в качестве источников тока для различных электротехнических устройств. Данные батареи содержат опасные материалы и вещества, которые могут привести к экзотермической реакции и, как следствие, к пожару и взрыву. Вопросы пожарной безопасности связаны с низким качеством применяемых аккумуляторных батарей. В статье описаны основные недостатки сборки и материалов аккумуляторных батарей, рассмотрен случай возгорания данных батарей и его причина.

Ключевые слова: пожар, пожарная безопасность, экспертное исследование, аккумуляторная батарея, короткое замыкание, источник тока, тепловой разгон, осмотр места происшествия, причина пожара, пожарно-техническая экспертиза

Для цитирования: Множина Д.Н., Синюк В.Д., Крисанова В.Ю., Шеков А.А. Недостатки сборки и применяемых материалов аккумуляторных батарей, способствующие возникновению пожара, на примере возгорания груза в полуприцепе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 1 (28). С. 181-189. [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.27.29.022](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.27.29.022).

Disadvantage of assembly and used materials of storage batteries that contribute to the occurrence of a fire on the example of a cargo fire in a semitrailer

*Diana N. Mnozhina*¹

*Vadim D. Siniuk*¹

*Veronika Yu. Krisanova*¹

Anatoly A. Shekov^{2,3}

¹Forensic Center of the Ministry of internal Affairs of Russia, Moscow, Russia

²East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, Russia

³Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

Corresponding author: Anatoly A. Shekov, shek@inbox.ru

Abstract: The relevance of this article is due to high fire hazard and prevalence of storage batteries, which are used as current sources for various electrical devices. These batteries contain dangerous materials and substances, which can lead to an exothermic reaction and, as a result, fire or explosion. The fire safety issues related to a low quality of used storage batteries. The article describes main disadvantage of assembly and materials of storage batteries, discusses the case of ignition of these batteries and his cause.

Keywords: fire, fire safety, expert research, storage battery, short circuit, current source, thermal runaway, inspection of the scene, cause of the fire, fire-technical expertise

For citation: Mnozhina D.N., Siniuk V.D., Krisanova V.Yu., Shekov A.A. Disadvantage of assembly and used materials of storage batteries that contribute to the occurrence of a fire on the example of a cargo fire in a semitrailer// Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023. 1(28) 181-189. (In Russ.). [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.27.29.022](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.27.29.022).

Современные автономные электротехнические приборы и устройства оснащаются аккумуляторными батареями (АКБ), как правило, литий-ионного типа. АКБ используются в качестве источников тока (ИТ), эксплуатация которых сопряжена с возникновением пожароопасных аварийных режимов работы и необратимых реакций с выделением значительного количества тепла. Наиболее пожароопасным процессом является тепловой разгон – неконтролируемое интенсивное увеличение температуры ИТ в результате появления и протекания экзотермических реакций, тепло от которых вызывает увеличение скорости этих реакций, вызывающее еще большее выделение тепла, что в итоге приводит к воспламенению и/или взрыву. Причинами разогрева ИТ до порога начала теплового разгона могут быть:

- а) нагрев ИТ (точечный или общий) от внешнего источника тепла;
- б) короткое замыкание, внешнее или внутреннее;
- в) перезаряд или переразряд ИТ, приводящий к образованию нестабильных соединений;
- г) превышение максимально допустимых токов нагрузки [1].

Наряду с особенностями эксплуатации и условий хранения АКБ, возникновению аварийных режимов работы и необратимых реакций с выделением значительного количества тепла способствует механическое повреждение АКБ (при ударах, падениях, воздействии колющих и режущих предметов) и попадание жидкости, вследствие нарушения герметичности, образования коррозии и деформации ИТ.

По этой причине применение материалов с плохими эксплуатационными характеристиками и низкое качество сборки АКБ, обусловленное минимизацией расходов при их производстве, существенно повышает пожарную опасность ИТ.

Возгорание АКБ может произойти при их непосредственной эксплуатации потребителем, их зарядки и хранения [2].

Анализ исследований АКБ свидетельствует о том, что основными недостатками сборки и применяемых материалов АКБ являются:

1. Использование материалов корпуса с низкими показателями износо-, ударо-, атмосферно- и теплостойкости, химической инертности (к растворителям, кислотам, щелочам), с плохими электрическими изоляционными и диэлектрическими свойствами.

Корпуса батарей выполнены из полимерных материалов, таких как АБС-пластик [3], поликарбонат и полипропилен [4], которые схожи внешне, но различны по своим свойствам и наличию модифицирующих добавок, в частности дешевый пластик без специальных добавок имеет низкую механическую прочность, что приводит к раскалыванию корпуса даже при однократном падении/ударе, а также образованию трещин по швам при эксплуатации, разрушению под воздействием ультрафиолета.

Добавление пластификаторов для модификации полимеров увеличивает их эластичность, пластическую деформацию, морозостойкость и др., однако обычно повышает и горючесть материала.

2. Отсутствие защиты от влаги и пыли корпуса батареи (наличие неплотности/щелей в соединениях корпуса, отсутствие запорного элемента на предохранительном клапане) и дополнительного покрытия (обычно из металлического сплава, никеля) на контактах питания для предотвращения образования коррозии.

3. Отсутствие технических отверстий для отвода газов (предохранительных клапанов, дренажных отверстий) в корпусах батареи и элементах питания, обеспечивающих сброс избыточного давления газов.

4. Отсутствие прочного крепления и фиксации деталей и элементов внутри батареи для предотвращения их деформации в процессе эксплуатации и механического воздействия. Применение для фиксации горючих (картонных, пенополиуретановых) прокладок и клеевых растворов, в том числе горючих (некоторые виды поливинилацетатных, полиуретановых клеев на основе растворителей).

5. Сборка АКБ из элементов питания различных по размеру, емкости, напряжению, химическому составу.

Использование отличающихся по применяемым материалам и размерам контактных соединений элементов питания.

6. Упрощенность схем либо отсутствие защитных устройств в системе управления АКБ (контроллеры, ограничители тока, термодатчики, предохранители и т.п.) для предотвращения токовой перегрузки, перезаряда, глубокого разряда, перегрева, переплюсовки, внутреннего и внешнего коротких замыканий.

7. Неправильно подобранное сечение контактных проводов (в особенности важно для сборных батарей с большим количеством элементов питания), использование изоляционных материалов низкого качества либо горючих; соединение проводов, не обеспечивающих надежный контакт, прочность и защиту от образования коррозии.

8. Дефекты в соединении элементов питания (при помощи точечной сварки или пайки контактных пластин, использования магнитов (из редкоземельного неодимового сплава), специальных держателей – холдеров), не обеспечивающих надежный и безопасный контакт, устойчивость к внешним воздействиям (ударным, температурным) и образованию коррозии.

А также использование более дешевых и менее эффективных материалов для соединения (например, лента из стали покрытой никелем стоит дешевле, чем никелевая, однако у неё имеется подверженность коррозии, особенно торцы ленты и места сварки).

9. Нарушение технологии производства элементов питания (неровная нарезка электродов, попадание металлических частиц между катодом и анодом, которые нарушают целостность слоя сепаратора и др.) [5], а также применение некондиционных элементов питания из забракованных партий для комплектации батарей вместо их утилизации.

10. Наличие незаявленных производителем деталей и веществ в элементах питания и корпусе батареи (песок, болты, металлические пластины, фрагменты пенопласта и т.п.) для

заполнения пустот в корпусе и утяжеления с целью создания иллюзии АКБ с указанными характеристиками.

11. Изменение конструкции – размещение элемента питания меньшего размера (с выводами) в корпус элемента питания большего размера).

Вышеуказанные недостатки АКБ или их совокупность могут способствовать возникновению аварийных режимов работы и необратимых реакций с выделением значительного количества тепла, впоследствии приводящим к пожару.

Для наглядности рассмотрим пример из экспертной практики, где объектами пожарно-технического исследования являлись АКБ.

Пожар произошел внутри полуприцепа во время его движения по автомагистрали. В полуприцепе находились сетчатые двухуровневые металлические контейнеры с различными товарами (АКБ, одежда, фены, зонты, книги, посуда и др.).

Пожар был обнаружен по открытому горению бортов и крыши полуприцепа (рис. 1).



Рис. 1. Горение полуприцепа (кадры из видеозаписи, снятой во время пожара)

После остановки тягача с полуприцепом через сквозные прогары тента наблюдалось горение перевозимого внутри полуприцепа груза, при этом задние двери были закрыты и опломбированы. Тягач от горящего полуприцепа был отцеплен, вследствие чего не пострадал от пожара.

При осмотре полуприцепа после ликвидации пожара (рис. 2-5) было установлено, что зона очага пожара находилась в контейнере № 3, расположенном в левой передней части полуприцепа, на что указывало:

- наличие значительных деформаций металлических конструкций (стенок, дверей, полки, дна) контейнера № 3;
- образование участков с высокотемпературной коррозией на металлических конструкциях контейнера № 3 и на расположенных в нём металлических изделиях перевозимого товара;
- практически полное выгорание перевозимых товаров, выполненных из горючих материалов, в контейнере № 3;
- наибольшая толщина угольного слоя и потеря сечения листов фанеры пола под местом расположения контейнера № 3;
- выгорание деревянных бортовых реек и тента, наличие сквозных прогаров на откидных металлических бортовых панелях и деформация поперечных металлических балок крыши преимущественно в левой передней части полуприцепа;
- наличие признаков направленности распространения горения на остальных контейнерах с товаром со стороны контейнера № 3.



Рис. 2. Левый борт полуприцепа



Рис. 3. Правый борт полуприцепа



Рис. 4. Контейнеры внутри полуприцепа



Рис. 5. Наиболее поврежденный контейнер № 3 (отмечен стрелкой) в левой передней части полуприцепа

В ходе осмотра места происшествия в контейнере № 3 (зоне очага пожара) были обнаружены 23 элемента питания (19 на полке, 4 на дне) и частично выгоревшая АКБ с 6 элементами питания (на дне), (рис. 6-11). Других потенциальных источников зажигания в зоне очага пожара не выявлено.

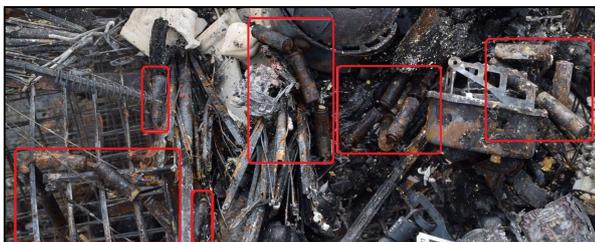


Рис. 6. Элементы питания на полке контейнера № 3, в северо-западной части



Рис. 7. Элемент питания на дне контейнера № 3, в юго-западной части



Рис. 8. Элементы питания на дне контейнера № 3, в юго-восточной части

Вид и размещение элементов питания (19 на полке, 4 на дне) свидетельствовали о разрушении корпусов АКБ и перемещении (разлете) элементов питания на различные расстояния, характерных для протекания аварийных режимов работы согласно [5, 6].



Рис. 9. Частично выгоревшая АКБ с 6 элементами питания на дне контейнера № 3 (вид с одной стороны), в северо-восточной части



Рис. 10. Частично выгоревшая АКБ с 6 элементами питания на дне контейнера № 3 (вид с другой стороны), в северо-восточной части



Рис. 11. Три соединенных элемента питания схожего размера (около 14,2x48 мм) и один большего размера (около 18x67 мм), обнаруженные на дне контейнера № 3

В результате исследования 23 элементов питания и частично выгоревшей АКБ с 6 элементами питания было установлено следующее:

– в частично выгоревшей АКБ 6 элементов питания цилиндрической формы размерами порядка 14,2x48 мм с плоскими плюсовыми контактами, имеются деформации корпусов и соединительных пластин. На сохранившихся фрагментах АКБ не обнаружено отверстия для отвода газов, платы управления, гибких шлейфов;

– 23 элемента питания цилиндрической формы с плоскими плюсовыми контактами, 20 элементов размерами порядка 14,2x48 мм и 3 элемента питания размерами порядка 18x67 мм, некоторые соединены при помощи металлических плоских пластин. Внешняя пленка (оболочка) отсутствует, имеются участки с образованием окалины, контактные пластины и элементы питания деформированы, имеются признаки нарушения целостности и протекания аварийных режимов работы в виде: вздутий, трещин, изменений поперечного сечения, неплотностей в местах соединений крышек с корпусами и наличия хода при механическом воздействии, неплотного местонахождения пластин с электродами внутри корпусов (наличие хода при перемещении из стороны в сторону), наличия внутри корпусов элементов питания деформаций пластин с электродами, агломератов из кристаллов и неравномерного распределения электродов по пластинам, отсутствия внутри корпусов электролита в состоянии жидкости (вытек) или влажной пасты (высох и затвердел).

Также на одном фрагменте контактной пластины, соединенном с плюсовым контактом элемента питания размерами порядка 14,2x48 мм, имеются повреждения, характерные для прожога пластины под действием электродугового разряда в результате короткого замыкания, на что указывает: уменьшение поперечного сечения, наличие незавершенной фрагментации, сквозных выгораний неправильной формы с оплавленными краями, локальных каплевидных наплывов металла, округлых углублений и прогораний с оплавленными краями (рис. 12, 13).

В соответствии с [7–10] выявленная совокупность признаков позволила сделать вывод, что причиной возникновения пожара в полуприцепе послужило загорание горючих материалов, находящихся в зоне очага пожара, от теплового проявления электрического тока в результате протекания аварийных режимов работы в АКБ, перевозимых в полуприцепе.



Рис. 12. Фрагмент контактной пластины с прожогом

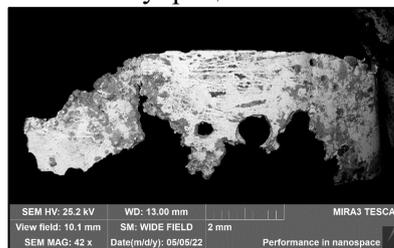


Рис. 13. Фрагмент контактной пластины с прожогом (снято при помощи электронного сканирующего микроскопа Tescan Mira 3 LMH)

Возможными причинами возникновения аварийных режимов в АКБ являлись:

– сборка из элементов питания разного размера (в данном случае 14,2x48 мм и 18x67 мм);

– низкое качество элементов питания (ввиду наличия неплотностей и хода в местах соединений крышек с корпусами, хода пластин с электродами внутри элементов, агломератов из кристаллов и неравномерного распределения электродов по пластинам);

– механические повреждения в процессе загрузки АКБ в полуприцеп, а также при колебании/тряски внутри контейнера во время движения тягача с полуприцепом.

Также признаки аварийных режимов работы выявлены на контактной пластине, соединяющей элементы питания (рис. 12, 13), что могло быть обусловлено применением материалов с худшими физико-химическими характеристиками (например, лента из сплава на основе железа, покрытая никелем, стоит дешевле, чем никелевая, однако у неё имеется подверженность коррозии, особенно торцы ленты и места сварки (пайки)).

Для установления элементного состава фрагмента контактной пластины с прожогом было проведено исследование методом сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом при помощи электронного сканирующего микроскопа Tescan Mira 3 LMN (рис. 14) [8].

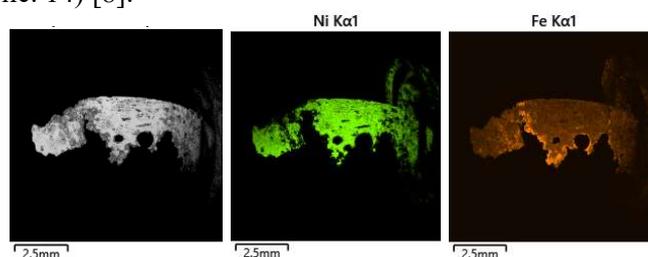


Рис. 14. Карта распределения элементного состава контактной пластины

В результате исследования установлено, что контактная пластина с прожогом изготовлена из сплава на основе железа (Fe), на поверхности которой присутствует покрытие никелем (Ni).

Исследованная контактная пластина имеет разрушение контактного соединения со вторым элементом питания и наибольшие повреждения под действием электродугового разряда в результате короткого замыкания ближе к месту соединения со вторым элементом питания (рис. 12), что указывает на дефект в соединении двух элементов питания наряду с использованием контактной пластины из сплава на основе железа, подверженного коррозии, что способствовало возникновению аварийного режима в АКБ.

Приведенный пример из экспертной практики наглядно свидетельствует о том, что несмотря на разрушение АКБ, в том числе в результате воздействия опасных факторов пожара и сопутствующих им проявлений (огнетушащие средства и т.п.), можно выявить признаки протекания аварийных режимов работы в АКБ, впоследствии приведших к возникновению пожара, путем исследования несгораемых составных частей АКБ.

Таким образом, в статье проведен анализ недостатков в конструкции и материалах АКБ литий-ионного типа, которые могут приводить к их аварийному режиму работы, а именно, тепловому разгону. Установлено, что несмотря на разрушение АКБ, можно выявить признаки протекания аварийных режимов работы в АКБ путем исследования её несгораемых составных частей. На примере пожара полуприцепа, в котором перевозились АКБ, предложена методика исследования АКБ с применением метода сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом для установления причины и условий возникновения пожара.

Список источников

1. ГОСТ Р 58593-2019. Источники тока химические. Термины и определения.
2. Елисеев Ю.Н., Мокряк А.В. Анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2020. – № 3. – С. 14–17.
3. ГОСТ 33366.1-2015 (ISO 1043-1:2011). Пластмассы. Условные обозначения и сокращения. Часть 1. Основные полимеры и их специальные характеристики.

4. ГОСТ 24888-81. Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения.

5. Множина Д.Н., Синюк В.Д., Дашко Л.В., Причины возгорания аккумуляторных батарей электросамокатов // Актуальные проблемы криминалистики и судебной экспертизы: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2022. С. 169–173.

6. Маслов М.А. Особенности горения литий-ионных аккумуляторов и некоторые тактические особенности осмотра места пожара при отработке версии причастности к пожару литий-ионного аккумулятора // Актуальные вопросы судебных инженерно-технических экспертиз: сб. материалов всерос. науч.-практ. конф. – Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2019. С. 50–53.

7. Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств. Ч. II / Под ред. А.Ю. Семёнова. Общая редакция канд. техн. наук В.В. Мартынова. – М.: ЭКЦ МВД России, 2012. – 800 с.

8. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: Методическое пособие. - М: ВНИИПО, 2002. – 330 с.

9. Экспертное исследование оплавлений медных проводников, изымаемых с места пожара: Учебное пособие / А.Ю. Мокряк, В.В. Пеньков, И.Д. Чешко и др. – М.: ЭКЦ МВД России, 2015. – 80 с.

10. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России, кн. 1–Санкт-Петербург: ООО «Типография «Береста», 2010.–708 с.

List of sources

1. GOST R 58593-2019. Current sources are chemical. Terms and definitions.

2. Eliseev Yu.N., Mokryak A.V. Analysis of fire hazard of lithium-ion batteries // Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia". – 2020. – No. 3. – pp. 14-17.

3. GOST 33366.1-2015 (ISO 1043-1:2011). Plastics. Symbols and abbreviations. Part 1. Basic polymers and their special characteristics.

4. GOST 24888-81. Plastics, polymers and synthetic resins. Chemical names, terms and definitions.

5. Setina D.N., Sinyuk V.D., Dashko L.V., Causes of ignition of electric scooter batteries // Actual problems of criminalistics and forensic examination: collection of materials of the International Scientific and Practical conference - Irkutsk: East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2022. pp. 169-173.

6. Maslov M.A. Features of gorenje lithium-ion batteries and some tactical features of the inspection of the fire site when working out the version of involvement in the fire of a lithium-ion battery // Actual issues of forensic engineering and technical expertise: collection of materials of the All-Russian Scientific and practical conference - Irkutsk: East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2019. pp. 50-53.

7. Standard expert methods of investigation of material evidence. Part II / Ed. by A.Yu. Semenov. General edition of the Candidate of Technical Sciences V.V. Martynova. – М.: ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2012. – 800 p.

8. Cheshko I.D. Technical bases of investigation of fires: Methodical manual. - Moscow: VNIPO, 2002. – 330 p.

9. Expert study of reflowings of copper conductors removed from the fire site: Textbook / A.Y. Mokryak, V.V. Penkov, I.D. Cheshko, etc. – М.: ECC of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2015. – 80 p.

10. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. Analysis of expert versions of fire occurrence. SPbF FSU VNIPO EMERCOM of Russia, book 1 – St. Petersburg: LLC "Printing house "Beresta", 2010. –708 p.

Информация об авторах

Шеков А.А. – кандидат химических наук, доцент

Information about the author

Shekov A.A. – Ph.D. of Chemical Sciences, Docent

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.

Статья поступила в редакцию 25.01.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2023; принята к публикации 21.02.2023.

The article was submitted 25.01.2023; approved after reviewing 01.02.2023; accepted for publication 21.02.2023.