

УДК 378.1, 004.9

## МИРОВОЙ ОПЫТ И ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**М. Н. МОЙСЕЕНКО***(Представлено: М. В. СЕМЕНЧЕНКО)*

*В статье проанализированы современные проблемы утилизации автомобильного транспорта в Республике Беларусь и за рубежом с учетом роста парка электромобилей. Рассмотрены мировые практики переработки литий-ионных аккумуляторов и предложены адаптированные решения для белорусских условий. Проведена корреляция между системами утилизации традиционных и электрических транспортных средств.*

**Введение.** Быстрое увеличение количества автомобильного транспорта в Республике Беларусь обуславливает необходимость развития эффективной системы утилизации. Особую актуальность приобретает вопрос переработки электромобилей и их аккумуляторных батарей, поскольку парк электротранспорта в стране демонстрирует устойчивый рост. Согласно данным Министерства транспорта и коммуникаций РБ, на начало 2024 года в республике было зарегистрировано более 2,5 тысяч электромобилей, что создает предпосылки для формирования специализированной инфраструктуры утилизации. [4]

**Методы исследований.** В работе использованы методы сравнительного анализа, статистические методы обработки данных, экспертные оценки и нормативно-правовой анализ. Исследование основано на данных Белстата, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ, а также международных организаций по переработке автомобильной техники. [5]

**Современное состояние утилизации автомобилей в Беларуси.** Система утилизации автомобилей в Республике Беларусь регламентируется Законом "Об обращении с отходами" и техническим кодексом установившейся практики ТКП 17.11-06-2016 "Правила обращения с отходами автомобильного транспорта". Основными предприятиями, осуществляющими утилизацию, являются ОАО "Белвормет", УП "Белцветмет" и ряд частных компаний.

Существующая технологическая цепочка включает:

- Демонтаж компонентов
- Сортировку материалов
- Прессование кузовов
- Переработку черных и цветных металлов

Однако система имеет существенные недостатки: низкий процент извлечения редкоземельных металлов, отсутствие специализированных линий для переработки электронных компонентов и ограниченные мощности для работы с композитными материалами. А главный недостаток – отсутствие технологий, инфраструктуры и знаний в области утилизации электромобилей. [1 – 2]

**Мировой опыт утилизации электромобилей и аккумуляторов.** Международная практика демонстрирует уже несколько эффективных подходов к утилизации электромобилей.

**1. Direct recycling: «регенерация» активного материала.** Вместо того чтобы полностью разрушать структуру катода и восстанавливать металлы, некоторые методы пытаются восстановить катод так, чтобы он опять мог работать почти как новый. Примеры: Проект **RecyLIB** в ЕС: процесс прямого рециклинга литий-ионных батарей, с минимальным расходом энергии, без токсичных растворителей, и последующим использованием восстановленного материала в новых электродах. В Корее: метод восстановления «spent cathode material» путем раствора с бромом и алюминия, где ионы лития повторно внедряются в структуру катода – без высоких температур и агрессивной химии. Результат: восстановление до 100 % емкости. Гидротермальная релитиация (hydrothermal relithiation) + спекание: восстановление катодов через гидротермическую обработку и термическое восстановление. [6]

**2. Recovery of lithium: прямая добыча лития из «черной массы» и отходов.** Французская компания «Adionics» использует технологию Flionex: прямая экстракция чистого лития из «черной массы» (измельченные батареи после первичной обработки), с высокой чистотой – подходящая для прямого использования при производстве батарей. [5]

**3. Автоматизация разборки, предобработка, сортировка.** Проект **RESTORE** (ЕС) предполагает автоматическую сортировку, безопасность, умную разборку и отделение материалов, чтобы повысить выход полезных компонентов и снизить затраты. Завод **BLC** в Магдебурге (Германия) внедрил первую в Европе автоматизированную установку «deep discharge» аккумуляторов, которая разряжается быстро (вместо 24 часов — менее 15 минут), безопасно и высокоэффективно. [5]

4. Вторичная жизнь («Second Life») и повторное использование. Redwood Materials: старые батареи, еще способные хранить до ~50 % емкости, используются для стационарного хранения энергии и создания микросетей. Проект REBORN в ЕС: создание модульных систем батарей из вышедших из строя автомобильных аккумуляторов, адаптированных под разные применения – логистика, сельское хозяйство, хранение энергии. [3,5]

**5. Новые химические / физические методы с улучшенной экономикой и меньшим воздействием.** Flash Joule Heating: быстрый нагрев, используемый для разделения и извлечения металлов с более низкими энергозатратами. Механохимические методы: комбинация механического дробления и реакций, чтобы извлечь литий без агрессивных химикатов и сильного нагрева. [5 – 6]

#### **Текущее состояние утилизации электромобилей в Беларуси.**

Существует ряд компаний по сбору, хранению и транспортировке аккумуляторов электромобилей. Эти компании не перерабатывают батареи сами, но они являются критически важным звеном в цепочке. Они аккумулируют батареи, правильно их хранят (часто на специально оборудованных площадках с соблюдением правил пожарной безопасности) и затем организуют их экспорт для переработки в другие страны. Примеры таких компаний:

- «БелВТИ» (и его филиалы по областям): Как один из крупнейших игроков на рынке вторичных ресурсов, они активно занимаются сбором и подготовкой к переработке всех видов аккумуляторов, включая литий-ионные. Они имеют необходимые лицензии на обращение с опасными отходами.
- «Белцветмет»: Государственный холдинг, который является централизованным оператором по приему лома цветных металлов и отработанных аккумуляторов. Они также собирают Li-ion батареи и формируют партии для отправки за границу.
- Специализированные компании по обращению с отходами: Некоторые частные компании, имеющие лицензию на работу с опасными отходами (I-IV класса опасности), также принимают такие батареи. Их можно найти через каталоги отходов или по запросу "утилизация аккумуляторов" в Беларуси. [1 – 2]

**Рост количества электромобилей.** За последние 5 лет мировой парк электромобилей вырос более чем в 5,5 раз. Электромобиль перестал быть нишевым продуктом и стал мейнстримом, определяющим будущее автомобильной промышленности. В Беларуси в 2019 году насчитывалось около 1500 электромобилей, однако уже к 2024 году это число выросло в несколько раз и количество электромобилей уже насчитывало более 35000. На сегодняшний день примерно каждый 150-й автомобиль на дорогах Беларуси — электрический. Это маленькая, но очень заметная и быстрорастущая часть транспортной экосистемы страны. Что касается зарубежных стран, в Китае 35% всех продаваемых автомобилей – электромобиль, в Норвегии 90%, в Германии около 20%. В каждой стране мира количество электромобилей увеличивается, вытесняя автомобили с двигателем внутреннего сгорания, соответственно в каждой стране мира вопрос об утилизации электромобилей должен быть решен. Несмотря на то, что в Беларуси такова проблема не имеет сильное влияние, учитывая тенденцию рынка электромобилей, в скором времени эта проблема может стать на «первый план». [4 – 5]

**Закключение.** Существующая в Беларуси система утилизации, ориентированная на автомобили с ДВС, является неполной и технологически устаревшей. Она не готова к решению ключевой задачи — комплексной переработки электромобилей и их литий-ионных аккумуляторов. Главный системный недостаток — отсутствие специализированных технологий, инфраструктуры и экспертизы для утилизации компонентов электромобилей. В настоящее время Беларусь не имеет собственных промышленных предприятий, способных осуществлять полный цикл переработки тяговых батарей. Действующая модель сводится к сбору, безопасному хранению и экспорту опасных отходов (аккумуляторов) для переработки в другие страны (ЕС, Россия), что создает долгосрочные экономические и экологические риски. В стране действуют профильные государственные («Белвормет», «Белцветмет») и частные компании, которые обладают необходимыми лицензиями и выполняют функции первичного сбора и накопления отходов. Эта сеть может стать основой для создания национальной системы утилизации при условии ее технологического перевооружения. Зафиксированный экспоненциальный рост парка электромобилей (с ~1 500 в 2019 г. до >35 000 в 2024 г.) свидетельствует о том, что проблема утилизации батарей перейдет из категории потенциальных в категорию актуальных в среднесрочной перспективе (5-7 лет). Промедление с разработкой и внедрением решений приведет к накоплению критических объемов опасных отходов. Мировая практика предлагает готовые технологические решения для Беларуси, которые выходят за рамки простого захоронения или экспорта отходов. Наиболее релевантными являются: организация каскадного использования батарей («second life») для систем накопления энергии, а также внедрение передовых методов рециклинга (прямое восстановление катодных материалов, эффективное извлечение лития), позволяющих вернуть ценные компоненты в производственный цикл. Республика Беларусь стоит перед необходимостью безотлагательной разработки и реализации государственной программы по созданию наци-

ональной системы утилизации электромобилей. Эта программа должна включать развитие нормативно-правовой базы, стимулирование инвестиций в перерабатывающие технологии, подготовку кадров и внедрение наиболее эффективных и экологичных мировых практик, адаптированных к местным условиям. Промедление с принятием мер приведет к усугублению экологических угроз и потере потенциальной экономической выгоды от рециклинга ценных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт ОАО «Белвормет». Режим доступа: <https://belvtormet.by>. – Дата доступа: 25.09.2024.
2. Официальный сайт УП «Белцветмет». Режим доступа: <https://beltsvetmet.by>. – Дата доступа: 10.09.2024.
3. Официальный сайт Redwood Materials. Режим доступа: <https://www.redwoodmaterials.com>. Дата доступа: 25.09.2025. – Дата доступа: 15.09.2024.
4. Рынок электромобилей в Беларуси: итоги 2023 года и тенденции Автомобильный портал ABW.BY. Режим доступа: <https://abw.by/>.
5. Global EV Outlook 2024 [Электронный ресурс] / International Energy Agency (IEA). – 2024. – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> . – Дата доступа: 15.09.2024.
6. RecyLIB: Advanced Recycling of Lithium-Ion Batteries <https://cordis.europa.eu/project/id/958316>.