

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/PWGH3542>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Vaigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***Р. В. Сапинов¹, Ж. Шошай², А. Б. Баева³,
С. Ю. Маркова⁴, Р. К. Омаров⁵**

^{1,2,4,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» Санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭК МЗ РК,

Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: ruslan.sapinov@mail.ru

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ ВОЗДУШНОЙ СЕПАРАЦИЕЙ

Наиболее распространенные технологии переработки литий-ионных аккумуляторов связаны с их пирометаллургической переработкой и последующим выщелачиванием. Пирометаллургические методы энергозатратны и опасны для окружающей среды. Таким образом, крайне актуальной и важной будет разработка технологии предварительного разделения материалов, что приведет к увеличению эффективности переработки отработанных батарей. Своей эффективностью и экологичностью выгодно отличаются физические методы разделения материалов. На сегодняшний день существуют различные методы разделения на физических принципах. Электростатические методы не могут быть применены, поскольку металлы (медь и алюминий) и оксид лития в сырье, полученном после измельчения аккумуляторов, являются проводниками и не разделяются. Применение гравитационного обогащения в водной среде также невозможно. Оксид лития с водой вступают в реакцию, образуя щелочь. Существуют также способы гравитационного обогащения в воздушной среде. Исходя из вышеизложенного, целью данного исследования является изучение процесса разделения металлов, и смеси углерода с оксидом лития на гравитационных принципах в воздушном потоке. Данная технология обладает всеми преимуществами, простотой аппаратного оформления и внедрения в действующее производство. Двух этапное измельчение, и воздушная сепарация позволяет отделить Si и Al от смеси LiCoO₂+C. Полученные продукты являются пригодными для продажи и представляют коммерческую ценность. Смесь LiCoO₂+C возможно отправлять на процесс термического восстановления с использованием Al полученного при сепарации.

Ключевые слова: литий-ионные батареи, алюминий, медь, вторичная переработка, литий, кобальт.

Введение

На сегодняшний день литий является основным важным металлом в изготовлении литий-ионных аккумуляторов, которые находят все большее применение во всех областях от смартфонов до транспортных средств. Мировые

запасы лития составляют 86 млн. т при ежегодном потреблении 82 тыс. т. Более 70 % лития идет на изготовления аккумуляторов, и этот процент в будущем будет только расти [1]. Типичная конструкция литий-ионных батарей это стальной металлический корпус, анод – медная лента и катод – алюминиевая лента с нанесенной смесью содержащей углерод и оксид лития и других металлов (кобальт, марганец и т.д.) [2]. Наибольшая часть литий-ионных аккумуляторов идет на изготовление различных электронных гаджетов и смартфонов. Учитывая, что средний цикл жизни таких аккумуляторов 300–500 перезарядок с каждым годом растет количество вышедших из строя литий-ионных аккумуляторов. Тот факт, что литий-ионные аккумуляторы содержат большое количество токсичных веществ, а их переработки не превышает 10 % во всем мире [3], а в Казахстане вообще не перерабатываются, вызывает опасения с точки зрения загрязнения окружающей среды. Объем казахстанского рынка смартфонов по итогам 2020 года составил 4,3 млн. штук, увеличившись на 6,7 % в сравнении с 2019-м. Продажи всех видов мобильных телефонов (включая простые кнопочные модели) поднялись на 11 %, до 4,7 млн. штук [4].

Таким образом, количество б/у аккумуляторы только смартфонов в Казахстане ежегодно будет составлять несколько млн. штук. Это говорит о необходимости создания эффективных технологических решений по переработки б/у литий-ионных аккумуляторов. Это позволит уменьшить нагрузку на окружающую среду, вернуть в производственный цикл литий и другие полезные элементы и создать рабочие места. Наиболее распространенные технологии переработки литий-ионных аккумуляторов связаны с их пирометаллургической переработкой и последующим выщелачиванием. Предварительно аккумуляторы подвергаются дроблению и измельчению. Стальной корпус отделяется магнитной сепарацией, полученный материал содержащий медь, алюминий, электролит и смесь углерода и оксида лития, перерабатывается гидрометаллургическими либо пирометаллургическими методами, а также их комбинацией. Так существуют методы когда при обжиге в течении часа с температурой 800 °С с CaCl_2 получают LiCl [5]. Предлагаются также методы низкотемпературной обработки с использованием расплавленного $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при температуре 400 °С в атмосфере аргона, с высокой степенью извлечения Li (98 %) в виде LiCoO_2 [6]. Полученные продукты обычно подвергаются выщелачиванию при помощи различных реагентов [7].

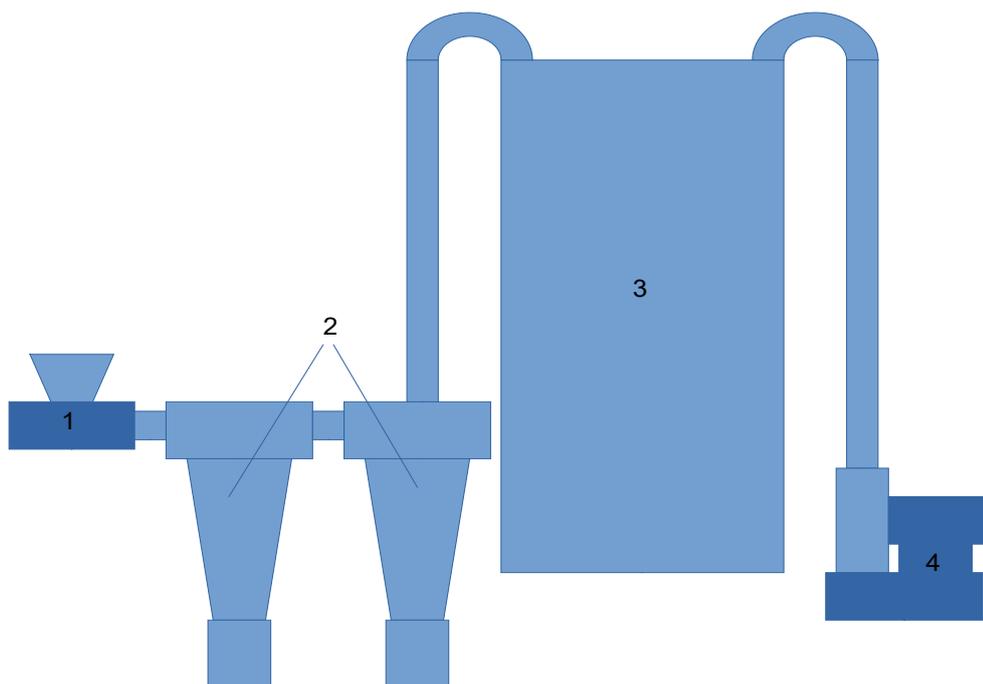
Наиболее часто применяемый гидрометаллургический метод переработки отработанных аккумуляторов является выщелачивание с помощью водного раствора NaOH [8]. Однако, все эти методы имеют недостатки.

Пирометаллургические методы переработки отработанных аккумуляторов энергозатратны и опасны для окружающей среды. Выщелачивание огарка материалов, не разделенных предварительно, ведет к затратам реагентов. Реагент требует особого обращения, поскольку может вызывать химические ожоги. Образующийся раствор сложно поддается разделению. Для разделения материалов требуется пресс фильтр. Утилизация полученного раствора также

не проработана [9]. Таким образом, крайне актуальной и важной будет разработка технологии предварительного разделения материалов, что приведет к увеличению эффективности переработки отработанных батарей. Своей эффективностью и экологичностью выгодно отличаются физические методы разделения материалов [10]. На сегодняшний день существуют различные методы разделения на физических принципах. Однако электростатические методы не могут быть применены, поскольку металлы (медь и алюминий) и оксид лития в сырье, полученном после измельчения аккумуляторов, являются проводниками и не разделятся. Известно, что плотность меди – 8,96 г/см³; оксид кобальта 5,2 г/см³; оксид лития 2,01 г/см³; алюминий 2,7 г/см³; углерод \approx 1,9-2,7 г/см³. Таким образом, теоретически медь и оксид кобальта можно будет отделить от смеси алюминия, углерода и оксида лития с помощью гравитационных методов. Применение гравитационного обогащения в водной среде также не возможно. Оксид лития с водой вступают в реакцию, образуя щелочь. Существуют способы гравитационного обогащения в воздушной среде. При разделении материалов измельченных литий-ионных аккумуляторов с помощью восходящего воздушного потока не образуется отходов, а установка проста конструктивно. Для ее запуска и изготовления не требуется уникальное оборудование, расходные реагенты и высококвалифицированный персонал. Целью данного исследования является изучение процесса разделения металлов, и смеси углерода с оксидом лития на гравитационных принципах в воздушном потоке. Данная технология обладает всеми преимуществами, простотой аппаратного оформления и внедрения в действующее производство.

Материалы и методы

Все эксперименты проводились в лаборатории факультета Инженерии Торайгыров Университета (<https://tou.edu.kz/en/>) и ВКТУ им. Д.Серикбаева (<https://www.ektu.kz>). В качестве сырья использовались литий-ионные аккумуляторы отработанных сотовых телефонов одной марки в количестве 4 шт. Для измельчения материалов использовалась барабанная дробилка QL-500. Для гравитационного обогащения в воздушной среде использовалась лабораторная установка показанная на рисунке 1.



1 – питатель; 2 – циклон; 3 – бункер; 4 – насос

Рисунок 1 – Установка воздушной сепарации

Литий-ионные аккумуляторы были разобраны вручную. Литий-ионный аккумулятор состоит из корпуса, анода и катода. Анод представляет собой медную ленту (рисунок 2а), а катод ленту из алюминия (рисунок 2б) с нанесенной смесью из углерода, оксида лития и других элементов, разделителя и электролита. Содержимое одного аккумулятора (анод, катод и т.д.) были тонко измельчены с целью определения их химического элементного и фазового состава. Измельченный материал от остальных 3х батарей подавался в питатель, и затем под воздействием разряжения создаваемого установкой (мощностью = 1800 w) попадал поочередно в циклоны и затем в бункер. Отделенный от металлических лент порошок был просушен в муфельной печи при температуре 250 °С с целью удаления растворителя электролита. Для изучения фазового состава применялся рентгеновский дифрактометр X'Pert PRO производства компании «PANalitical» (Таблица1).

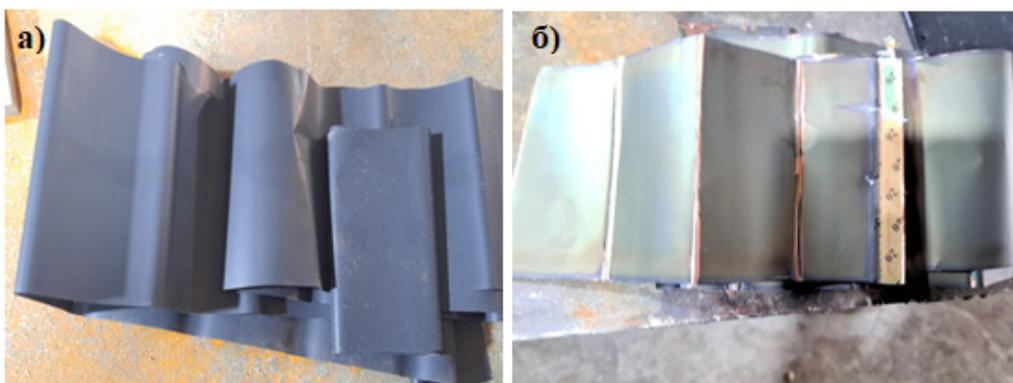


Рисунок 2 – Анод (а) и катод (б) литий-ионного аккумулятора

Элементный состав материалов определяли с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS 7500 сx от Agilent technologies (США) (Таблица 2).

Результаты и обсуждение

Состав литий-ионных батарей представлен в таблице 1. Видно, что смесь LiCoO_2 и углерода составляет до 27,1 % и 16,3 % соответственно. Содержание алюминия и медь достигает 14,7 %. Средний вес батареи, такой как BL-51YF = 200 г.

Таблица 1 – Состав литий-ионных батарей в % от массы

Компонент	LiCoO_2	Cu/Al	C	Остальное
Масса, %	27,1	14,7	16,3	41,9

Предварительно извлеченные из корпуса батареи анод и катод были измельчены с помощью барабанной дробилки до фракции < 10 мм (рисунок 3а). Уже на этой стадии практически весь материал, находящийся в батарее в виде порошка и содержащий углерод, оксида лития и другие элементы был отделен от лент (рисунок 3б). Однако часть материала лент из Cu и Al в виде кусочков в нем осталась. На следующей стадия было осуществлено более мелкое измельчение смеси медной и алюминиевой лент показанной на рисунке 3а до фракции < 2 мм. Затем смесь была подана на воздушную сепарацию. Отделенный на первой стадии измельчения порошкообразный материал с кусочками металлических лент показанный на рисунке 3б, также был отправлен на воздушную сепарацию.

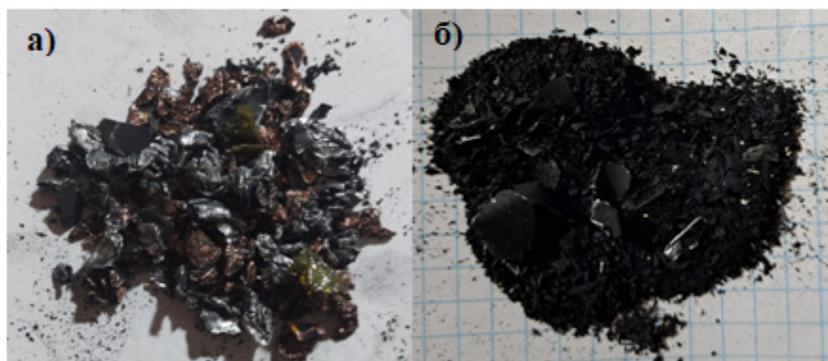


Рисунок 3 – Анод и катод после измельчения до фракции < 10 мм - (а); отделенный литий содержащий материал с кусочками лент анода и катода - (б)

Схема предварительной переработки представлена на рисунке 4.

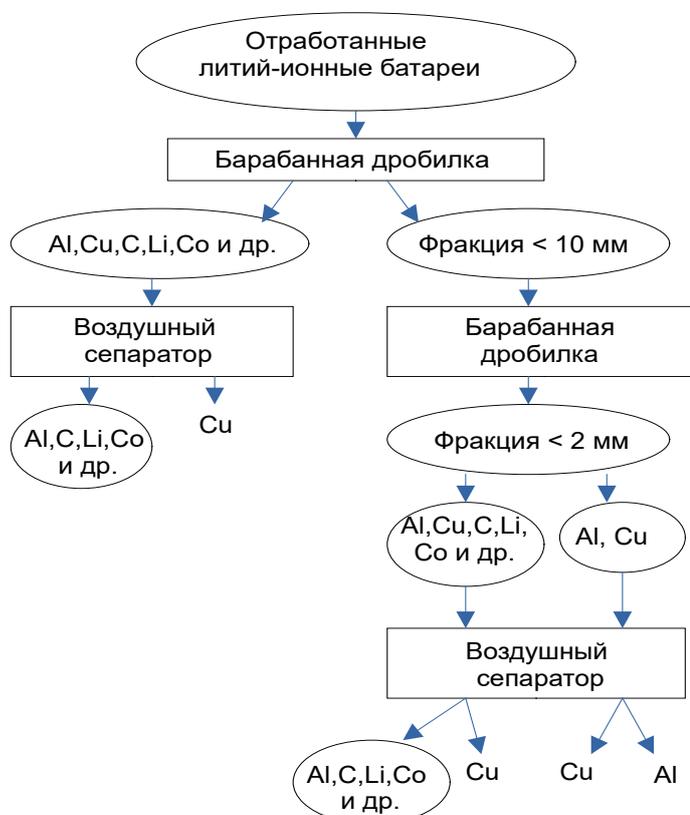


Рисунок 4 – Схема предварительной переработки отработанных литий-ионных батарей

В результате проведенных операций на выходе было получена порошкообразная смесь $Al, LiCoO_2$ и C (рисунок 5а), а также кусочки из Cu (рисунок 5б) и Al (рисунок 5в). Состав полученных продуктов представлен в таблице 2. Видно, что в результате предварительного разделения на стадии измельчения была отделена

практически вся часть, содержащая Cu и Al. Далее на стадии воздушной сепарации из порошкообразной части отделяется Cu, и разделяются Cu и Al отделившиеся от порошкообразной части на стадии дробления. В противном случае на стадии воздушной сепарации отделить Al ($2,7 \text{ г/см}^3$) от смеси содержащей оксид кобальта ($5,2 \text{ г/см}^3$), оксида лития $2,01 \text{ г/см}^3$ и углерода ($1,9\text{--}2,7 \text{ г/см}^3$) было бы затруднительно.

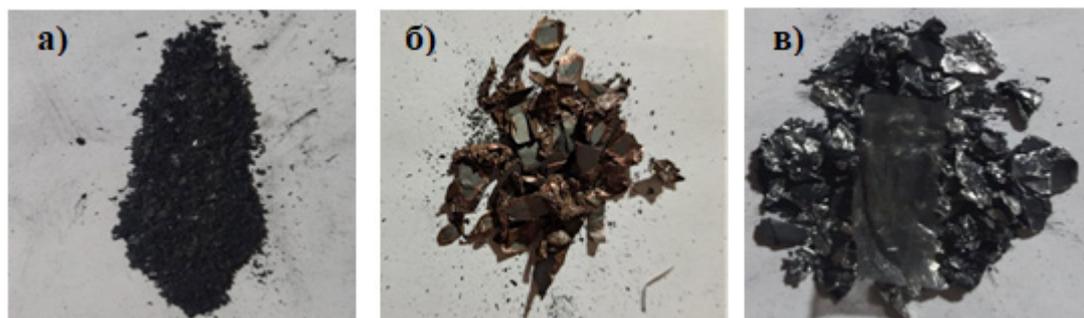


Рисунок 5 – Порошкообразная смесь LiCoO_2 и C (а); разделенные ленты из Cu (б) и Al (в)

Также в полученных продуктах присутствует пластик и другие компоненты (остальное)

Таблица 2 – Состав полученных продуктов в % от массы

а)	Компонент	LiCoO_2	Cu/Al	C	Остальное
	Масса, %	54,1	0,2	33,2	12,5
б)	Компонент	$\text{LiCoO}_2\text{+C}$	Cu	Al	Остальное
	Масса, %	0,12	87,3	2,3	10,28
в)	Компонент	$\text{LiCoO}_2\text{+C}$	Al	Cu	Остальное
	Масса, %	19,1	73,7	0,3	6,9

Выводы

Экспериментально установлено, что предварительная обработка отработанных измельченных литий ионных батарей, включающая двух этапное измельчение, и воздушную сепарацию позволяет отделить Cu и Al от смеси $\text{LiCoO}_2\text{+C}$. Полученные продукты являются пригодными для продажи и представляют коммерческую ценность. Полученную смесь $\text{LiCoO}_2\text{+C}$ возможно отправлять на процесс термического восстановления с использованием Al полученного при сепарации. Авторы планируют продолжать эксперименты, в этом направлении, а также изучить различные режимы воздушной сепарации (мощность установки и т.д.) и степени измельчения сырья с целью достижения большей степени разделения продуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Официальный сайт Геологической службы США // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. – January, 2021. – [Электронный ресурс]. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>.

2 **Zou, H., Gratz, E., Apelian, D. & Wang, Y.** A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries. *Green Chem.* – 15. – 2013. – 1183–1191.

3 **Gu, F., Guo, J., Yao, X., Summers, P. A., Widijatmoko, S. D., & Hall, P.** An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China // *Journal of Cleaner Production.* – 161. – 2017. – 765–780. – <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.181>.

4 Официальный сайт компании TADVISER // Рынок смартфонов Казахстана [Электронный ресурс]. – [https://www.tadviser.ru/index.php/\(рынок Казахстана\)](https://www.tadviser.ru/index.php/(рынок%20Казахстана)).

5 **Hui Dang, Na Li, Zhidong Chang, Benfeng Wang, Yifei Zhan, Xue Wu, Wenbo Liu, Shujaat Ali, Hongda Li, Jiahui Guo, Wenjun Li, Hualei Zhou, Changyan Sun.** (2020) Lithium leaching via calcium chloride roasting from simulated pyrometallurgical slag of spent lithium ion battery, *Separation and Purification Technology*, 233, 116025, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116025>.

6 **Yiqi Tang, Beilei Zhang, Hongwei Xie, Xin Qu, Pengfei Xing, Huayi Yin** Recovery and regeneration of lithium cobalt oxide from spent lithium-ion batteries through a low-temperature ammonium sulfate roasting approach, *Journal of Power Sources.* – 474. – 2020. – 228596. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228596>.

7 **Lei Shuya, Cao Yang, Cao Xuefeng, Sun Wei, Weng Yaqing, Yang Yue.** Separation of lithium and transition metals from leachate of spent lithium-ion batteries by solvent extraction method with Versatic 10, *Separation and Purification Technology* 250. – 2020. – v117258. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117258>.

8 **Chernyaev, A., Wilson, B.P. & Lundström, M.** Study on valuable metal incorporation in the Fe–Al precipitate during neutralization of LIB leach solution. // *Sci Rep* 11. – 23283. – 2021. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02019-2>.

9 **Yuchen Hu, Yajuan Yu, Kai Huang, Lei Wang.** Development tendency and future response about the recycling methods of spent lithium-ion batteries based on bibliometrics analysis // *Journal of Energy Storage.* – 27. – 2020. – 101111. – ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101111>.

10 **Shaw-Stewart, J., Alvarez-Reguera, A., Greszta, A., Marco, J., Masood, M., Sommerville, R., & Kendrick, E.** Aqueous solution discharge of cylindrical lithium-ion cells. *Sustainable Materials and Technologies*, e00110. 2019. – <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00110>.

REFERENCES

- 1 Official`ny`j sajt Geologicheskoy sluzhby` SShA [US Geological Survey official website] // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. January, 2021. [Electronic resource]. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-lithium.pdf>
- 2 **Zou, H., Gratz, E., Apelian, D. & Wang, Y.** A novel method to recycle mixed cathode materials for lithium ion batteries // *Green Chem.* – 15. – 2013. – 1183–1191.
- 3 **Gu, F., Guo, J., Yao, X., Summers, P. A., Widijatmoko, S. D., & Hall, P.** An investigation of the current status of recycling spent lithium-ion batteries from consumer electronics in China // *Journal of Cleaner Production.* – 161. – 2017. – P 765–780. – doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.181.
- 4 Official website of TADVISER // Рынок смартфонов Казахстана. – [Electronic resource]. – [https://www.tadviser.ru/index.php/\(рынок_Казахстана\)](https://www.tadviser.ru/index.php/(рынок_Казахстана))
- 5 **Hui Dang, Na Li, Zhidong Chang, Benfeng Wang, Yifei Zhan, Xue Wu, Wenbo Liu, Shujaat Ali, Hongda Li, Jiahui Guo, Wenjun Li, Hualei Zhou, Changyan Sun.** Lithium leaching via calcium chloride roasting from simulated pyrometallurgical slag of spent lithium ion battery // *Separation and Purification Technology.* – 233. – 2020. – 116025. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116025>.
- 6 **Yiqi Tang, Beilei Zhang, Hongwei Xie, Xin Qu, Pengfei Xing, Huayi Yin.** Recovery and regeneration of lithium cobalt oxide from spent lithium-ion batteries through a low-temperature ammonium sulfate roasting approach, *Journal of Power Sources.* – 474. – 2020. – 228596. – <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228596>.
- 7 **Lei Shuya, Cao Yang, Cao Xuefeng, Sun Wei, Weng Yaqing, Yang Yue.** 2020 Separation of lithium and transition metals from leachate of spent lithium-ion batteries by solvent extraction method with Versatic 10 // *Separation and Purification Technology* 250. – 2020. – v117258. – <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117258>.
- 8 **Chernyaev, A., Wilson, B.P. & Lundström, M.** Study on valuable metal incorporation in the Fe–Al precipitate during neutralization of LIB leach solution // *Sci Rep* 11. – 2021. – 23283. – <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02019-2>.
- 9 **Yuchen Hu, Yajuan Yu, Kai Huang, Lei Wang.** Development tendency and future response about the recycling methods of spent lithium-ion batteries based on bibliometrics analysis // *Journal of Energy Storage.* – 27. – 2020. – 101111. – ISSN 2352-152X. – <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101111>.
- 10 **Shaw-Stewart, J., Alvarez-Reguera, A., Greszta, A., Marco, J., Masood, M., Sommerville, R., & Kendrick, E.** Aqueous solution discharge of cylindrical lithium-ion cells. *Sustainable Materials and Technologies.* – 2019. – e00110. – doi:10.1016/j.susmat.2019.e00110.

Принято к изданию 20.08.23

**Р. В. Сапинов¹, Ж. Шошай², А. Б. Баева³, С. Ю. Маркова⁴, Р. К. Омаров⁵*

^{1,2,4,5}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ. ;

³Ұлттық сараптама орталығы ШЖҚ РМК Павлодар облысы бойынша санитарлық-гигиеналық зертхана ҚР ДСМ КЭК,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Басып шығаруға 20.08.23 қабылданды.

ҰСАҚТАЛҒАН ЛИТИЙ-ИОНДЫ БАТАРЕЯЛАРДЫ АУА СЕПАРАЦИЯ АРҚЫЛЫ АЛДЫН АЛА БӨЛУ

Литий-ионды аккумуляторларды қайта өңдеудің ең кең таралған технологиялары оларды пирометаллургиялық өңдеумен және кейіннен шаймалаумен байланысты. Пирометаллургиялық әдістер энергияны қажет етеді және қоршаған ортаға қауіпті. Осылайша, материалдарды алдын-ала бөлу технологиясын жасау өте өзекті және маңызды болады, бұл қалдық батареяларды қайта өңдеу тиімділігінің артуына әкеледі. Материалдарды бөлудің физикалық әдістері тиімділігі мен тұрақтылығымен ерекшеленеді. Бүгінгі таңда физикалық принциптер бойынша бөлудің әртүрлі әдістері бар. Электростатикалық әдістерді қолдану мүмкін емес, өйткені батареяларды ұсақтағаннан кейін алынған шикізаттағы металдар (мыс және алюминий) мен литий оксиді өткізгіш болып табылады және бөлінбейді. Су ортасында гравитациялық байытуды қолдану да мүмкін емес. Литий оксиді сумен әрекеттесіп, сілті түзеді. Сондай-ақ, ауа ортасында гравитациялық байытудың жолдары бар. Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, бұл зерттеудің мақсаты металдарды бөлу процесін және ауа ағынындағы гравитациялық принциптер бойынша көміртегі мен литий оксиді қоспасын зерттеу болып табылады. Бұл технология барлық артықшылықтарға, аппараттық дизайнның қарапайымдылығына және қолданыстағы өндіріске енгізуге ие. Екі кезеңді ұнтақтау, және ауаны бөлу Си және Al-ді $LiCoO_2 + C$ қоспасынан бөлуге мүмкіндік береді. $LiCoO_2 + C$ қоспасын бөлу кезінде алынған Al көмегімен термиялық қалпына келтіру процесіне жіберуге болады.

Кілтті сөздер: литий-ионды батареялар, алюминий, мыс, қайта өңдеу, литий, кобальт.

**R. V. Sapinov¹, Zh. Shoshai², A. Bayeva³, S. Y. Markova⁴, R. K. Omarov⁵*

^{1,2,4,5}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Accepted for publication on 20.08.23.

PRE-SEPARATION OF SHREDDED LITHIUM-ION BATTERIES BY AIR SEPARATION

The most common technologies for processing lithium-ion batteries are associated with their pyrometallurgical processing and subsequent leaching. Pyrometallurgical methods are energy-consuming and dangerous for the environment. Thus, the development of a technology for the preliminary separation of materials will be extremely relevant and important, which will lead to an increase in the efficiency

of processing spent batteries. Physical methods of separating materials compare favorably with their efficiency and environmental friendliness. To date, there are various methods of separation based on physical principles. Electrostatic methods cannot be applied, since the metals (copper and aluminum) and lithium oxide in the raw material obtained after grinding the batteries are conductors and will not separate. The use of gravity enrichment in the aquatic environment is also not possible. Lithium oxide reacts with water to form alkali. There are also methods of gravitational enrichment in the air. Based on the foregoing, the purpose of this study is to study the process of separation of metals, and a mixture of carbon with lithium oxide on gravitational principles in an air stream. This technology has all the advantages, simplicity of hardware design and implementation in existing production. Two-stage grinding and air separation allows separating Cu and Al from the $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$ mixture. The resulting products are suitable for sale and represent commercial value. The $\text{LiCoO}_2 + \text{C}$ mixture can be sent to the thermal reduction process using the Al obtained during separation.

Keywords: lithium-ion batteries, aluminum, copper, recycling, lithium, cobalt.

Теруге 08.12.23 ж. жіберілді. Басуға 29.12.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,26 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4166

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz