



# Рециклинг литий-ионных аккумуляторов с получением функциональных материалов

Немерюк Алексей Михайлович

Инженер-технолог отдела инжиниринга химико-технологических процессов Курчатовского комплекса физико-химических технологий НИЦ «Курчатовский институт»

Москва, 18 марта 2026

Технология рециклинга  
химических источников тока

Разработка технологии получения  
механоактивированных порошков с высокой  
удельной поверхностью и пористостью

Получение твердотопливных композиций с  
заданной теплотворной способностью  
методом прокатки

Технологии промышленной экологии.  
Разработка технологии получения целевых  
продуктов на основе отходов предприятия  
3-5 класса опасности

Разработка методов получения функциональных  
продуктов из растворов и суспензий методом сушки,  
пигментных паст и порошков методами  
диспергирования и гранулирования

Перспективные направления: разработка  
криохимических технологий получения  
пигментов



Ноутбуки  
Планшеты  
Смартфоны



Электробусы  
Электросамокаты  
Электромобили



**LTO**



**NMC**



**LFP**

Отсутствие комплексной переработки отработанных ЛИА и возможности получения катодных материалов различных типов для повторного использования в аккумуляторах делают эту технологию актуальной

Типы литий-ионных аккумуляторов для электротранспорта

- Литий-титанатные аккумуляторы ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) (LTO);
- Со смешанным катодным материалом  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC);
- Литий-железофосфатные аккумуляторы ( $\text{LiFePO}_4$ ) (LFP).

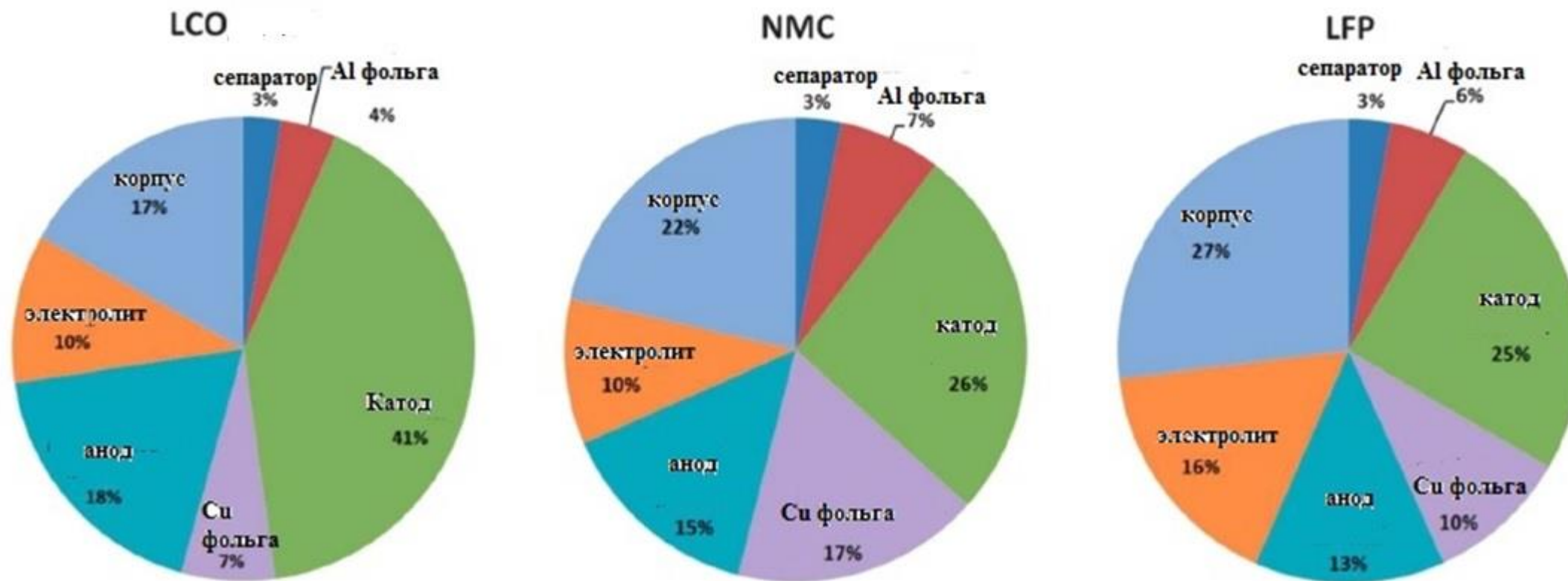
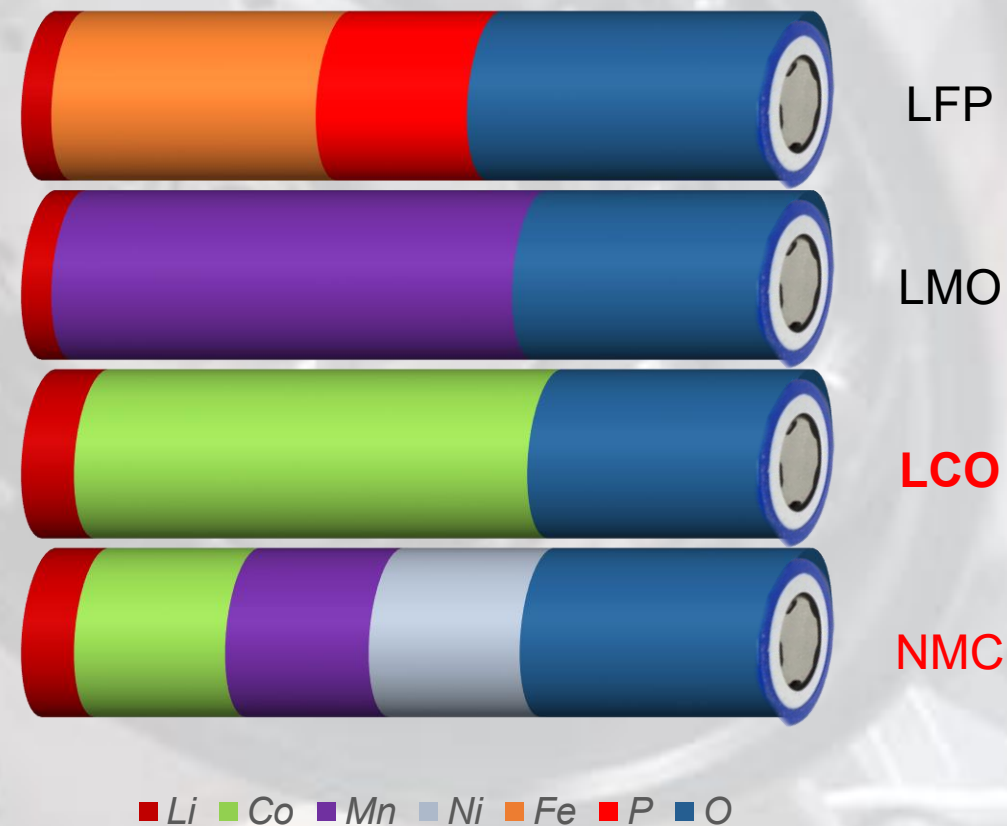


Рис. 1 . Компонентный состав литий-ионных аккумуляторов с катодными материалами  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiMnCoO}_2$  и  $\text{LiFePO}_4$

Таким образом, содержание катодного материала ( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiMnCoO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ) варьируется от 25 до 41 масс. %. Анодного материала (графита) – от 13 до 18 масс. %. Смесь катодного и анодного материала представляет собой «черную массу» для переработки с общим содержанием ценных компонентов от 38 до 59 % масс.

В среднем в литий-ионном аккумуляторе содержится до 27 % масс. катодного материала

Тип катодного материала	Усредненное содержание элемента, % масс.						
	Li	Co	Mn	Ni	Fe	P	O
<b>Оксид лития-кобальта</b> <b>LiCoO<sub>2</sub> (LCO)</b>	<b>7</b>	<b>60</b>	—	—	—	—	<b>33</b>
<b>Оксид лития-никеля-марганца-кобальта</b> <b>LiNiMnCoO<sub>2</sub> (NMC)</b>	<b>7</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	—	—	<b>34</b>
Литий-железо-фосфат LiFePO <sub>4</sub> (LFP)	4	—	—	—	35	20	41
Оксид лития-марганца LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (LMO)	4	—	61	—	—	—	35

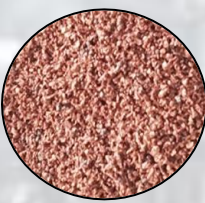
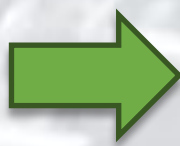




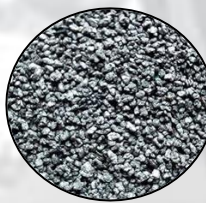
# Внешний вид получаемых целевых компонентов с различных стадий переработки аккумуляторов



Техногенный ресурс



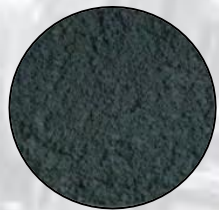
Медь



Алюминий



Железо



Катодный материал с содержанием Li, Co, Ni, Mn



Графит



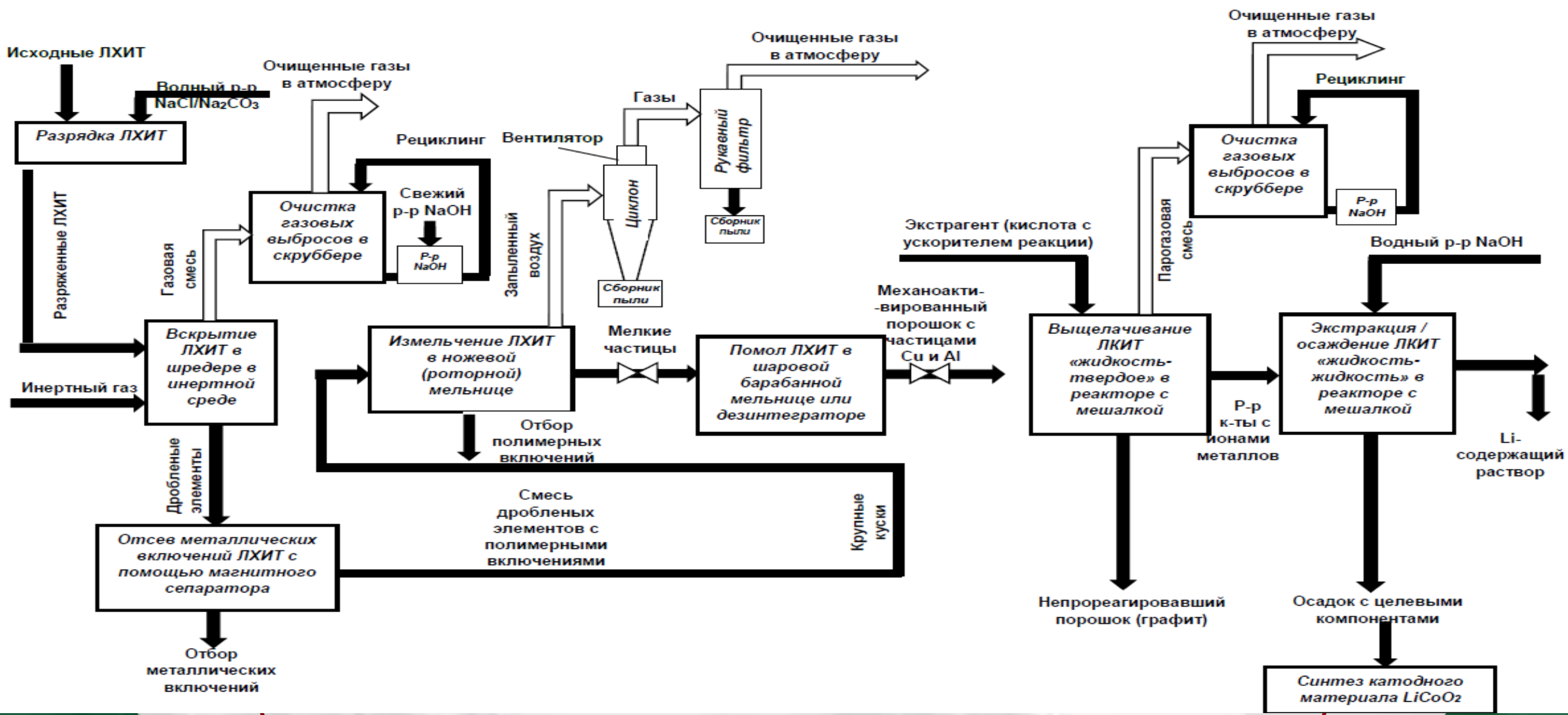
Никель  
металлический



Катодный материал  
 $\text{LiCoO}_2$  из вторичного сырья



# Технологические разработки. Блок-схема рециклинга ЛИА





# Технологические разработки. Разработанное стандартное и нестандартное оборудование отдельных участков рециклинга литий-ионных аккумуляторов

Щредер  
ИМ-2х200



Измельчитель  
Glater-3 с  
аспирацией



Дезинтегратор  
ДЗГ-200 НР



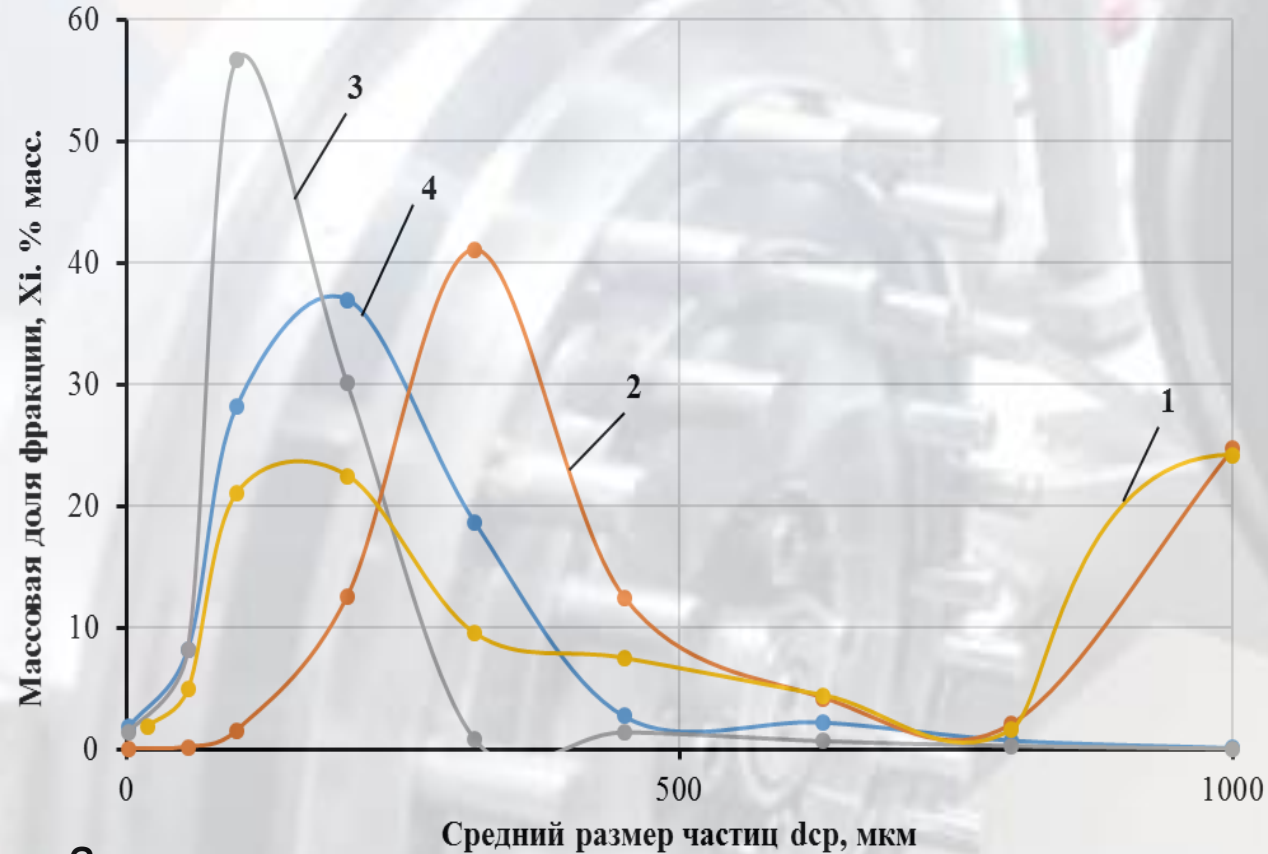
Мембранный модуль  
для концентрирования



Распылительная сушилка на  
стадии синтеза катодов ЛИА



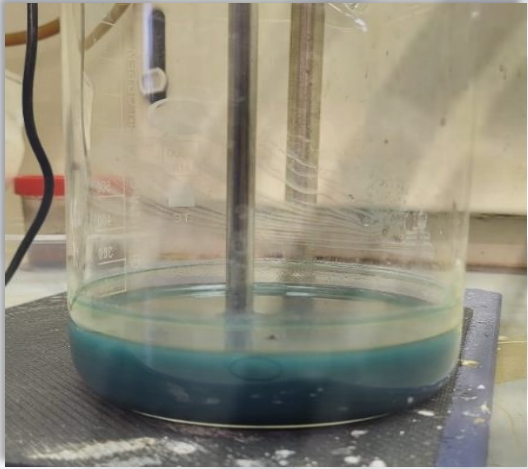
Стадии получения таких целевых продуктов, как соединения гидроксида кобальта, сульфата лития, металлического никеля.



Зависимость изменения гранулометрического состава ЛХИТ от типа применяемого оборудования и времени обработки ( $\tau$ )



Общий вид частиц ЛХИТ после 3-го прохода в дезинтеграторе ДЗГ-200 НР б)  $d_{\text{ч}} = (315-800)$  мкм; в)  $d_{\text{ч}} = (20-200)$  мкм



Вид раствора в начале цикла осаждения pH = 8.5

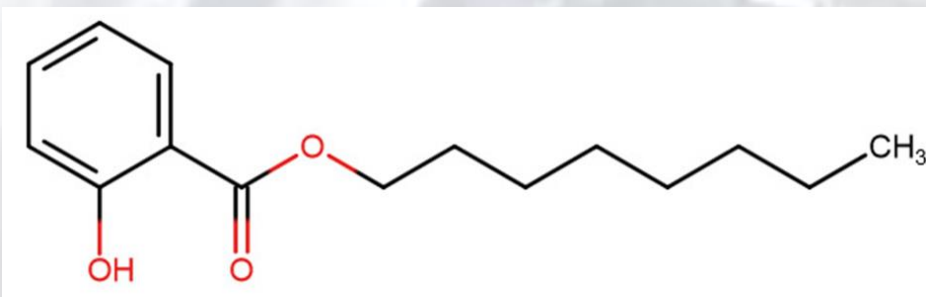
**Полученные по данной технологии гидроксиды кобальта и лития затем используются при изготовлении катодных материалов аккумуляторов в виде  $\text{LiCoO}_2$  или  $\text{LiNiMnCoO}_2$**



Раствор в конце цикла осаждения, содержащий  $\text{Co(OH)}_2$  (осадок)  $\text{(Li}_2\text{SO}_4\text{)}$  (раствор), из которого получают LiOH



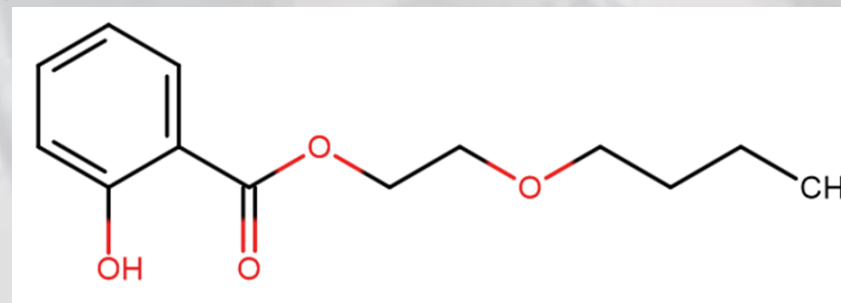
Экстракция в системе жидкость-жидкость перспективный метод извлечения лития из отходов ЛИА. Применение селективных реагентов позволяет обеспечить выделение лития в присутствии ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ .



н-октиловый эфир салициловой кислоты

Результат:

1. Увеличение селективности лития по отношению к натрию и увеличение концентрации лития в 2 раза



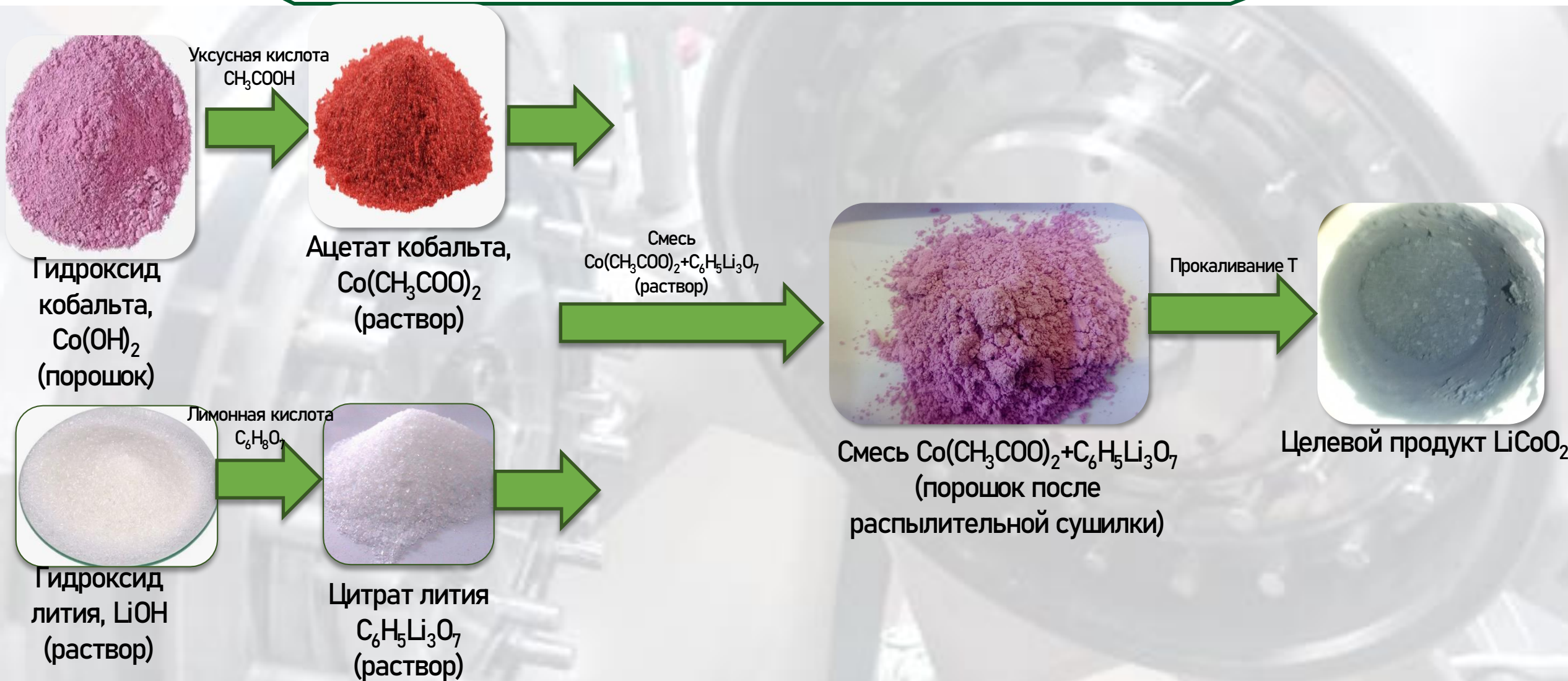
2-бутоксипропиловый эфир салициловой кислоты

Результат:

2. Увеличение селективности лития по отношению к натрию и увеличение концентрации лития в 11 раз



# Технологические разработки. Получение катодного материала из вторичного сырья





## Получаемые промежуточные и целевые компоненты при переработке концентрата лития, кобальта, никеля и марганца («чёрной массы») литий-ионных аккумуляторов

Промежуточные компоненты	Целевые компоненты
Гидроксид кобальта – $\text{Co}(\text{OH})_2$ (порошок) – от 5 до 20 % масс. (в зависимости от типа катодного материала)	Оксид лития кобальта – $\text{LiCoO}_2$ (порошок) – (Возможность получить до 100 г с 1 кг аккумуляторов)
Сульфат лития – $\text{Li}_2\text{SO}_4$ (раствор) до 2,5 % масс	Металлический никель (Ni) – при условии переработки аккумуляторов с катодным материалом $\text{LiNiMnCoO}_2$ Возможность получить до 150 г с 1 кг аккумуляторов



Решение сложных  
нестандартных задач

Разработка ТУ и  
паспортов безопасности



Аналитическое  
сопровождение



Определение уровня  
содержания действующего  
вещества и влажности



Количественное и  
качественное определение  
состава композиций

Входной контроль сырья и  
выходной контроль качества  
готовой продукции



## Базовый инжиниринг

- ✓ Подготовка НТД (регламенты, паспорта безопасности, ТУ) в рамках выполнения задач национального проекта (Н) «Новые материалы и химия».
- ✓ Разработка отдельных разделов исходных данных на проектирование в соответствии с положением об исходных данных для проектирования от 30.01.2002
- ✓ Разработка эскизов чертежей общего вида модульных установок получения монодисперсных шихт и порошков, высокодисперсных систем

## Технологический функционал

- ✓ Исследование реакционных, экстракционных процессов; сушки, грануляции и агломерирования
- ✓ Выдача рекомендаций по диспергирующему, гомогенизирующему, массообменному и измельчающему оборудованию, на основе расчета материальных и тепловых балансов и технологических параметров
- ✓ Отработка процессов и масштабирование технологий диспергирования порошков с размером  $d < 10$  мкм
- ✓ Разработка способов получения компонентов литий-ионных источников тока (Li, Ni, Co, Mn) на основе комплексной переработки отработанных аккумуляторов

## Поисковые работы

- ✓ определение принципиальной возможности получить материал, в частности, той или иной дисперсности и активности

## Потенциальные перспективные направления взаимодействия в области рециклинга ЛИА. Что мы предлагаем?

Оказание комплексных инженеринговых услуг

Разработка технических заданий на нестандартные блочно-модульные установки ( $V < 0,6 \text{ м}^3$ ), оборудование, и комплексные линии производства веществ различной чистоты

Разработка технологии рециклинга химических источников тока применительно к требованиям Заказчика

Проведение НИОКР по разработке рецептур и опытных партий компонентов ЛИА методами диспергирования

Вторичная переработка металлсодержащих отходов (измельчение, классификация, магнитная сепарация, брикетирование)

Аналитическое сопровождение для проведения рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов и методов электронной и зондовой микроскопии

Вторичная переработка пластмасс и полимерных материалов (термообработка, физико-химические процессы и экструдирование)

Подбор профильного лабораторного и пилотного оборудования в технологии малотоннажной химии



123182, Россия, г. Москва,  
Площадь Академика Курчатова, д. 1

Тел.: +7 (499) 196-95-39

Факс: +7 (499) 196-17-04

E-mail: [nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)