

О пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов

А.Р. Саклантй, С.А. Ларин, П.Э. Пеньковский, Е.М. Шагов

Федеральное бюджетное учреждение Российский федеральный центр судебной экспертизы имени профессора А.Р. Шляхова при Министерстве юстиции Российской Федерации, Москва 101000, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены устройство и особенности конструкции литий-ионных аккумуляторов, обуславливающие их пожаровзрывоопасность. Приведены результаты пожарно-технических экспертиз из практики их производства в РФЦСЭ, подтверждающие возможность возникновения пожаров из-за аварийного режима в литий-ионных аккумуляторах. Показано, что обнаружение следов аварийного режима на фрагментах аккумулятора, сохранившихся после пожара, в результате применения инструментального метода не является достаточным основанием для вывода, что он вызвал возгорание.

Ключевые слова: *судебная пожарно-техническая экспертиза, литий-ионные аккумуляторы, электрод, пористый сепаратор, электролит, пожарная безопасность, тепловой разгон, короткое замыкание*

Для цитирования: Саклантй А.Р., Ларин С.А., Пеньковский П.Э., Шагов Е.М. О пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов // Теория и практика судебной экспертизы. 2025. Т. 20. № 1. С. 74–85. <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2025-1-74-85>

On Fire Hazard of Lithium-Ion Batteries

Aleksandr R. Saklantiy, Sergey A. Larin, Pavel E. Pen'kovskii, Egor M. Shagov

The Russian Federal Centre of Forensic Science named after Professor A.R. Shlyakhov of the Ministry of Justice of the Russian Federation, Moscow 101000, Russia

Abstract. The article considers the basic mechanism and the construction details of lithium-ion batteries causing their fire and explosion hazard. It gives the results of fire-technical examinations carried out by RFCFS which confirm the possibility of fires due to the emergency operation mode of lithium-ion batteries. It is shown that use of an instrumental method for detection of the emergency operation traces left after fire on the battery fragments is not a sufficient reason to conclude that this operation mode caused the fire.

Keywords: *forensic fire-technical examination, lithium-ion batteries, electrode, porous separator, electrolyte, fire safety, thermal runaway, short circuit*

For citation: Saklantiy A.R., Larin S.A., Pen'kovskii P.E., Shagov E.M. On Fire Hazard of Lithium-Ion Batteries. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2025. Vol. 20. No. 1. P. 74–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.30764/1819-2785-2025-1-74-85>

В последние годы в средствах массовой информации и в особенности в сети Интернет появляется все больше сообщений о пожарах и взрывах, связанных с использованием электроприборов различного назначения (мобильных телефонов, портативных аккумуляторов [power bank], ноутбуков), транспортных средств (электросамокатов, электромобилей и электробусов), в которых в качестве источника электроэнергии применяются литий-ионные аккумуляторы.

В настоящее время подобные аккумуляторы – наиболее популярные перезаряжаемые источники энергии благодаря своим уникальным характеристикам: высокой удельной энергии, низкому саморазряду (способности работать долгое время без подзарядки), длительному сроку службы, достигающему 2000 циклов заряда-разряда, и высокому напряжению, превышающему почти в два раза напряжение, например, свинцово-кислотных аккумуляторов [1].

Литий-ионные аккумуляторы состоят из положительных электродов, изготовленных из литированного оксида переходного металла (к переходным относятся Co, Ni, Mn),

например, LiCoO_2 , нанесенного на алюминиевую фольгу, отрицательных электродов, изготовленных из слоя графита на медной фольге, и неводного электролита, представляющего собой раствор литиевой соли (LiPF_6 или LiClO_4) в смеси неводных растворителей (карбонатов эфиров).

Электроды разделяет пропитанный электролитом пористый сепаратор, изготовленный из полимерного материала, через который происходит движение ионов лития при заряде-разряде аккумулятора (рис. 1).

При сборке пакет электродов помещают в герметичный корпус, катоды и аноды подсоединяют к клеммам-токосъемникам. Корпус иногда оснащают предохранительным клапаном, сбрасывающим внутреннее давление в аварийных ситуациях или при нарушении условий эксплуатации. Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который имеет способность внедряться (интеркалироваться) в кристаллическую решетку других материалов (таких как графит, оксиды, соли металлов и др.)

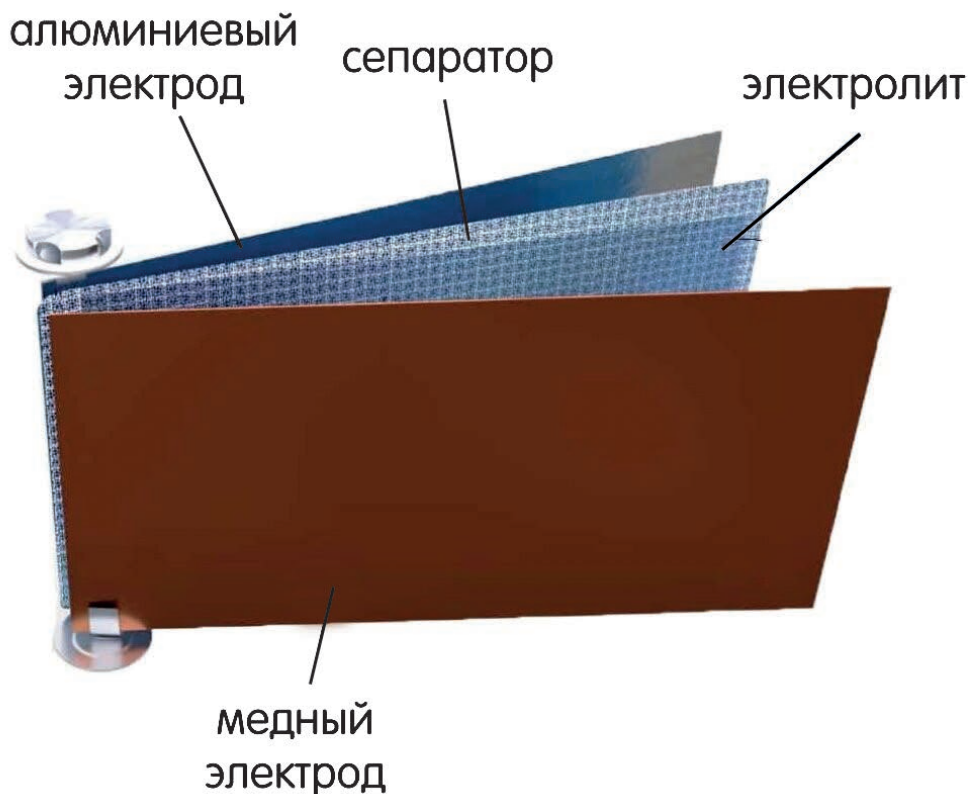


Рис. 1. Структура литий-ионного аккумулятора
Fig. 1. Lithium-ion battery structure

с образованием химической связи (например, в графит с образованием LiC_6 , оксиды $[\text{LiCoO}_2]$ и соли металлов).

Сразу после сборки такого аккумулятора его напряжение составляет всего несколько десятков милливольт, поскольку потенциалы LiCoO_2 и графита в неводном электролите практически одинаковы. Чтобы привести свежеобработанный аккумулятор в рабочее состояние, его заряжают, то есть «извлекают» ионы лития из LiCoO_2 и перемещают их через электролит в графит (при помощи внешнего источника тока). При этом потенциал отрицательного электрода постепенно снижается, а потенциал положительного электрода и напряжение аккумулятора постепенно увеличиваются. При достижении напряжения 4,2 В аккумулятор заряжен и готов к работе, то есть к разряду. При разряде аккумулятора ионы лития самостоятельно экстрагируются из графита и через электролит перетекают в матрицу частично делиитированного оксида кобальта. Потенциал отрицательного электрода при этом увеличивается, а потенциал положи-

тельного электрода и напряжение аккумулятора уменьшаются (рис. 2). Параллельно с движением ионов лития в электролите происходит перемещение электронов по внешней цепи, обеспечивая работу потребителя энергии (рис. 3).

В настоящее время в массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются три класса катодных материалов:

- кобальтат лития LiCoO_2 и твердые растворы на основе изоструктурного ему никелата лития;
- литий-марганцевая шпинель LiMn_2O_4 ;
- литий-феррофосфат LiFePO_4 .

Электрохимические схемы литий-ионных аккумуляторов:

- литий-кобальтовые:
 $\text{LiCoO}_2 + 6\text{C} \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2 + \text{LiC}_6$;
- литий-ферро-фосфатные:
 $\text{LiFePO}_4 + 6\text{C} \rightleftharpoons \text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + \text{LiC}_6$.

Отметим, что в 80-е года прошлого века при использовании в аккумуляторах в качестве отрицательного электрода металлического лития, а в качестве материала

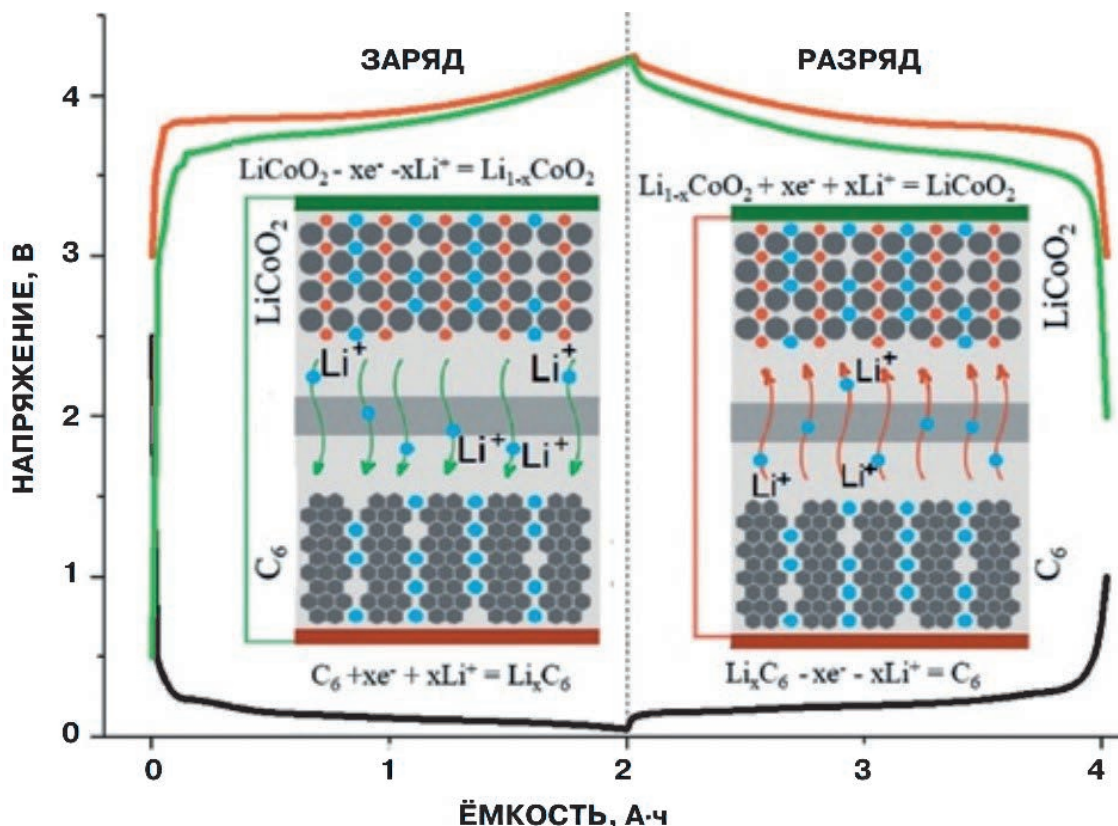


Рис. 2. Схема работы литий-ионного аккумулятора [1]. Красная кривая – изменение потенциала положительного электрода; черная – изменение потенциала отрицательного электрода; зеленая – изменение напряжения аккумулятора

Fig. 2. Scheme of a lithium-ion battery operation [1]. Red curve shows changing of the positive electrode potential; black curve – changing of the negative electrode potential; green curve – the battery voltage change

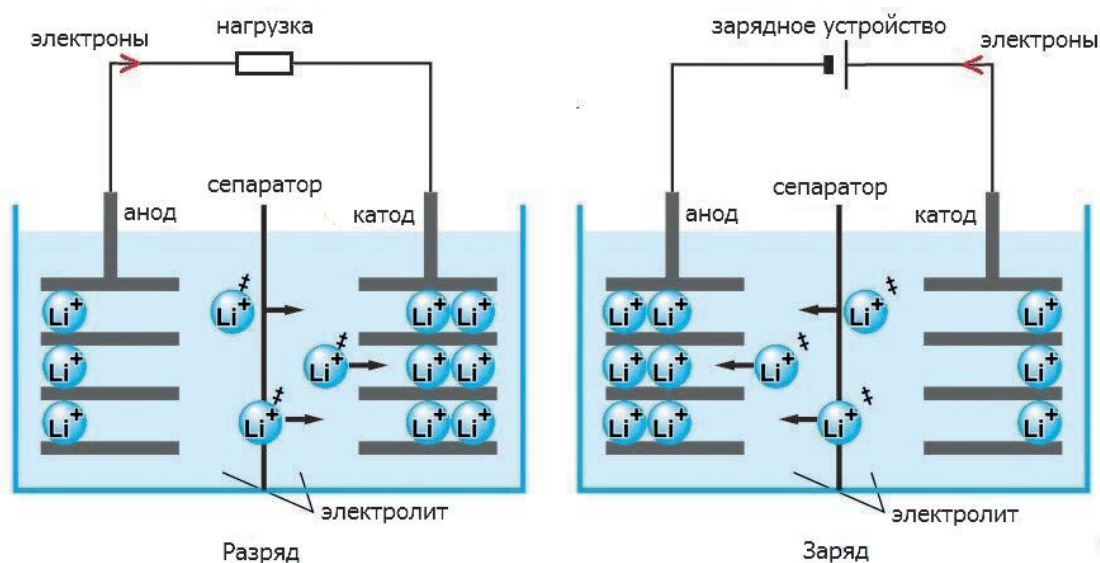


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая процессы заряда и разряда литий-ионного аккумулятора
Fig. 3. Scheme illustrating charging and discharging processes of a lithium-ion battery

катода – литированного оксида кобальта (LiCO_2) возникала следующая проблема. При заряде таких аккумуляторов на отрицательном электроде протекал процесс осаждения лития и последний, как правило, осаждался в виде так называемых дендритов – металлических «усов», способных проколоть сепаратор, разделяющий электроды, и привести к короткому замыканию между катодом и анодом [2].

Это приводило к резкому разряду аккумулятора с выделением большого количества тепла. При достижении температуры $70\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$ литий начинал взаимодействовать с электролитом, из-за чего происходило выделение различных горючих газов. Процесс реакции способствовал дальнейшему нагреву внутри корпуса аккумулятора, и при достижении температуры $180\text{ }^\circ\text{C}$ оксид кобальта (катод) начинал разлагаться с выделением кислорода, который вступал в реакцию с литием. Последний, при достижении его температуры самовоспламенения ($179\text{ }^\circ\text{C}$), начинал гореть, усиливая выделение газов и продолжая повышать температуру внутри корпуса. В конечном счете происходило повреждение корпуса аккумулятора с последующим выбросом пламени или взрывом.

Ожидалось, что отсутствие в современном аккумуляторе металлического лития и замена его на углерод обеспечит пожарную безопасность данной электрохимической системы, однако практика использования

современных литий-ионных аккумуляторов это опровергает.

Так, в статье [2] приведены реальные случаи возгораний и взрывов литий-ионных аккумуляторов в Российской Федерации за 2019–2022 годы, среди которых: 5 случаев взрывов сотовых телефонов, включая взрыв, происшедший в процессе подзарядки смартфона; 3 случая взрывов электронных сигарет; 1 случай взрыва портативного аккумулятора (power bank), находившегося в заряженном состоянии и не подсоединенного к телефону; 1 случай возгорания робота-пылесоса, стоявшего на подзарядке; 4 случая взрывов электросамокатов при зарядке их аккумуляторных кислотных батарей (АКБ); 5 случаев взрывов и пожаров АКБ в автотранспортных средствах.

Согласно приведенным в статье [3] статистическим данным частота возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей электромобилей составляет примерно $1/10000$ (это значительно ниже, чем у традиционных транспортных средств – $7,6/10000$), что все равно оказывает существенное влияние на решение о переходе к их повсеместному использованию.

Возможность разгерметизации, взрыва и воспламенения современных литий-ионных аккумуляторов подтверждается и проведенными экспериментами. Так, по приведенным в статье [4] данным зарубежных авторов при перезаряде малогабаритных литий-ионных призматических аккумуля-

торов (емкостью 1,5 Ач с положительным электродом из LiCoO_2 , отрицательным электродом из графита и 1 М раствором LiPF_6 в смеси органических карбонатов в качестве электролита токами от 150 до 1500 мА) один из них, заряжавшийся током 1500 мА, разгерметизировался, при этом температура внутри аккумулятора достигала 199 °С при температуре стенки 106,4 °С.

При исследовании призматических аккумуляторов емкостью 0,6 Ач, положительным электродом в которых служил LiCoO_2 , а отрицательным – графит, заряженные аккумуляторы были подвергнуты перезаряду током 2 С (равным двукратной емкости аккумулятора – 1200 мА). Они разгерметизировались с воспламенением через 0,65–0,70 ч после начала эксперимента.

Возникновение автокаталитического роста температуры при перезаряде объясняется главным образом реакциями, протекающими на положительном электроде из-за нестабильности дилитирующегося кобальтата лития при повышении температуры [4]. При перезаряде при нормальной температуре $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ сохраняет устойчивость при деинтеркаляции значительной части лития. Обладающая высокой прочностью связь М–О (металл – кислород) при этом не разрушается, и кислород из решетки не удаляется, хотя и может в ней «разворачиваться». В условиях заряда при повышающейся температуре, напротив, становится возможной трансформация гексагональной решетки кобальтата лития с выделением сначала небольшого, а затем все увеличивающегося количества кислорода. Это приводит к ускорению экзотермической реакции взаимодействия кислорода с компонентами электролита, а после повышения температуры внутри аккумулятора до 180–215 °С – к резкому ускорению экзотермических реакций и на литированном графитовом электроде. В конечном итоге это создает условия для «термического разгона» аккумулятора, протекания в нем самоускоряющихся экзотермических реакций окисления, повышения давления в корпусе и взрыву.

Кроме термического разгона при перезарядке, термический разгон аккумулятора становится возможным и при перерезаряде – при внешнем (возможно неполном) коротком замыкании между подсоединенными к электродам проводниками, когда аккумулятор находится в состоянии быстрого разряда, и ток разряда может быть намного больше, чем в нормальном состоянии. В резуль-

тате температура в аккумуляторе может существенно вырасти, вызвав термический разгон с последующим разрушением его корпуса и выбросом наружу высокотемпературных продуктов взрыва (пламени).

Тепловой разгон может быть также вызван внешним нагревом при неосторожном размещении аккумулятора недалеко от источника тепла (плиты, батареи, печи) или на начальной стадии пожара. Внешнее тепло может вызвать внутренний нагрев аккумулятора, плавление сепаратора, разложение электролита и электродов с последующим коротким замыканием между электродами, вызывающим возгорание и взрыв.

Очевидно, что механическое воздействие на аккумулятор (сжатие, сквозное повреждение металлическим предметом), вызывающее короткое замыкание электродов, также чревато взрывом аккумулятора.

Несмотря на относительную пожароопасность, в большинстве устройств (за исключением электромобилей) продолжают использоваться LiCoO_2 аккумуляторы марки 18650 и более емкие и габаритные модели марок 20700/21700/32650 [2]. Пожарная опасность применения указанных моделей аккумуляторов увеличивается в связи с тем, что они используются в ряде устройств (электросамокатах, велосипедах) в составе аккумуляторной батареи, то есть в виде нескольких соединенных между собой в единую электрическую цепь элементов (аккумуляторов). Таким образом, перегрев и воспламенение одного элемента батареи может вызвать возгорание соседних элементов, что увеличивает возможность возникновения и развития пожара в месте расположения устройства [2].

Практика производства пожарно-технических экспертиз в ФБУ РФЦСЭ имени профессора А.Р. Шляхова при Минюсте России подтверждает возможность возникновения пожаров в результате возгорания литий-ионных аккумуляторов.

Так, в 2023 году в Одинцовском районе Московской области в двухэтажном строении размером 24×70 м с расположенными в нем торговыми и складскими павильонами произошел пожар. При пожаре строение с ограждающими стенами, выполненными из стальных профилированных листов в 2 слоя (снаружи и со стороны помещений) со слоем утеплителя по металлическому каркасу, было сильно повреждено, что следовало как из составленного дознавателем МЧС протокола осмотра места происшествия,



Рис. 4. Вид наиболее поврежденной пожаром части строения, границы которой обведены пунктирной линией

Fig. 4. View of the most fire-damaged part of the building with a dotted line along its borders

где было зафиксировано, что «здание выгорело по всей площади, кровля обрушилась во внутреннее пространство здания», так и из представленных экспертам фотоснимков (рис. 4).

Однако с учетом характера термических повреждений конструкций строения, обстоятельств обнаружения пожара очевидцами и анализа представленных видеозаписей с камер наблюдения удалось установить, что пожар начался в одном из павильонов первого этажа.

Пожар был обнаружен около 22 ч 30 мин работниками охраны после срабатывания пожарной сигнализации. При этом около 19 ч 30 мин работниками организации, арендовавшей павильон, в него был помещен электросамокат, остатки которого были найдены в павильоне дознавателем МЧС, проводившим впоследствии осмотр места происшествия при разборе конструкций строения (рис. 5).

При осмотре экспертами поврежденной пожаром аккумуляторной батареи электросамоката было обнаружено, что в центральной части отсека АКБ отсутствует несколько цилиндрических элементов (аккумулято-

ров), что не исключает их разрушение в результате взрыва, происшедшего до пожара.

К сожалению, по результатам осмотра места пожара дознавателем и объяснениям очевидцев не удалось установить (опровергнуть) факт зарядки АКБ электросамоката до пожара. Однако с учетом того, что версии пожара из-за неосторожного обращения с огнем или в результате поджога подтверждения не нашли, а возникновение пожара из-за аварийного режима в электрооборудовании включенного холодильника было только вероятным, инициирование первоначального горения в помещении павильона в результате взрыва АКБ электросамоката представляется вполне возможным.

Более наглядно демонстрирует опасность использования литий-ионных аккумуляторов пожар, произошедший ночью в одной из квартир г. Москвы в 2024 году.

Из объяснения начальника караула пожарно-спасательной части, принимавшего участие в тушении пожара, следовало, что после прибытия на место пожара и вскрытия входной двери квартиры, в которой отсутствовали люди, спасателями было обнаружено сильное задымление в комнате



Рис. 5. Остатки поврежденного пожаром электросамоката, обнаруженного на территории павильона, где возник пожар
Fig. 5. Remains of an electric scooter damaged by fire found on the territory of the pavilion where the fire broke out



Рис. 6. Состояние поврежденной пожаром аккумуляторной батареи электросамоката. В центральной части отсека АКБ несколько цилиндрических элементов отсутствуют
Fig. 6. The condition of an electric scooter's battery damaged by fire. There are several cylindrical elements missing in the central part of the battery compartment



Рис. 7. Обстановка в левом дальнем углу жилой комнаты на момент ее осмотра дознавателем МЧС

Fig. 7. Scene in the far left corner of the living room at the time of its inspection by the Ministry of Emergencies investigator

и обгоревший диван в левом дальнем от входа углу: «явного открытого огня не было, диван дотлевал» (рис. 7). На момент возникновения пожара в квартире находилась собака, которая при обнаружении пожарными была без сознания, и ей «проводили реанимационные действия».

При исследовании экспертом РФЦСЭ поврежденного пожаром помещения было установлено, что зона максимальных термических поражений мебели и материалов отделки квартиры находится в месте расположения дивана, расположенного у стены жилой комнаты рядом с дальним от ее входа левым углом.

Установлено также, что примерно по центру в сидении дивана образовался прогар округлой формы размером до 40 см, при этом металлические пружины обрушились в отделение для хранения вещей. В верхней части спинки дивана, прямо над прогаром в сиденье, полностью выгорел слой наполнителя из пенополиуретана, и обгорела древесина спинки под выгоревшим

слоем наполнителя. Границы зоны сильного термического повреждения дивана и обоев над диваном напоминали угол (проекцию конуса), обращенный к прогару, – очаговый конус. По мере удаления от дивана степень термических поражений вещной обстановки и отделочных материалов последовательно убывала и характеризовалась частичным обгоранием, оплавлением, закатанием предметов, мебели, изделий, материалов и др.

Таким образом, с учетом признаков, указанных в научно-методической литературе [5–9], очаг пожара был установлен точно – возгорание произошло на сидении дивана.

Исследование экспертом места пожара было проведено после того, как обстановка в комнате была уже частично изменена (рис. 8). Тем не менее, в установленном очаге пожара – под прогаром в сидении дивана – им были обнаружены фрагменты, предположительно, магнитного кольца, а на левом подлокотнике дивана – литий-ионной аккумуляторной батареи размером 70×55×13 мм.

На столе слева от дивана находилась, предположительно, катушка индуктивности. Данные предметы имели следы сильного термического воздействия (рис. 9, 10).

Обнаруженные фрагменты могли быть составными частями внешнего аккумулятора «power bank» с системой беспроводной зарядки.



Рис. 8. Обстановка в жилой комнате на момент ее осмотра экспертом РФЦСЭ
Fig. 8. Scene in the living room at the time of its inspection by the RFCFS expert

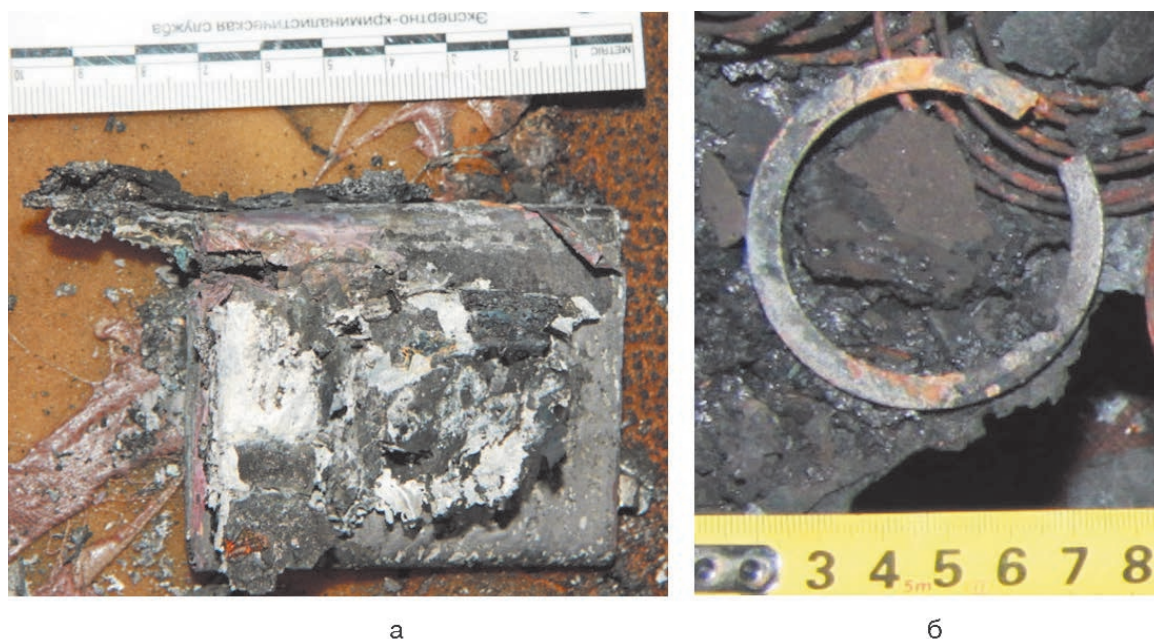


Рис. 9. Вид обнаруженного в комнате поврежденного при пожаре литий-ионного аккумулятора (а) и обнаруженного под прогаром в сидении дивана, предположительно, магнитного кольца (б), входившего в состав внешнего аккумулятора (power bank)

Fig. 9. A view of a lithium-ion battery damaged in a fire, found in the room (a) and presumably a magnetic ring found under the burnout in the sofa seat (b), which was part of an external battery (power bank)



Рис. 10. Вид, предположительно, катушки индуктивности (а) внешнего аккумулятора (power bank) и поврежденного при пожаре литий-ионного аккумулятора (б)
Fig. 10. Presumably a view of an inductor coil (a) of an external battery (power bank) and a lithium-ion battery damaged in a fire (b)

Поскольку все остальные потенциальные источники зажигания – включая тепловое проявление аварийного режима в потолочных светильниках комнаты (в сохранившихся фрагментах светильников специалистом ФГБУ СЭЦ ФПС по г. Москве следов аварийных режимов обнаружено не было) – были обоснованно исключены, экспертом РФЦСЭ был сделан вывод, что причиной возникновения пожара в квартире стало загорание находившихся на диване материалов от воздействия пламени, искр, капель расплавленного металла из-за аварийного режима в аккумуляторной батарее, являющейся, предположительно, составной частью внешнего аккумуляторного устройства типа «power bank» с системой беспроводной зарядки.

Принимая во внимание отсутствие людей и нахождение в квартире собаки, нельзя исключить возможность оказания ею механического воздействия на аккумуляторное устройство с возникновением в нем короткого замыкания между электродами и последующим воспламенением.

С учетом отсутствия в настоящее время экспертных методик, которые позволяли бы доказывать причастность к пожару аварийного режима работы литий-ионных аккумуляторных батарей и выявлять сам факт аварийного режима, в статье [10] предложено исследовать остатки аккумуляторов, изымаемых на пожарищах, методом сканирующей электронной микроскопии для выявления признаков этого режима (теплого разгона).

В той же статье приведены результаты экспериментов, которые проводились с

литий-ионными аккумуляторными батареями типа 18650 (цилиндрические элементы размером 18×65 мм) в количестве 20 штук, емкостью 3500 мАч, номинальным напряжением 3,7 В. Согласно данным производителя, анод батарей – углеродный на медной фольге, катод – на основе оксида металла на алюминиевой фольге, электролит – из соли лития в органическом растворителе, сепаратор – тонкий слой микропористого пластика.

Батареи заряжались на 50 и 100 % с использованием зарядного устройства с контролем заряда. Экспериментальное моделирование теплового разгона литий-ионной аккумуляторной батареи проводилось с использованием муфельной печи. Предварительно заряженный до необходимого уровня аккумулятор нагревался до температур возникновения теплового разгона со скоростью 10°С/мин, после чего эксперимент прекращался.

Исследование полученных в ходе эксперимента образцов проводилось методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Тепловой разгон литий-ионных батарей, используемых в эксперименте, приводил к следующим последствиям. При 50 и 100% заряда происходил достаточно мощный выброс пламени, вызванный горением электролита. Разгерметизация сопровождалась сильным хлопком и разлетом внутренних составляющих батарей, в частности медной и алюминиевой фольги, на расстояние до 6 м. Температура, при которой происходила взрывная разгерметизация, составляла 340–350 °С. С увеличением процента за-

ряда, который имела литий-ионная аккумуляторная батарея до ее теплового разгона, возрастала степень повреждения внешней оболочки аккумулятора. При относительно низких процентах заряда оболочка сохраняла свою целостность, за исключением ее торцевой части, где наблюдалось отсутствие анодного контакта. При более высоких процентах заряда в ходе теплового разгона происходила деформация наружной оболочки с ее частичным разрушением.

На медной и алюминиевой фольге обнаруживаются частицы, которые, судя по химическому и фазовому составу, являются компонентами веществ, входящих в состав материалов катода. На поверхности медной фольги присутствуют алюминиевые частицы шарообразной и произвольной формы, средний размер которых, в зависимости от степени заряда аккумулятора, варьируется от 25 до 1000 мкм. На аккумуляторах, заряженных на 100 %, таких частиц обнаруживается больше. На поверхности алюминиевой и медной фольги были найдены шарообразные частицы, средний размер которых составляет 5 мкм. Их химический состав – в основном никель с примесями кобальта и марганца. На внутренней поверхности металлического корпуса аккумулятора обнаружены шарообразные частицы средним размером 10 мкм, основным химическим элементом которых является никель.

Авторы статьи [10] считают, что результаты проведенных ими экспериментов могут быть использованы для установления факта работы аккумуляторной батареи в аварийном режиме. Однако, по нашему мнению, факт обнаружения после пожара

на остатках аккумулятора частиц различных металлов, входящих в состав его конструкции, методом сканирующей электронной микроскопии не является однозначным свидетельством того, что имел место тепловой разгон аккумулятора, опасные факторы которого вызвали его воспламенение и последующий пожар.

Как справедливо отмечено самими же авторами статьи [10], тепловой разгон, кроме иных факторов, может быть спровоцирован тепловым воздействием, а значит, может стать следствием уже возникшего пожара. Поэтому обнаружение характерных повреждений литий-ионного аккумулятора и частиц металлов на его остатках тем или иным методом пусть и является свидетельством аварийного режима аккумулятора, но все же не позволяет судить о времени его возникновения (до или в процессе пожара) и тем более о причастности к возникновению пожара.

По нашему мнению, при производстве пожарно-технических экспертиз категорический вывод о возникновении пожара в помещении из-за запустившегося в аккумуляторе аварийного режима может быть дан, если установлено, что аккумулятор находился в очаге пожара или обнаружены признаки разрушения его корпуса от действия внутреннего давления (в результате взрыва), а остальные версии возникновения пожара обоснованно исключены, и свидетельства очевидцев (показания свидетелей) о событиях, предшествовавших пожару (проведение зарядки, механическое воздействие на аккумулятор) подтверждают данный вывод или, по крайней мере, не противоречат ему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулова Т.Л. Аккумуляторы, изменившие жизнь // Наука и жизнь. 2019. № 12. С. 2–7.
2. Харламенков А.С. Пожарная опасность применения литий-ионных аккумуляторов в России // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 3. С. 96–102.
3. Елисеев Ю.Н., Мокряк А.В. Анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 3. С. 14–17.
4. 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.

REFERENCES

1. Kulova T.L. Life-changing Batteries. *Science and Life*. 2019. No. 12. P. 2–7. (In Russ.).
2. Kharlamenkov A.S. The Fire Hazard of the Use of Lithium-Ion Batteries in Russia. *Fire and Explosion Safety*. 2022. Vol. 31. No. 3. P. 96–102. (In Russ.).
3. Eliseev Yu.N., Mokryak A.V. Fire Hazard Analysis of Lithium-Ion Batteries. *Bulletin of the St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia*. 2020. No. 3. P. 14–17. (In Russ.).
4. Rumyantsev A.M., Volzhinskaya E.G., Zhdanov V.V. The Behavior of Small-sized Lithium-ion Batteries under Overcharging Conditions. *Electrochemical Power Engineering*. 2007. Vol. 7. No. 2. P. 73–77. (In Russ.).

5. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров (общие положения методики и основы пожарно-технической экспертизы). М.: Стройиздат, 1966. 346 с.
6. Федотов А.Л., Ливчиков А.П., Ульянов Л.Н. Пожарно-техническая экспертиза. М.: Стройиздат, 1986. 270 с.
7. Авиллина Л.М., Данилов Д.П., Докшина Н.В. и др. Судебная пожарно-техническая экспертиза: пособие для экспертов, следователей и судей. Ч. I. М.: ВНИИСЭ Минюста России, 1994. 141 с.
8. Данилов Д.П., Соколовский Г.И., Авиллина Л.М. и др. Судебная пожарно-техническая экспертиза: пособие для экспертов, следователей и судей: Ч. II. М.: ВНИИСЭ Минюста России, 1995. 229 с.
9. Методология судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы. М.: ВНИИПО, 2013. 23 с.
10. Чешко И.Д. Технические основы расследования пожаров: Методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2002. 330 с.
11. Мокряк А.В., Мокряк А.Ю., Мельник А.А. Анализ остатков литий-ионных аккумуляторов после теплового разгона методом сканирующей электронной микроскопии // Электроэнергетика. 2023. № 4 (130). С. 1–9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.63>
5. Megorskii B.V. *The Methodology for Determining the Fire Causes (General Provisions of the Methodology and Basics of a Fire-technical Examination)*. Moscow: Stroizdat, 1966. 346 p. (In Russ.).
6. Fedotov A.L., Livchikov A.P., Ul'yanov L.N. *Fire-Technical Examination*. Moscow: Stroizdat, 1986. 270 p. (In Russ.).
7. Avilina L.M., Danilov D.P., Dokshina N.V. *et al. Forensic Fire-Technical Examination: Manual for Experts, Investigators and Judges. Part I*. Moscow: VNIISE Minyusta Rossii, 1994. 141 p. (In Russ.).
8. Danilov D.P., Sokolovskii G.I., Avilina L.M. *et al. Forensic Fire-Technical Examination: Manual for Experts, Investigators and Judges. Part II*. Moscow: VNIISE Minyusta Rossii, 1995. 229 p. (In Russ.).
9. *Methodology of Forensic Fire-Technical Examination: Basic Principles*. Moscow: VNIPO, 2013. 23 p. (In Russ.).
10. Cheshko I.D. *Technical Fundamentals of Fire Investigation: Guidance Manual*. Moscow: VNIPO, 2002. 330 p. (In Russ.).
11. Mokryak A.V., Mokryak A.Yu., Melnik A.A. An Analysis of Lithium-Ion Battery Residues after Thermal Runaway by Scanning Electron Microscopy. *Power Engineering*. 2023. No. 4 (130). P. 1–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.130.63>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Саклантий Александр Робертович – к. т. н., главный государственный эксперт отдела пожарно-технической, взрывотехнической и взрывотехнологической экспертизы (ПТВВЭ) ФБУ РФЦСЭ имени профессора А.Р. Шляхова при Минюсте России; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Ларин Сергей Александрович – начальник отдела ПТВВЭ ФБУ РФЦСЭ имени профессора А.Р. Шляхова при Минюсте России; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Пеньковский Павел Эдуардович – государственный эксперт отдела ПТВВЭ ФБУ РФЦСЭ имени профессора А.Р. Шляхова при Минюсте России; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Шагов Егор Михайлович – к. юр. н., государственный эксперт отдела ПТВВЭ ФБУ РФЦСЭ имени профессора А.Р. Шляхова при Минюсте России; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

ABOUT THE AUTHORS

Saklantiy Aleksandr Robertovich – Cand. Sc. (Engineering), Chief State Expert, Department of Fire-Technical and Explosives Examination of the Russian Federal Centre of Forensic Science named after professor A.R. Shlyakhov of the Ministry of Justice of the Russian Federation; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Larin Sergey Aleksandrovich – Head of Department of Fire-Technical and Explosives Examination of the Russian Federal Centre of Forensic Science named after professor A.R. Shlyakhov of the Ministry of Justice of the Russian Federation; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Pen'kovskii Pavel Eduardovich – State Expert, Department of Fire-Technical and Explosives Examination of the Russian Federal Centre of Forensic Science named after professor A.R. Shlyakhov of the Ministry of Justice of the Russian Federation; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Shagov Egor Mikhailovich – Candidate of Law, State Expert, Department of Fire-Technical and Explosives Examination of the Russian Federal Centre of Forensic Science named after professor A.R. Shlyakhov of the Ministry of Justice of the Russian Federation; e-mail: oeipv@sudexpert.ru

Статья поступила: 12.01.2025
После доработки: 05.02.2025
Принята к печати: 21.02.2025

Received: January 12, 2025
Revised: February 05, 2025
Accepted: February 21, 2025