

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 502/504, 614.84; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-77-86

ВОПРОСЫ ПОЖАРООПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ

✉Фомичев Леонид Юрьевич.

Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве, Москва, Россия.

Минаева Ирина Анатольевна.

Российский государственный университет нефти и газа (национальный

исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, Россия.

Марков Александр Георгиевич.

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

✉fomichev.lu@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – анализ пожароопасности литий-ионных аккумуляторов при утилизации. Изучено состояние отрасли обращения с твердыми коммунальными отходами и динамика рынка литий-ионных аккумуляторов, что позволило прогнозировать новые риски возгораний батарей на этапе утилизации. Обобщены актуальные данные о пожарах на объектах хранения/переработки твердых коммунальных отходов, вызванных возгоранием литий-ионных аккумуляторов. Анализ выявил взаимосвязь роста числа пожаров с недостатком инфраструктуры сбора и неразвитостью технологий переработки литий-ионных аккумуляторов. На основе современных методов снижения пожароопасности предложены решения, включая (помимо технологий рециклинга) внедрение систем мониторинга возгораний (например, беспилотные летательные аппараты с тепловизорами) на полигонах твердых коммунальных отходов для оперативного выявления очагов, связанных с литий-ионными аккумуляторами.

Ключевые слова: экологическая безопасность, пожарная опасность, литий-ионные аккумуляторы, утилизация, пожарная безопасность, полигоны твердых коммунальных отходов

Для цитирования: Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Марков А.Г. Вопросы пожароопасности литий-ионных аккумуляторных батарей в процессе утилизации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 77–86. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-77-86.

Scientific article

ISSUES OF FIRE HAZARD OF LITHIUM-ION BATTERIES IN THE RECYCLING PROCESS

✉ Fomichev Leonid Yu.

Center for expertise, research and testing in construction, Moscow, Russia.

Minaeva Irina A.

National university of oil and gas «Gubkin University», Moscow, Russia.

Markov Aleksander G.

Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

✉ fomichev.lu@yandex.ru

Abstract. This study investigates the fire hazards of lithium-ion batteries during recycling. We analyze the state of municipal solid waste management and lithium-ion batteries market trends to forecast emerging ignition risks at the disposal stage. Current data on fires at municipal solid waste storage/processing facilities caused by lithium-ion batteries combustion are synthesized. Analysis reveals a correlation between increasing fire incidents and deficiencies in collection infrastructure underdeveloped recycling technologies. Based on modern fire-risk mitigation approaches, we propose solutions including (alongside recycling methods) implementing ignition monitoring systems (e.g., drones with thermal cameras) at municipal solid waste landfills for rapid detection of lithium-ion batteries related hotspots.

Keywords: environmental safety, fire hazard, lithium-ion batteries, recycling, fire safety, municipal solid waste landfills

For citation: Fomichev L.Yu., Minaeva I.A., Markov A.G. Issues of fire hazard of lithium-ion batteries in the recycling process // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 77–86. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-77-86.

Введение

Согласно статистике Росстата, размещенной в электронном формате на официальном сайте, по состоянию на 2023 г. в России образовано 9 278,8 млн т отходов производства и потребления. По данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, в ноябре 2023 г. доля твердых коммунальных отходов (ТКО), подлежащих захоронению, составила 79,9 %. При этом доля ТКО, подлежащих утилизации и последующей переработки для использования в качестве топлива, сырья или материалов, составила 5–7 % от общей массы отходов. Данные, демонстрирующие состояние отрасли обращения с ТКО в России, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние отрасли обращения с ТКО в России

Объем образования отходов	65 млн т/год
Объем обработки ТКО	18,2 млн т/год
Объем утилизации ТКО	2,7 млн т/год
Количество предприятий по обработке ТКО	200
Количество объектов для размещения ТКО	1 257
Количество предприятий по утилизации ТКО	333
Доля перерабатываемых ТКО для повторного использования	5–7 %

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) считаются одним из наиболее перспективных источников энергии не только для транспортных средств, но также для средств индивидуальной мобильности, ручного инструмента и других устройств широкого потребления благодаря их высокой энергоемкости, стабильным циклическим характеристикам и другим качествам. Объем рынка ЛИА и перспективы его глобального развития до 2028 г. представлены на рис. 1. Мировой объем рынка ЛИА неуклонно увеличивается и к 2028 г. ожидает роста более чем в два раза.

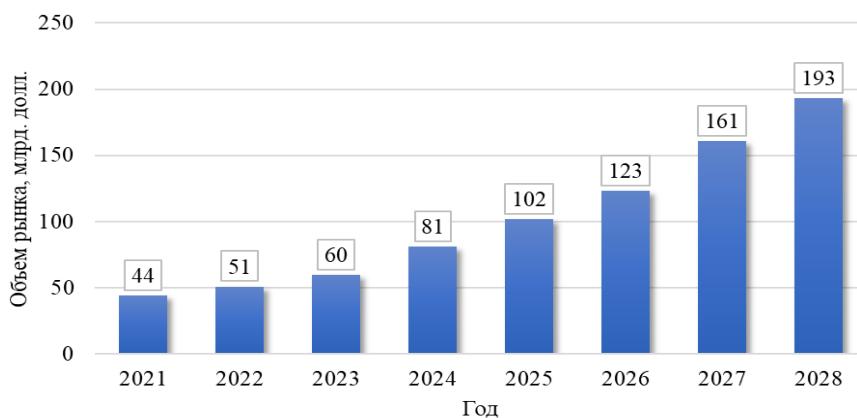


Рис. 1. Объем рынка ЛИА и перспективы его глобального развития до 2028 г.¹

В связи со значительным увеличением объемов производства и применения ЛИА возникает вопрос о процессе их утилизации и, в том числе, о его безопасности.

В соответствии с классификационным каталогом отходов аккумуляторы, утратившие потребительские свойства, имеют II класс опасности. В случае нанесения экологического ущерба такими отходами восстановление качества природной среды ожидается ориентировочно через 30 лет.

По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), к 2030 г. использованные автомобильные аккумуляторы займут лидирующие позиции по объему среди всех отработавших литий-ионных батарей. Ожидается, что к этому времени количество отходов, пригодных для переработки, превысит 1,2 млн т. С применением современных технологий, позволяющих извлечь до 95 % компонентов из батарей, станет возможным возвращение на рынок до 10 % сырьевых материалов, таких как никель и кобальт. Литий планируется извлекать из вторичных источников в пределах 2–7 % от общего рыночного спроса, что составляет примерно 15 тыс. т. Кроме того, предполагается, что к 2030 г. 10–15 % аккумуляторов смогут быть повторно использованы в системах хранения энергии. По состоянию на 2020 г. мировой рынок переработки ЛИА оценивался примерно в 2 млрд долл.

Вместе с ростом объемов производства и применения ЛИА возникают новые опасности и риски, связанные с пожароопасностью данных энергоносителей.

На предприятиях, где образуются и накапливаются отходы ЛИА, ведется учет и сдача для дальнейшей утилизации данных отходов.

Производители электромобилей отвечают за переработку отработавших свой срок службы аккумуляторов транспортных средств. Однако аналогичная ответственность должна возлагаться и на производителей техники с ЛИА, но не существует механизмов ее реализации. Еще хуже обстоит дело со сбором ЛИА, находившихся в эксплуатации у населения. Проблема заключается в отсутствии развитого сервиса по сбору устройств

¹ Литий-ионные аккумуляторы: мировой рынок и тренды развития // Аналитика. URL: <https://xn--80aplem.xn--p1ai/analytics/Litij-ionnye-akkumulyatory-mirovoj-tunok-i-trendy-razvitiya/> (дата обращения: 03.07.2025)

с такими аккумуляторами, а также недостаточной мотивацией граждан. Как итог – большой объем отходов ЛИА на полигонах, особенно рядом с мегаполисами.

ЛИА представляют собой потенциальную пожарную опасность, особенно при неправильном обращении или хранении. Наибольший риск связан с литий-полимерными (LiPo) аккумуляторами и элементами пакетного типа. Если заряженный литиевый элемент повреждается – например, при раздавливании или проколе – это может привести к короткому замыканию. В результате возникает тепловой разгон, который способен вызвать возгорание или даже взрыв. Эта проблема является одной из ключевых сложностей при утилизации ЛИА [1].

Транснациональная перерабатывающая компания Veolia отмечает 38 % рост числа пожаров из-за присутствия литиевых батарей в общих отходах с 2017 г. Ассоциация экологических служб Великобритании зафиксировала в стране 250 подобных пожаров в центрах переработки отходов с 2019 по 2020 г. Конфедерация переработчиков стали Германии сообщала, около 90 % пожаров на их объектах по утилизации отходов в 2020 г. случились по вине литиевых батарей.

Так, в 2023 г., в Японии произошел крупный пожар в центре переработки отходов. Сектор сортировки не был оборудован системами противопожарной защиты. Тушение пожара длилось около 5 ч. По результатам расследования, предварительной причиной пожара являлось возгорание ЛИА батареи. Ориентировочный материальный ущерб составил 100 тыс. долл. [2].

Данные происшествия подчеркивают актуальность проблемы пожароопасности ЛИА в процессе их утилизации.

Необходимо также иметь в виду возможность организации извлечения таких дефицитных компонентов ЛИА, как литий, кобальт, медь и др.

Аналитическая часть

Вопрос пожароопасности ЛИА активно рассматривается и изучается в мировом сообществе. Проводятся исследования и изыскания в разработке конструктивных решений при производстве ЛИА для снижения пожароопасности, способов эффективного тушения пожаров ЛИА как в России, так и в других странах [3].

Процесс горения ЛИА сопровождается выбросом большого количества тепла, газов и взрывом аккумуляторной батареи. Причиной возгорания может являться замыкание ячеек аккумулятора в процессе транспортировки, сортировки аккумуляторов в общем потоке ТКО по причине механического повреждения, внешнего перегрева или производственного брака. Процесс возгорания ЛИА представлен на рис. 2.

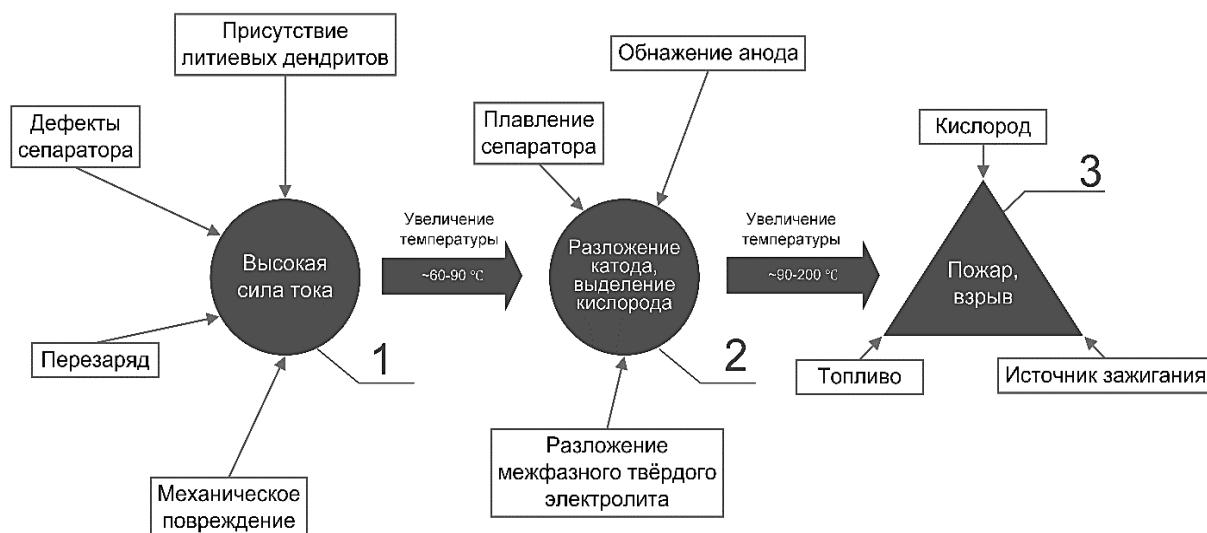


Рис. 2. Процесс возгорания ЛИА (составлено автором)

Официальная статистика возгораний ЛИА на стадии их утилизации отсутствует, однако, на основании анализа сведений из открытых источников формируется устойчивая тенденция роста числа пожаров на полигонах ТКО и мусороперерабатывающих предприятиях.

Часто процесс горения сопровождается образованием искр, в результате чего возникает возгорание горючих веществ даже на удалении от очага пожара, что приводит к быстрому увеличению площади горения. А возгорание определенных типов ЛИА может сопровождаться выделением токсичных газов, создавая дополнительные риски.

США. Согласно данным Ассоциации твердых отходов Северной Америки (SWANA) и Фонда исследований и образования в области окружающей среды (EREF) в последние годы наблюдается устойчивый рост числа пожаров, происходящих в центрах обработки отходов, на станциях хранения, распределения и сортировки ТКО, полигонах ТКО, связанных с присутствием ЛИА в потоке отходов. Опросы операторов предприятий по переработке отходов показывают, что в период с 2016 по 2020 г. инциденты, связанные с аккумуляторами, составляли от 20 % до 40 % от общего числа зарегистрированных пожаров [4].

Агентство по охране окружающей среды США (United States Environmental Protection Agency, EPA) сообщает, что в ходе исследования было выявлено 245 возгораний, связанных с литий-ионными батареями, на 64 предприятиях по обращению с отходами, а также металлобазах, центрах переработки электроники и объектах по энергетической утилизации отходов. Наиболее распространенной категорией предприятий оказались сортировочные станции – 23 случая, за которыми следуют транспортные объекты – 13 случаев, полигоны для захоронения отходов – 10 случаев.

Великобритания. Британская Ассоциация экологических служб (ESA) сообщает о росте количества пожаров на объектах управления отходами, включая полигоны ТКО, значительная часть из которых потенциально инициирована ЛИА, ежегодно фиксируется около 200 пожаров.

Предполагается, что около 250 пожаров были вызваны литий-ионными батареями в период с 2019 по 2020 г., что составляет примерно четверть всех пожаров и превышает треть (38 %).

Veoila, одна из крупных компаний по обращению с отходами, отметила увеличение случаев возгораний и пожаров на 38 % с 2017 г. из-за присутствия ЛИА батарей в общей массе отходов.

Национальный совет руководителей пожарной охраны (NFCC) сообщает о 1 200 зафиксированных случаев пожаров на объектах хранения и переработки ТКО в 2023 г., что на 71 % больше аналогичного показателя в 2022 г. [5].

Австралия. Австралийский совет по переработке отходов (The Australian Council of Recycling, ACOR) сообщает, что в течение 12 мес. было зафиксировано примерно 3 115 возгораний, связанных с аккумуляторными батареями, в среднем около 5,5 подобных случаев на каждое предприятие. Около половины таких возгораний (51 %) устранялись силами персонала предприятий, 11 % – ликвидировались с привлечением пожарно-спасательных служб.

Ежегодно в Австралии по всей цепочке обращения с отходами и в секторе их переработки происходит от 10 до 12 тыс. подобных пожаров, вызванных ЛИА батареями, также по различным видам бизнес-активов и производственным объектам отмечено увеличение материального ущерба, связанного с последствиями данных чрезвычайных ситуаций. В среднем эти инциденты повлекли за собой увеличение расходов более чем на 400 тыс. долл.

Наибольшую долю среди дополнительных издержек составили затраты на устранение ущерба, восстановление инфраструктуры и замену оборудования (включая транспортные средства), достигавшие в среднем около 174 тыс. долл., далее следовали страховые выплаты (примерно 114 тыс. долл.) и расходы на очистку территорий (около 95 тыс. долл.) [6, 7].

Европейский Союз. Согласно статистике Европейской конфедерации предприятий по переработке отходов (European Recycling Industries' Confederation, EuRIC)

36 % переработчиков электрического и электронного оборудования сообщали о серьезных случаях возгораний в период с 2016 по 2019 г.

Известно, что для ликвидации наиболее масштабных пожаров требовалось в среднем от 1 до 6 ч. Материальный ущерб и затраты, связанные с ликвидацией пожаров, оценивались от 190 тыс. евро для относительно небольших по площади возгораний до 1,3 млн евро для более масштабных случаев. Такие издержки крайне трудно вынести компаниям данной отрасли, среди которых преобладают малые и средние предприятия, характеризующиеся низкой финансовой устойчивостью [8].

Российская Федерация. В России отсутствует официальная статистика, фиксирующая количество пожаров на полигонах ТКО, вызванных возгоранием ЛИА. Однако открытые источники указывают на рост таких инцидентов за последние пять лет, связанных с различными устройствами, включая мобильные телефоны, электронные сигареты, портативные зарядные устройства и электросамокаты. По заявлению МЧС России, в 2022 г. зафиксировано более 500 пожаров, причиной которых явилось возгорание потребительских устройств с ЛИА.

Из открытых источников известны многократные случаи возгораний и пожаров ЛИА батарей только за последние три года. Данные о пожарах с участием ЛИА электросамокатов приведены по материалам публикаций в федеральных средствах массовой информации (ТАСС, РБК, Аргументы и Факты, TAdviser)².

Таблица 2

Пожары устройств с ЛИА в России

Дата	Место	Причина	Ущерб
23.04.2022	Москва	Возгорание аккумулятора электросамоката	5 пострадавших, 1 погибший
15.03.2024	Москва	Взрыв аккумулятора электросамоката	Нет пострадавших
10.08.2023	Москва	Возгорание аккумулятора электросамоката	3 пострадавших
01.09.2024	Москва	Взрыв аккумулятора электросамоката	4 погибших
23.10.2024	Челябинск	Возгорание батареи электросамоката	Нет пострадавших
20.03.2024	Москва	Возгорание батареи электросамоката	2 погибших
09.09.2023	Красноармейск	Возгорание батареи электросамоката	1 пострадавший

Представленные данные демонстрируют риски увеличения количества возгораний на полигонах ТКО, связанных с ростом использования ЛИА в потребительской электронике и электротранспорте, портативных гаджетах и инструментах и последующей их утилизацией с помощью захоронения.

Международные источники согласованно подтверждают устойчивую тенденцию роста частоты пожаров, инициированных этим типом аккумуляторов, несмотря на то, что данные о возгораниях на полигонах и предприятиях переработки ТКО варьируются.

Регулирующие органы, отраслевые ассоциации и исследовательские организации обращают внимание на необходимость раздельного сбора и переработки ЛИА для снижения рисков возгорания, разработки мер предосторожности и повышения осведомленности общественности.

Таким образом, доступная статистика, указывает на серьезную проблему роста числа пожаров на полигонах ТКО, вызванных возгоранием ЛИА, и подчеркивает необходимость принятия мер для решения данной проблемы.

² В России с начала года сгорели 10 электросамокатов // ТАСС. URL: <https://tass.ru/obschestvo/15641145> (дата обращения: 03.07.2025)

Для решения данной проблемы важно сфокусировать внимание на следующих аспектах обеспечения безопасности:

1. Развитие процесса сортировки ТКО для отделения аккумуляторных батарей и последующей переработки.

2. Усиление мер по пожарной безопасности на полигонах, мусороперерабатывающих предприятиях.

3. Внедрение инновационных способов по контролю возгораний и пожаров на полигонах ТКО.

Известно большое количество компаний, развивающих мировые проекты по утилизации ЛИА батарей (табл. 3) [9].

Таблица 3

Проекты по утилизации ЛИА батарей в мире

Проект/Компания	Описание
Redwood Materials (США)	Компания, основанная бывшим техническим директором Tesla, занимается переработкой ЛИА, производством материалов для новых батарей
Li-Cycle (Канада)	Использует инновационную технологию переработки, извлекая до 95 % материалов из ЛИА
Northvolt (Швеция)	Развивает проект Revolt по переработке батарей, планируя перерабатывать до 125 000 т в год
Umicore (Бельгия)	Специализируется на переработке металлов и батарей, извлекая кобальт, никель и литий
Tesla (США)	Перерабатывает до 92 % материалов из батарей на своих заводах

В Российской Федерации процесс утилизации ЛИА находится в процессе формирования, имеются крупные проекты на стадии организации и планирования.

Таблица 4

Российские компании по утилизации ЛИА батарей

Проект/Компания	Описание
«Русатом Гринвэй»	Дочернее предприятие госкорпорации «Росатом», занимается созданием инфраструктуры для переработки аккумуляторов. Планирует перерабатывать литий-ионные батареи и извлекать ценные металлы
«НЭК» (Национальная экологическая компания)	Участвует в проектах по утилизации батарей, включая литий-ионные. Компания сотрудничает с промышленными предприятиями для создания системы сбора и переработки
«Мегаполисресурс»	Одна из первых компаний в России, занимающихся переработкой батарей. Основной фокус – на бытовых батарейках, но также развивает технологии для ЛИА
«Экополис»	Проект по созданию экотехнопарка, включающего переработку ЛИА. Входит в структуру «Росатома» и ориентирован на создание замкнутого цикла для батарей
«Лиотех-Инновации»	Дочерняя компания «Роснано», занимается разработкой технологий для переработки ЛИА, используемых в электромобилях и накопителях энергии

В рамках контроля возгораний и пожаров на полигонах ТКО известны способы мониторинга состояния полигонов ТКО при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с применением систем распознавания изображений³.

БПЛА оснащаются камерами высокого разрешения, тепловизорами, мультиспектральными камерами и лидарными системами для аэрофотосъемки,

³ Cycle life studies of lithium-ion power batteries for electric vehicles: a review. URL: <https://colab.ws/articles/10.1016%2Fj.est.2024.112231> (дата обращения: 17.04.2025).

3D-моделирования, тепловизионной съемки. Эти технологии позволяют не только создавать детальные карты полигонов, оценивать объемы отходов, но и выявлять очаги возгорания, контролировать утечки фильтрата и анализировать экологическое воздействие. Системы распознавания изображений на основе искусственного интеллекта (ИИ) автоматически обнаруживают несанкционированные свалки, нарушения в эксплуатации полигонов и отслеживают деятельность на территории. Данные интегрируются в геоинформационные системы для комплексного анализа и визуализации. Использование БПЛА и систем распознавания изображений значительно повышает эффективность мониторинга полигонов ТКО, способствуя улучшению экологической обстановки и соблюдению нормативов.

В России использование БПЛА и систем распознавания изображений для мониторинга полигонов ТКО активно развивается. Компания «РТ-Инвест» (входит в «Ростех») применяет БПЛА для аэрофотосъемки и контроля за объемами отходов. «ЭкоЛайн» использует дроны для создания цифровых карт полигонов и контроля за соблюдением экологических норм. «Росатом» через «Русатом Гринвэй» внедряет технологии мониторинга для оценки состояния полигонов и их рекультивации. Научные организации, такие как Московский государственный университет и Сколковский институт науки и технологий, разрабатывают алгоритмы для анализа данных с БПЛА и использования ИИ для распознавания свалок и инцидентов на них.

С помощью БПЛА с тепловизионными камерами мониторят выделение метана: тепловизоры регистрируют разницу температур в местах скопления свалочных газов. Но необходимо учитывать, что контроль дронами за возгоранием ЛИА должен учитывать специфику, связанную с обнаружением выделяемых при разгерметизации аккумуляторов, химсостав которых зависит от вида конкретной батареи, и помимо двуокиси и окиси углерода может включать фторсодержащие газы, этилен, пропилен и другие токсичные газы. Ежедневный дистанционный анализ на мусорных полигонах важен и после тушения пожара с ЛИА, так как возможно их повторное воспламенение через несколько суток.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что проблема пожароопасности ЛИА батарей в процессе их утилизации является актуальной и требует немедленного внимания со стороны регулирующих органов, промышленных предприятий и научного сообщества. Рост использования ЛИА в потребительской электронике, электромобилях и других устройствах приводит к увеличению их доли в общем потоке ТКО, что, в свою очередь, повышает риск возникновения пожаров на полигонах и мусороперерабатывающих предприятиях, причем возможно фонтанирующее горение батарей автотранспортных средств с высотой пламени до 5–6 м и температурой до 1 000 °C.

Анализ данных из различных стран, включая США, Великобританию, Австралию и Россию, показывает устойчивую тенденцию роста числа пожаров, связанных с ЛИА. Эти инциденты не только наносят значительный материальный ущерб, но и представляют серьезную угрозу для экологической безопасности и здоровья людей.

Для решения данной проблемы необходимо внедрение комплексных мер, включающих:

1. Контроль за выполнением требований по сбору отработанных аккумуляторов.
2. Развитие системы раздельного сбора и сортировки отходов, что позволит отделить ЛИА от общего потока ТКО и направить их на специализированную переработку.
3. Обеспечение доступности предприятия по переработке ЛИА.
4. Внедрение инновационных технологий переработки ЛИА, которые позволят извлекать ценные материалы и снизить экологическую нагрузку.
5. Усиление мер пожарной безопасности на полигонах и мусороперерабатывающих предприятиях, включая установку современных систем противопожарной защиты и мониторинга.

6. Повышение осведомленности общественности о правильной утилизации ЛИА и рисках, связанных с их неправильным обращением.

Теоретическая значимость исследования заключается в актуализации данных о проблеме пожароопасности ЛИА и обосновании необходимости разработки новых подходов к их утилизации. Полученные результаты могут быть использованы для разработки нормативных документов, стандартов и рекомендаций, направленных на снижение рисков, связанных с утилизацией ЛИА.

В заключение можно отметить, что решение проблемы пожароопасности ЛИА требует совместных усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества. Только комплексный подход позволит минимизировать риски и обеспечить безопасную и экологически устойчивую утилизацию данного типа отходов.

Список источников

1. Харламенков А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Часть 3 // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32. № 3. С. 93–98. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.03.93-98.
2. Ignition and Fire-Related Incidents Caused by Lithium-Ion Batteries in Waste Treatment Facilities in Japan and Countermeasures / A. Terazono [et al.]. 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4486179.
3. Ignition and fire-related incidents caused by lithium-ion batteries in waste treatment facilities in Japan and countermeasures / A. Terazono [et al.] // Resources, Conservation and Recycling. 2024. № 202 (3). P. 107398. DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107398.
4. Current status and outlook of recycling spent lithium-ion batteries / Yu. Lan [et al.] // Journal of Energy Storage. 2025. Vol. 110. P. 115374. DOI: 10.1016/j.est.2025.115374.
5. Rahman A., Afroz R., Safrin M. Recycling and Disposal of Lithium Batteries: An Economical and Environmental Approach // IIUM Engineering Journal. 2017. Vol. 18. № 2. P. 238–252.
6. Semi-Autonomous Robotic System for Efficient Recycling of Lithium-Ion Batteries / S. Gadgil [et al.]. 2024. P. 1–7.
7. Stranded Energy Assessment Techniques and Tools. DOT HS 812 789 / E. Rask [et al.]. Washington, DC: prepared for NHTSA by Plaza Argonne National Laboratory, 2020.
8. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles / R. Bisschop [et al.] // Gothenburg: RISE Research Institutes of Sweden. 2019.
9. Grant C. C. Fire fighter safety and emergency response for electric drive and hybrid electric vehicles // Fire Protection Research Foundation. 2010.

References

1. Harlamenkov A.S. Sovremennye sposoby tusheniya litij-ionnyh akkumulyatorov. Chast' 3 // Pozharovzryvobezopasnost'. 2023. T. 32. № 3. S. 93–98. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.03.93-98.
2. Ignition and Fire-Related Incidents Caused by Lithium-Ion Batteries in Waste Treatment Facilities in Japan and Countermeasures / A. Terazono [et al.]. 2023. DOI: 10.2139/ssrn.4486179.
3. Ignition and fire-related incidents caused by lithium-ion batteries in waste treatment facilities in Japan and countermeasures / A. Terazono [et al.] // Resources, Conservation and Recycling. 2024. № 202 (3). P. 107398. DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107398.
4. Current status and outlook of recycling spent lithium-ion batteries / Yu. Lan [et al.] // Journal of Energy Storage. 2025. Vol. 110. P. 115374. DOI: 10.1016/j.est.2025.115374.
5. Rahman A., Afroz R., Safrin M. Recycling and Disposal of Lithium Batteries: An Economical and Environmental Approach // IIUM Engineering Journal. 2017. Vol. 18. № 2. P. 238–252.
6. Semi-Autonomous Robotic System for Efficient Recycling of Lithium-Ion Batteries / S. Gadgil [et al.]. 2024. P. 1–7.

7. Stranded Energy Assessment Techniques and Tools. DOT HS 812 789 / E. Rask [et al.]. Washington, DC: prepared for NHTSA by Plaza Argonne National Laboratory, 2020.
8. Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles / R. Bisschop [et al.] // Gothenburg: RISE Research Institutes of Sweden. 2019.
9. Grant C. C. Fire fighter safety and emergency response for electric drive and hybrid electric vehicles // Fire Protection Research Foundation. 2010.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 08.04.2025; одобрена после рецензирования: 16.05.2025; принята к публикации: 03.06.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 08.04.2025; approved after review: 16.05.2025; accepted for publication: 03.06.2025

Информация об авторах:

Фомичев Леонид Юрьевич, ведущий инженер отдела пожарного контроля Центра экспертиз, исследований и испытаний в строительстве (109052, Россия, Москва, Рязанский пр., д. 13), e-mail: fomichev.lu@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0270-740X>, SPIN-код: 2864-7056

Минаева Ирина Анатольевна, доцент кафедры промышленной безопасности и охраны окружающей среды Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина (119991, Москва, Ленинский пр., д. 65, к. 1), кандидат технических наук, e-mail: i.a.minaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5753-9862>, SPIN-код: 9873-7488

Марков Александр Георгиевич, доцент кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, e-mail: markov01@yandex.ru, SPIN-код: 7312-6710

Information about the authors:

Fomichev Leonid Yu., leading engineer of fire control department of center for examinations, research and testing in construction (109052, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 13), e-mail: fomichev.lu@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0270-740X>, SPIN: 2864-7056

Minaeva Irina A., associate professor of department of industrial safety and environmental protection of Gubkin Russian state university of oil and gas (National Research University) (119991, Moscow, Leninsky pr., 65, block 1), candidate of technical sciences, e-mail: i.a.minaeva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5753-9862>, SPIN: 9873-7488

Markov Aleksander G., associate professor of department of special electrical engineering, automated systems and communications of Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkina str., 4), candidate of technical sciences, e-mail: markov01@yandex.ru, SPIN: 7312-6710