

УДК 621.352

## ПЕРЕРАБОТКА ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ RECYCLING LITHIUM-ION BATTERIES

В. В. Ефименко, М. В. Манзуля, А. А. Сотникова  
Научный руководитель – А. А. Бобич, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
bobich@bntu.by

V. Yefimenko, D. Manzulia, A.Sotnikova  
Supervisor – A. Bobich, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** литий-ионные аккумуляторы сделали портативную электронику повсеместной. Эта история успеха настраивает мир на создание многомиллионной кучи использованных литий-ионных батарей, которые могут оказаться в мусоре.*

***Abstract:** lithium-ion batteries have made portable electronics ubiquitous and they are about to do the same for electric vehicles. That success story is setting the world on track to generate a multimillion-metric-ton heap of used Li-ion batteries that could end up in the trash.*

***Ключевые слова:** аккумуляторы, переработка, изготовление, утилизация.*

***Keywords:** batteries, recycling, manufacturing, disposal.*

### **Введение**

Батареи ценны и пригодны для вторичной переработки, но из-за технических, экономических и других факторов сегодня перерабатывается менее 5 %. Чудовищность надвигающейся ситуации с отработанными батареями побуждает исследователей искать экономически эффективные, экологически устойчивые стратегии для борьбы с огромным запасом литий-ионных батарей, вырисовывающихся на горизонте.

### **Основная часть**

По мере того, как популярность электромобилей стремительно начинает стремительно расти, растет и много отработанных литий-ионных батарей, которые когда-то питали эти автомобили. Если текущие тенденции обращения с этими отработанными батареями сохранятся, большинство из них могут оказаться на свалках, хотя литий-ионные батареи могут быть переработаны. Эти популярные блоки питания содержат ценные металлы и другие материалы, которые могут быть восстановлены, обработаны и использованы повторно.

Есть ряд причин, из-за которых переработка литий-ионных батарей еще не является общепринятой практикой. Они включают в себя технические ограничения, экономические барьеры, логистические проблемы.

Поскольку в индустрии литий-ионных аккумуляторов отсутствует четкий путь к крупномасштабной экономичной переработке, исследователи и производители аккумуляторов традиционно не фокусируются на улучшении перераба-

тываемости. Вместо этого они работают над снижением затрат и увеличением долговечности батареи и емкости заряда. И так как исследователи добились лишь скромного прогресса в улучшении перерабатываемости, относительно немногие литий-ионные батареи в конечном итоге перерабатываются.

Большинство батарей, которые перерабатываются, подвергаются высокотемпературному процессу плавления и экстракции, или плавки, аналогичному процессу, используемому в горнодобывающей промышленности. Те операции, которые проводятся на крупных коммерческих объектах – например, в Азии, Европе, Канаде – являются энергоемкими. Заводы также дороги в строительстве и эксплуатации требуют сложного оборудования для обработки вредных выбросов, образующихся в процессе плавки. И, несмотря на высокую стоимость, эти заводы не восстанавливают все ценные материалы батарей.

До сих пор большая часть усилий по улучшению утилизации литий-ионных аккумуляторов была сосредоточена в относительно небольшом количестве академических исследовательских групп, как правило, работающих независимо. Но все начинает меняться. Благодаря огромному количеству отработанных литий-ионных аккумуляторов, ожидаемых в ближайшее время от стареющих электромобилей и вездесущей портативной электроники, начинающие компании коммерциализируют новую технологию переработки батарей. И все больше ученых начали изучать проблему, некоторые эксперты по батареям, производству и переработке начали формировать большие, многогранные коллаборации для решения надвигающейся проблемы.

Специалисты по батареям и экологи приводят длинный список причин утилизации литий-ионных аккумуляторов. Восстановленные материалы могут быть использованы для изготовления новых батарей, что снижает производственные затраты. В настоящее время на эти материалы приходится более половины стоимости батареи.

В дополнении к потенциальным экономическим выгодам, переработка может уменьшить количество материала, поступающего на свалки. Кобальт, никель, марганец и другие металлы, содержащиеся в батареях, могут легко вытекать из корпуса батарей и загрязнять почву и грунтовые воды, угрожая экосистемам и здоровью человека.

Аккумуляторы могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду не только в конце срока службы, но и задолго до их производства. Большая переработка отходов означает меньшую добычу первичного материала и меньший связанный с этим вред окружающей среде.

Меньшая зависимость от добычи полезных ископаемых для аккумуляторных материалов также может замедлить истощение этого сырья. Исследователи обнаружили, что мировые запасы лития и никеля достаточны для поддержания быстрого роста производства батарей. Но это также может снизить глобальные запасы кобальта более чем на 10 %.

Существуют также политические издержки и недостатки, которые могут помочь решить утилизация литий-ионных батарей. Производство кобальта связано с вооруженными конфликтами, незаконной добычей полезных ископае-

мых, нарушениями прав человека и вредной экологической практикой. Переработка батарей и разработка катодов с пониженной концентрацией кобальта могут помочь снизить зависимость от таких проблемных иностранных источников и повысить безопасность цепочки поставок.

Точно так же, как экономические факторы могут привести доводы в пользу утилизации батарей, они также могут привести доводы и против нее. Например, большие колебания цен на сырье и материалы создают неопределенность в экономике переработки отходов. В частности, недавнее значительное падение цены на кобальт поднимает вопросы о том, является ли переработка литий-ионных батарей или их перепрофилирование хорошим выбором для бизнеса по сравнению с производством новых батарей из свежих материалов. В принципе, если цена на кобальт упадет, переработанный кобальт будет изо всех сил конкурировать с добытым кобальтом с точки зрения цены, и производители будут выбирать добытый материал, а не переработанный, вытесняя переработчиков из бизнеса.

Конструкция батареи еще больше усложняет работу по утилизации отходов. Литий-ионные аккумуляторы представляют собой компактные, сложные устройства, бывают различных размеров и форм и не предназначены для демонтажа. Компоненты плотно намотаны или сложены и надежно упакованы в пластиковый или алюминиевый корпус. Все компоненты и материалы должны быть обработаны переработчиком, чтобы получить ценные металлы и другие материалы. В отличие от этого, свинцово-кислотные автомобильные аккумуляторы легко разбираются, а свинец, на который приходится около 60 % веса батареи, может быть быстро отделен от других компонентов.

Сегодня несколько крупных пирометаллургических или плавильных предприятий перерабатывают литий-ионные аккумуляторы. Эти устройства, которые часто работают при температуре около 1500 °С, восстанавливают кобальт, никель и медь, но не литий, алюминий или любые органические соединения, которые горят. Эти объекты являются капиталоемкими, отчасти из-за необходимости очистки выбросов токсичных соединений фтора, выделяющихся при плавке.

### **Заключение**

Большинство из стратегий остаются на ранней стадии разработки, однако потребность в них растет. В настоящее время количество аккумуляторов электромобилей с истекшим сроком службы невелико, но оно вот-вот взлетит до небес. Многочисленные препятствия стоят на пути крупномасштабной переработки, но возможности всегда сосуществуют с проблемами.

### **Литература**

1. Переработка литий-ионных аккумуляторов [Электронный ресурс]/ солнечная энергетика. – Режим доступа: <https://rocla.ru/o-kompanii/poleznaya-inforaciya/pererabotka-litij-ionnykh-akkumulyatorov/>.– Дата доступа: 22.04.2022.

2. Утилизация литиевых аккумуляторов [Электронный ресурс]/ солнечная энергетика. – Режим доступа: <https://eco2eco.ru/utilizaciya/utilizatsiya-litievyyh-akkumulyatorov/>.– Дата доступа: 22.04.2022.