

Реконфигурация ландшафта технологий хранения энергии

Жозе Силва

Исследователь-постдокторант, jose.silva@fc.ul.pt

Институт Dom Luiz, факультет естественных наук, Лиссабонский университет (Dom Luiz Institut, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa), Португалия, Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal

Гильерме Тавора

Патентный эксперт, guilherme.p.tavora@inpi.pt

Португальский институт промышленной собственности (Portuguese Institute of Industrial Property – INPI), Португалия, Rua da Alfândega 35, 1100-521 Lisboa, Portugal

Сандро Мендонка

Профессор^a, преподаватель^b, sfm@iscte-iul.pt

^a Бизнес-школа Университетского института Лиссабона ISCTE (ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa), Группа бизнес-исследований (BRU-IUL), Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal; UECE/REM – ISEG, Лиссабонский университет, Португалия, Rua do Quelhas 6, 1200-781 Lisboa, Portugal;

^b Институт исследований научной политики Университета Сассекса (Science Policy Research Unit – SPRU, University of Sussex), Великобритания, Falmer, Brighton, UK

Аннотация

Развитие аккумуляторных технологий играет важную роль в стратегиях энергетического перехода. В статье представлен комплексный анализ тенденций инновационного развития в данном сегменте. Проанализированы свыше 700 000 патентов за 2005–2019 гг. Выявлены ведущие заявители и страны их происхождения (пятерку лидеров составляют Япония, Южная Корея, США, Германия и Китай). Рассмотрены различные типы и основные компоненты аккумуляторов, взаимосвязь их производства с экологически чистыми технологиями. Предложена типология аккумуляторных инноваций в категориях

«продуктовые – процессные» и «инкрементальные – радикальные». Из рассмотренных типов аккумуляторов наиболее динамично развиваются литий-ионные, а среди компонентов — электроды. Для развития «зеленой» энергетики особое значение имеет применение аккумуляторов в фотоэлектрической генерации и электромобилях. Более половины патентов относятся к инкрементальным инновациям, около 70% — к продуктовым. Представленные результаты могут служить ориентирами для инвестирования в разработки аккумуляторных и вспомогательных низкоуглеродных энергетических технологий.

Ключевые слова: аккумуляторные батареи; инновации; технологическая траектория; патентные данные

Цитирование: Silva J., Távora G., Mendonça S. (2023) Reconfiguring the Battery Innovation Landscape. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 34–50. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.34.50

Reconfiguring the Battery Innovation Landscape

José Silva

Post-Doctoral Researcher, jose.silva@fc.ul.pt

Dom Luiz Institut, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal

Guilherme Távora

Patent Examiner, guilherme.p.tavora@inpi.pt

Portuguese Institute of Industrial Property – INPI, Rua da Alfândega 35, 1100-521 Lisboa, Portugal

Sandro Mendonça

Professor ^a and Faculty ^b, sfm@iscte-iul.pt

^a ISCTE Business School, Business Research Unit (BRU-IUL), Avenida das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Portugal; UECE/REM – ISEG/ University of Lisbon, Rua do Quelhas 6, 1200-781 Lisboa, Portugal;

^b SPRU, University of Sussex, Falmer, Brighton, UK

Abstract

The development of battery technologies is critical for energy transition strategies. This paper offers a comprehensive assessment of the trends and developments of battery innovation. Over 700,000 patents from the period of 2005-2019 are compiled and analyzed. Leading patent applicants and countries of origin are identified. Major patent applicants are mostly large East Asian companies, while Japan and South Korea are the leading countries followed by the US, Germany, and China. Different battery designs, the main battery components, and interactions with other clean technologies are examined. Based on the operative definitions for incremental/radical and product/process innovations, a battery innovation

typology is set forth. The main findings are that patenting in batteries rises robustly and the lithium-ion battery is the most vibrant technology; lithium-sulfur and flow batteries are the most notable emerging technologies, while electrodes are the most salient battery component. The most significant interactions of batteries with clean energy technologies are between battery charging and photovoltaic energy as well as between battery charging and electric vehicles. Incremental innovation represents more than half of the patents, while product innovation represents approximately 70% of the total patents. This study presents findings that could be useful when making investment decisions on the development of battery and auxiliary low-carbon energy technologies.

Keywords: secondary batteries; innovation; technological trajectory; patent data

Citation: Silva J., Távora G., Mendonça S. (2023) Reconfiguring the Battery Innovation Landscape. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 34–50. DOI: 10.17323/2500-2597.2023.1.34.50

Необходимость снижения объема выбросов CO₂ и борьбы с эффектами климатического кризиса признана 195 странами, подписавшими в декабре 2015 г. Парижское соглашение (Paris Agreement)¹. Эта задача стимулировала трансформацию в сфере производства и использования энергии, подразумевающую, в частности, переход от ископаемого топлива к низкоуглеродным источникам (Fagerberg et al., 2016). В последние годы значительно возросло потребление ветровой и солнечной энергии, на долю которых в 2021 г. пришлось 10% мирового производства электроэнергии (IEA, 2021a). В ближайшее десятилетие ожидается дальнейший рост инвестиций в технологии, направленные на смягчение последствий изменения климата (IEA, 2021a; IPCC, 2021). Кроме того, энергетический кризис конца 2021 г., вызванный пандемией COVID-19 и геополитическими конфликтами, стимулировал попытки ускорить отход от традиционных систем энергообеспечения и защитить рынок от шоков и «узких мест».

Однако активное применение нестабильных и неконтролируемых источников энергии сопряжено с серьезными проблемами в управлении электросетями, что существенно ограничивает возможности для устойчивой реконфигурации социально-технологических систем (Sovacool et al., 2020). Выработка ветровой и фотоэлектрической энергии в значительной степени зависит от природных условий, а пики ее генерации не всегда совпадают с периодами максимального потребления. Для своевременного удовлетворения потребностей в энергии необходимы технологии, позволяющие хранить и по мере необходимости подавать в сеть излишки ее запасов, избегая потерь и снижая нагрузку на распределительную инфраструктуру (Castillo, Gayme, 2014). Использование подобных решений дает возможность регулировать мощности и контролировать качество передачи. Например, мелкие энергопроизводители могут накапливать запасы и продавать их, когда цена повышается, что укрепит стабильность и экономическую эффективность системы (Diesendorf, Wiedmann, 2020). Именно потенциальные финансовые преимущества часто мотивируют к установке небольших генеративных систем возобновляемой энергии (Hansen et al., 2022). Разработка эффективных технологий хранения энергии относится к актуальным экосистемным инновациям (Jesus, Mendonça, 2018; Lehmann et al., 2022). Они усиливают конкурентоспособность возобновляемых источников энергии, стимулируют повышение экологической ответственности общества и переход к экономике замкнутого цикла.

К наиболее перспективным альтернативным технологиям хранения энергии относятся аккумуляторные батареи. Благодаря высокой плотности энергии, модульности и малому времени «выхода на режим» (*response time*) они находят широкое применение для решения задач по хранению энергии (Van Noorden, 2014). Перечислим основные эффекты от их использования,

вносящие вклад в повышение энергетической безопасности:

- гибкое удовлетворение спроса на электроэнергию;
- минимизация перебоев энергоснабжения, повышение стабильности, надежности и прогнозируемости поведения электросетей (IEA, 2022);
- появление новых рынков и технологических возможностей (Shapiro, 2020);
- ускорение перехода к декарбонизации благодаря государственным инициативам по электрификации домохозяйств и транспорта (Velázquez-Martínez et al., 2019);
- в краткосрочной перспективе — создание «буферов» на случай сбоев, а в долгосрочной — расширение возможностей для адаптации (Azzuni, Breyer, 2019; Jindal, Shrimali, 2022).

Исследования инновационной активности в области энергетических технологий в последние годы динамично развиваются (Lee, Lee, 2013; Albino et al., 2014; Wong et al., 2014; Silva et al., 2015; Kittner et al., 2017). В частности, рассматриваются разработки, относящиеся к литиевым и другим типам аккумуляторов (Wagner et al., 2013; Stephan et al., 2017; Aaldering, Song, 2019), их применение в электромобилях (Feng, Magee, 2020; Golembiewski et al., 2015; Zhang et al., 2017), экологические аспекты и бизнес-модели производства литий-ионных аккумуляторов на основе замкнутого цикла (Albertsen et al., 2021; Dehghani-Sanij et al., 2019; Levänen et al., 2018). Проанализированы эффективность политических инструментов, стимулирующих внедрение экологически нейтральных решений (Bergek, Berggren, 2014), и основные тенденции патентования технологий хранения электроэнергии в контексте декарбонизации экономики (IEA, EPO, 2021). Патентные данные позволяют оценить глобальные, региональные, национальные и локальные аспекты, однако пока недостаточно используются для картирования и выявления перспективных технологий, ведущих производителей, институтов поддержки и центров технологического развития (IEA, EPO, 2021).

Представленная статья вносит вклад в изучение эффектов системной взаимозависимости, связанных с развитием аккумуляторных технологий. Следуя неохумпетерианской логике, они определяются как новые комбинации стационарных и мобильных систем хранения энергии, адаптирующиеся к изменчивому ландшафту потребления и производства энергии (Castellacci et al., 2005; Caraça et al., 2009). В результате изучения свыше 700 тыс. патентных заявок выявлены и охарактеризованы направления инновационной деятельности в области аккумуляторов, оценены темпы и типы соответствующих технологических изменений (Lhuillery et al., 2017). Аккумуляторные технологии представляют собой готовые практические решения, однако процесс их совершенствования отличается высокой наукоемкостью, а вывод на рынок требует времени (Mendonça et al., 2019).

¹ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, дата обращения 16.01.2023.

Аккумуляторы в контексте энергетического перехода

Роль технологий хранения энергии в развитии энергосистем

Накопительные системы состоят из множества компонент. Часть из них относятся к масштабным и стабильным, другие постоянно меняются (в плане функционала и др.) либо только формируются. Основным средством хранения электроэнергии в мире, с большим отрывом от других, остается гидроэнергетика (95% подключенных к электросетям резервных мощностей)². Данная технология характеризуется высокой зрелостью и одновременно обладает большим потенциалом ввиду малого времени «выхода на режим» и других преимуществ. Однако она применима лишь в некоторых регионах в определенные периоды и не может в полной мере покрыть потребности земле- и водопользования (Schulz et al., 2017). Среди альтернативных способов хранения энергии выделяются механические (например, на основе сжатого воздуха (*compressed-air energy storage*, CAES)), химические и электрохимические (топливные элементы или аккумуляторы).

Во время зарядки аккумулятора электрическая энергия преобразуется в электрохимическую. При необходимости она может быть трансформирована обратно в электричество, чтобы использоваться в другое время и, в некоторых случаях, в иной локации. Тем самым удовлетворяется спрос и повышается надежность энергосистемы в целом.

Интерес к аккумуляторам обусловлен универсальностью их применения для обеспечения энергоснабжения в самых разных обстоятельствах (от работы в электросетях до питания электрических транспортных средств). Хотя литий-ионные и свинцово-кислотные аккумуляторы до сих пор остаются конкурентоспособными, ожидается, что в ближайшие годы существенную долю рынка займут новые типы, со значительно большим потенциалом применения (IEA, 2020a). В то же время добыча сырья для обеспечения роста рынков электрического транспорта и систем сетевого хранения энергии увеличит нагрузку на экологические и социально-экономические системы (IEA, 2021b). Если доминирование литий-ионных технологий сохранится, данный аспект станет особенно актуальным. Расширение многообразия видов сырья и средств для производства аккумуляторов требует выявления новых альтернативных технологий (Metzger et al., 2023). Энергетические и транспортные системы отличаются высокими темпами цифровизации (Туровец и др., 2021), что создает новые вызовы для систем хранения энергии, включая аккумуляторные технологии. В условиях постпандемии, геополитических конфликтов, растущего разрыва между потреблением и благосостоянием населения цепочки поставок энергии испытывают повышенную нагрузку, усиливая спрос на инновации (Aaldering, Song, 2019; Golembiewski et al., 2015; IEA, 2020b; IEA, 2021b). Одним из главных ограничений для масштабирования произ-

водства аккумуляторов и дальнейшего снижения цен на них остается доступность сырья. Литий и кобальт относятся к невозобновляемым ресурсам, при этом их добыча, переработка и использование ведут к значительным экологическим издержкам (Metzger et al., 2023).

Инновации: неошумпетерианская перспектива

Производство аккумуляторов требует междисциплинарных знаний: теоретических, например, относящихся к электрохимии и материаловедению, и эмпирических (машиностроение, дизайн и др.) (Dodgson, 2008). Степень полезности аккумуляторов зависит от контекста применения, но в целом они рассматриваются как ключевой компонент сложных энергетических систем (Prencipe et al., 2005), взаимодействующий с другими технологиями, получая либо отдавая энергию (Berndt, 2003). Упомянутые системы подвергаются масштабным и быстрым структурным изменениям, чтобы соответствовать принципам устойчивого развития (Schot, Steinmueller, 2019).

Аккумуляторы служат посредниками при получении, накоплении и передаче энергии. Включенность в сети взаимосвязанных устройств означает зависимость от исходных источников питания и контекста применения, которые влияют на развитие рассматриваемых технологий в долгосрочной перспективе (Malhotra et al., 2021). Рыночный контекст определяет поведение субъектов инновационной деятельности, стремящихся выработать эффективные стратегии адаптации. Работа с массивами знаний позволяет выявить технологические тренды и понять роль различных социально-экономических проблем в стимулировании либо ограничении разработки новых решений. «Давление предложения» (*supply-pushes*) альтернативных технологий генерации электроэнергии в сочетании с «подтягиванием спроса» (*demand-pulls*) на конкурирующие между собой области энергопотребления определяет динамику развития технологических траекторий (Dosi, 1982; Nelson et al., 2018). Технологические изменения в рассматриваемой области происходят неравномерно. От выбора базового вектора зависит консолидация вторичных технологических решений, разработка которых часто становится следствием компромисса между инженерной сложностью и функционалом, с одной стороны, и социальными потребностями — с другой. Аккумуляторы все активнее используются для оптимизации работы энергосетей (IEA, 2020a), а расширение возможностей их применения облегчает освоение возобновляемых источников энергии (IEA, 2021a).

Традиционно аккумуляторы служили в качестве пусковых устройств в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания, а в современных электромобилях они играют роль основного источника питания. Ожидается, что в следующем десятилетии востребованность аккумуляторных электромобилей вырастет в восемь раз (Дхакал, Мин, 2020). Помимо электротранспорта, аккумуляторы все чаще встречаются в

² <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/statistics.html>, дата обращения 08.08.2022.

интеллектуальных энергосистемах с использованием возобновляемых источников и в мобильных электронных устройствах, которые постепенно интегрируются в новые социально-технические системы (умные дома и города, «устойчивая» мобильность и т. д.). Актуальная задача эмпирических исследований состоит в определении ключевых характеристик и функций аккумуляторов, что улучшит понимание ролей различных институтов, динамики промышленного развития и возможностей государственной политики.

Подход и данные

Патенты как индикатор

Патенты предоставляют ценные данные для анализа инновационной активности и факторов, лежащих в основе отраслевых моделей, географического положения, эволюции знаний и т. д. (Bathelt et al., 2017; Nagaoka et al., 2010; Patel, Pavitt, 2005). Подходам к оценке инновационной деятельности посвящена обширная литература, однако методов, позволяющих однозначно охарактеризовать ее, не существует (Dziallas, Blind, 2019; McKelvey, 2014). Измерить качественно различающиеся между собой феномены все еще затруднительно (Smith, 2006), но исследования в данной области продолжаются (Mendonça et al., 2021). Недостатки патентов хорошо известны, ими объясняется различная склонность к патентованию в зависимости от характера технологии, размера компании и др., а также выбор стратегии «непатентования» (*non-patenting*) для сохранения коммерческой тайны и т. п. целей. Тем не менее анализ патентных данных позволяет глубже понять эволюцию средне- и высокотехнологичных промышленных артефактов (Mendonça et al., 2019). Использование патентов в качестве индикатора является вопросом компромисса, личного мнения и методологического выбора. Ограничения этого инструмента можно минимизировать, если применять его к четко определенным технологиям, которые широко патентуются. В случае аккумуляторов уровень патентования превышает общую патентную активность, особенно в 2010-е гг. Их доля в совокупном массиве патентов на устройства хранения электроэнергии составляет почти 90% (IEA, EPO, 2020).

Экономическая ценность патентов существенно варьирует в зависимости от ряда не связанных с технологиями факторов, таких как страновая и отраслевая специфика. Каждое патентное ведомство проводит свою политику патентования и имеет собственные правила в отношении пороговых значений патентоспособности. В свою очередь, отрасли различаются по степени наукоемкости и режимам конкуренции. В настоящей статье патентные заявки служат индикатором инновационной деятельности, поскольку они весьма информативны в отношении развития технологий и являются уникальным инструментом охраны интеллектуальной собственности в средне- и высокотехнологичных инно-

вационных отраслях. Это касается и новых технологий, критически важных для обеспечения устойчивости (Leiponen, 2014; Mendonça et al., 2021).

Эмпирические данные

Источником данных для нашего исследования служил Глобальный патентный индекс (Global Patent Index, GPI) Европейского патентного ведомства (European Patent Office, EPO). Любой поисковый запрос по этой базе позволяет извлекать тысячи записей в пригодном для статистического представления формате. Помимо качества и количества данных, для эмпирического патентного анализа также важны практические аспекты их обработки. В исследовании использована Международная патентная классификация (International Patent Classification, IPC), основанная на древовидной схеме кодирования. Степень ее детализации возрастает по мере снижения уровня иерархии (раздел, класс, подкласс, группа, подгруппа). Патенты могут иметь несколько классификационных кодов, относящих их к разным технологическим категориям и отраслям. Данный аспект может восприниматься как «слабое место» патентов в качестве индикатора инновационной деятельности, тем не менее, благодаря ему извлекается ценная информация о «многомерных» технологиях. Патенты, охватывающие разные категории, можно считать более «комбинаторными» (в классическом шумпетерианском понимании инноваций как «новых комбинаций»), чем другие.

Период между подачей патентной заявки и ее публикацией обычно составляет 1–1.5 года. Данное обстоятельство учитывается нами при указании даты публикаций. Аналогично, будем считать, что на момент извлечения информации база данных уже была консолидирована, поскольку патенты, опубликованные в период с 2005 по 2019 г., извлекались в декабре 2020 г.

В ходе исследования учитывались все патентные заявки вне зависимости от того, в какое патентное ведомство они были поданы.³ Авторы ставили своей задачей выявить важнейшие тенденции и траектории технологического развития на основе анализа «пространства знаний» об аккумуляторах, без учета потенциальной экономической ценности изобретений (Tahmooresnejad, Beaudry, 2019). Если фокус делается на стоимостных аспектах, то целесообразно рассматривать патентные семейства (Martínez, 2011), однако при таком подходе многие изобретения могут быть упущены из виду (Criscuolo, 2006). В нашем случае вне поля зрения остались бы столь малозаметные факторы, как взаимосвязь технологий или изменение типов инноваций.

Обоснованность подхода, выбранного для нашего исследования, подтверждается тем, что в ранее упомянутом докладе МЭА и ЕПВ (IEA, EPO, 2020) выявлены сходные тенденции инновационной деятельности в области разработки аккумуляторов. Аналогичная картина прослеживается в динамике развития определенных видов аккумуляторов, изученной на более длительном

³ Традиционно выборка анализируемых патентов ограничивается базой какого-либо одного (Lee, Lee, 2013) или нескольких (Kim, Lee, 2015) патентных ведомств.

периоде с применением иных индикаторов (Malhotra et al., 2021) и по другим категориям патентов (Metzger et al., 2023).

Выявление технологий

Электрические аккумуляторы входят в подкласс IPC H01M (патенты, связанные с прямым преобразованием химической энергии в электрическую). Три образующие его группы представляют различные компоненты аккумуляторных систем: электроды, вторичные элементы и неактивные компоненты (табл. 1).

Для выявления патентных заявок, в которых упоминается единственный аккумуляторный компонент, выполнялся поиск по ключевым словам: «NAP only», «Electr only» и «SC only» (означают, соответственно, исключительно «Неактивные компоненты», «Электроды» либо «Вторичные элементы»). Многокомпонентные патентные заявки обнаружались с помощью запросов: «Неактивные компоненты + электроды», «Неактивные компоненты + вторичные элементы», «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + электроды + вторичные элементы». Объединение результатов перечисленных запросов дало совокупность «Все аккумуляторы». В итоге удалось структурировать патентные заявки в соответствии с топологией ключевых компонентов без дублирования данных.

Чтобы исключить патенты, не связанные с вторичными аккумуляторами, в ходе сбора данных были отсеяны подклассы первичных (H01M 6), топливных

(H01M 8) и гибридных элементов (H01M 12), электрохимических генераторов тока (H01M 14) и их комбинаций (H01M 16). Таким образом, выявленные патенты относятся исключительно к конструкции аккумуляторов или электрохимических систем хранения энергии в целом. Для исключения указанных групп в поисковых запросах использовались булевы операторы. По мере возможности запросы формулировались на основе классификации IPC (классы, подклассы, группы и подгруппы). В остальных случаях (и для обеспечения полноты картины) поиск осуществлялся по ключевым словам в заголовках и аннотациях патентов. Наш выбор обусловлен тем, что коды IPC обозначают техническую область изобретения, на которое подается патентная заявка. Подобный подход обеспечивает более надежные результаты, чем опора на ключевые слова, такие как «аккумулятор» или «элемент», присутствующие в названии либо в аннотации патента.

Для анализа технологий зарядки аккумуляторов был сформулирован дополнительный поисковый запрос с тремя группами, не относящимися к подклассу H01M: H02J 3/32, H02J7 и B60L53 (см. табл. 1). При поиске технологий охлаждения⁴ учитывались коды H01M10/60, H01M10/443, H01M10/486, H01M50375 или H01M50/581, которые охватывают все группы, связанные с охлаждением аккумуляторов либо управлением температурным режимом.

По другим аккумуляторным технологиям выполнялись дополнительные запросы, с помощью которых

Табл. 1. Патентная классификация компонентов аккумуляторов на основе IPC

Группы	Содержание
Неактивные компоненты	
H01M 2 — детали конструкции или процесс производства неактивных компонентов	Технические вопросы в отношении корпуса, обертки или покрытия элемента, контактов, уплотнительных материалов, сепараторов, контейнеров для электролита, амортизаторов и др.
Электроды	
H01M 4 — электроды	Новые технологии изготовления электродов, модели электродов и электродные материалы; это ключевые компоненты аккумуляторов в терминах емкости, мощности и плотности энергии (Mei et al., 2019).
Вторичные элементы	
H01M 10 — вторичные элементы; их изготовление	Общие технологии производства элементов, электролитов, аккумуляторов, электроинструментов, механизмов охлаждения и т. д.
Зарядка	
H02J 3/32	Подкласс H02J включает патенты на микросхемы или системы подачи, распределения и хранения электроэнергии. Группа H02J3 охватывает микросхемы для электросетей, в том числе распределительных и переменного тока. Подгруппа H02J3/32 описывает системы регулирования сетевой нагрузки с помощью аккумуляторов, используемых для хранения энергии.
H02J 7	Группа H02J7 объединяет патенты на микросхемы для зарядки или деполяризации аккумуляторов или для использования энергии аккумуляторов.
B60L 53	Подкласс B60L охватывает патенты, связанные с электрическим приводом транспортных средств. Группа B60L53 синтезирует методы зарядки аккумуляторов, специально адаптированные для электромобилей и зарядных станций.
H01M10/44	Патенты на методы зарядки или разрядки вторичных элементов.
<i>Источник:</i> составлено авторами.	

⁴ В отличие от прочих, технологии охлаждения и изготовления твердотельных аккумуляторов выявлялись в течение 2022 г. с использованием классификации IPC версии 2022.01.

перепроверялись основные группы компонентов аккумуляторов (H01M 2, H01M 4, H01M 10). Поиск осуществлялся по ключевым словам, присутствующим на первой странице патента. Например, патенты на свинцово-кислотные аккумуляторы выявлялись по таким терминам, как «свинцово-кислотные», «VRLA» (*valve regulated lead acid* — клапанно-регулируемые свинцово-кислотные), «SLA» (*sealed lead acid* — герметичные свинцово-кислотные), или «lead acc» (свинцовые аккумуляторы). Поскольку некоторые из обнаруженных новых технологий не имеют кода IPC, другие коды, связанные с аккумуляторными типологиями, для них не использовались, чтобы избежать искажения картины. Для поиска патентов на проточные аккумуляторы выполнялся отдельный запрос. Исходя из того, что они относятся к подгруппе H01M 8/18, которая входит в иерархию топливных элементов, поиск проводился с использованием соответствующих ключевых слов по группе H01M 8 (см. Приложение А). В последние годы заметным вниманием пользуются твердотельные аккумуляторы. В них применяются твердые электроды и электролиты из различных материалов. Эта технологическая ветвь пересекается с некоторыми ранее упомянутыми технологиями. Поиск патентов на твердотельные аккумуляторы осуществлялся по основным группам аккумуляторных компонентов⁵ с опорой на ключевое слово «твердотельные» (*solid-state*).

Для проверки связи патентования аккумуляторных решений с технологиями фотоэлектрической или ветровой генерации выполнялись поисковые запросы, позволившие обнаружить пересечение между любыми «аккумуляторными» группами IPC и категориями, относящимися к солнечной либо ветровой энергетике. Чтобы проанализировать взаимосвязь аккумуляторов с электромобильностью, патенты на аккумуляторы были сопоставлены с группами B60L 11 и B60L 50⁶ (системы питания электромобилей). Наконец, для оценки взаимосвязи технологий зарядки или питания аккумуляторов с другими разработками осуществлялся перекрестный запрос, позволивший обнаружить патенты на технологии зарядки и питания с присутствием кодов, относящихся к генерации ветровой, фотоэлектрической энергии и электромобилям. При выявлении патентов на зарядные устройства на основе фотоэлектрической энергии учитывалась подгруппа H02J 7/35. Методологические протоколы подробно описаны в Приложении А.

Категоризация инноваций

Наиболее популярной классификацией инноваций, пожалуй, являются концепции *продуктовых* (новые или существенно модернизированные продукты) и *процессных инноваций* (новые или более совершенные методы производства либо распределения продукции) (Fagerberg, 2004). Продуктовые инновации являются

прямым результатом экономической деятельности, тогда как процессные связаны с соотношением «затраты – результаты»⁷. В случае аккумуляторов, в качестве примера инновационного продукта можно привести модернизированные модели батарей, тогда как новые методы их сборки относятся к инновационным процессам.

С точки зрения эффекта выделяются *инкрементальные* инновации (постепенное усовершенствование имеющихся инструментов) и *радикальные* (появление которых ведет к отказу от использования существующих знаний и технологий) (Dodgson, 2008). Радикальные инновации создаются на основе синтеза знаний из нескольких не связанных друг с другом направлений, что делает их более универсальными (и рискованными), чем технологии, базирующиеся на одной предметной области. В результате такие нововведения становятся отправной точкой для новых технологических траекторий (Hesse, Fornahl, 2020). В случае аккумуляторов в качестве примера можно привести новую архитектуру элемента. В настоящей статье эти критерии использованы для выявления направлений развития современных аккумуляторных технологий.

Научная литература не дает однозначных рекомендаций в отношении операционализации концепций продуктовых и процессных, а также радикальных либо инкрементальных инноваций. Многие остаются на усмотрение аналитиков, в зависимости от поставленных задач и доступных эмпирических материалов (Dziallas, Blind, 2019; Katila, 2000). В настоящем исследовании четыре упомянутые категории инноваций разграничиваются посредством различных методологических подходов на основе содержания и классификации патентов (название, формула изобретения, описание, категория IPC и т. д.). Поскольку существует несколько подгрупп IPC, связанных с производством аккумуляторных компонентов, патентная заявка, принадлежащая хотя бы к одной такой подгруппе, считается процессной инновацией. Заявки, не относящиеся ни к одной из них, причисляются к продуктовым инновациям. Для оценки эффекта авторы исходили из того, что инновации являются инкрементальными, если усовершенствуют только один элемент аккумулятора (электроды, неактивные компоненты или вторичные элементы). В случае радикальной новизны объектами модернизации оказываются как минимум два элемента. Тем самым, открываются возможности для значительного прогресса благодаря синергии с ранее не использовавшимися характеристиками (Castaldi et al., 2015).

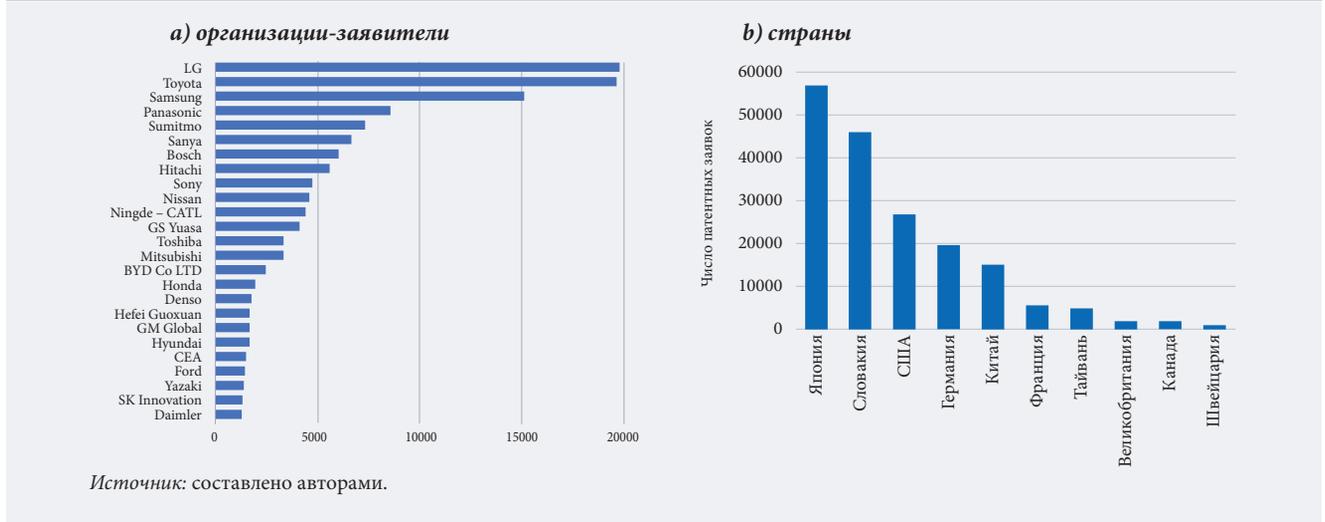
В ходе исследования проанализировано свыше 700 000 патентных заявок, поданных в 2005–2019 гг. Результаты дают представление о важнейших направлениях аккумуляторных технологий и главных игроках инновационной деятельности. Изучена системная взаимосвязь с возобновляемыми источниками энергии и

⁵ В версии IPC 2022.01 группу H01M 50 заменила группа H01M 2.

⁶ В версии IPC 2019.01 группа B60L 11 была перенесена в группу B60L 50.

⁷ Актуальный обзор эмпирических исследований эффекта продуктовых и процессных инноваций в отношении производительности представлен в работе (Домнич, 2022).

Рис. 1. 25 организаций и 10 стран, подавших наибольшее число патентных заявок на аккумуляторные технологии (2005–2019 гг.)



технологиями мобильности. Выявлены наиболее значимые инновации в каждой из категорий (инкрементальные, радикальные, продуктовые и процессные) на основе существующих определений. Некоторые факты вызывают особый интерес.

Результаты

Ведущие заявители

На рис. 1(а) представлены 25 организаций, подавших наибольшее количество заявок в 2005–2019 гг. В основном это крупные компании, из которых 13 представляют Японию, четыре — Южную Корею, три — Китай, по две — Германию и США. Единственная государственная организация в списке — Центр исследований атомной энергии (Centre Energie Atomique, CEA), Франция.

Высокие позиции восточноазиатских игроков согласуются с данными из публикации (IEA, EPO, 2020). Лидерство японских и южнокорейских корпораций в патентовании можно объяснить значимой ролью высокотехнологичных и экспортно ориентированных секторов этих стран в отраслях, активно использующих аккумуляторы (бытовая электроника и автомобили), а также амбициозной политикой исследований и разработок (ИиР). Она нацелена на удовлетворение приоритетных потребностей ведущих отраслей национальной экономики и проводится Японией и Южной Кореей в течение многих лет (с 1990-х гг.) для развития технологий «чистой энергии», включая аккумуляторные (IEA, 2008; Jeong, Mah, 2022). Напротив, в Германии, несмотря на многообещающую стратегию энергетического перехода (ряд последовательно утвержденных программ ИиР по развитию энергетики), промышленность не проявляет заметного интереса к системам хранения энергии, которые вошли в число приоритетных направлений ИиР лишь в 2011 г.⁸

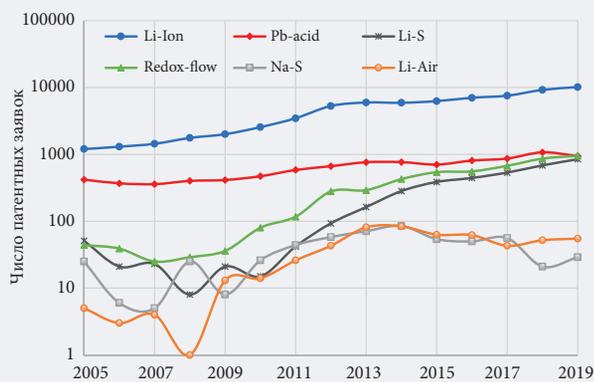
На рис. 1(б) видно, что в 2005–2019 гг. главными игроками в области аккумуляторных инноваций были Япония (JP) и Южная Корея (SK); далее идут США (USA), Германия (GER) и Китай (CN). В последние пять лет наблюдается стремительный рост числа патентных заявок, поданных крупными китайскими компаниями (IEA, EPO, 2020). Если данная тенденция сохранится, то, вероятно, приведет к существенным изменениям в составе лидеров инновационной деятельности в сфере аккумуляторных технологий. В целом яркие результаты «глобального Востока» в значительной степени обусловлены целенаправленными национальными стратегиями развития технологий «чистой энергетики» (Tan, 2010; Malhotra et al., 2021; May et al., 2018). Темпы создания знаний в области производства аккумуляторов показывают, что эффективная политическая поддержка является действенным способом реализации глобальных стратегий (IEA, 2022).

Основные направления развития аккумуляторных технологий

На рис. 2 выделяются как минимум четыре закономерности в тенденциях патентования аккумуляторов. Наиболее популярны литий-ионные технологии (среднегодовой темп роста числа патентных заявок 17%) — более трех четвертей всех заявок, опубликованных в 2005–2019 гг. Высокую изобретательскую активность в отношении данного типа аккумуляторов можно объяснить их широкой применимостью. Производительность последних оценивается с помощью разных критериев, однако в целом такие технологии обеспечивают эффективные решения для мобильных и стационарных устройств при снижении относительных цен (IEA, EPO, 2020). Хорошие результаты демонстрируют свинцово-кислотные (Pb-acid) аккумуляторы. Эта зрелая технология с устойчивым потоком инноваций играет важную

⁸ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/6-energieforschungsprogramm-der-bundesregierung.html>, дата обращения 16.01.2023.

Рис. 2. Патентные заявки на основные типы аккумуляторов (логарифмическая шкала)



Источник: составлено авторами.

роль на растущем рынке стационарных аккумуляторных систем (May et al., 2018). Выявлены признаки структурных перемен: примерно с 2010 г. набирают популярность окислительно-восстановительная (redox-flow) и литий-серная (Li-S) технологии. На протяжении оставшейся части анализируемого периода темпы роста числа соответствующих патентных заявок превысили 30%. Патентование литий-воздушных (Li-air) и натрий-серных (Na-S) технологий остается незначительным, хотя прежде они выглядели многообещающими. В частности, Na-S рассматривалась как возможный вариант для сетевого хранения энергии (Hirsh et al., 2020). В большинстве патентов (свыше 75%) не упоминаются разработки конкретных компонентов, которые можно использовать в аккумуляторах на базе других технологий.

Интерес к технологиям на основе твердых электролитов вызван стремлением повысить плотность энергии и безопасность аккумуляторов (Kim et al., 2015). Твердотельные аккумуляторы представляют собой комплексную конструкцию, интегрирующую несколько технологий. В последние годы наблюдается быстрый рост числа связанных с ними патентов (более 30% в год с 2011 г.), которое в 2019 г. оказалось выше, чем для всех не ионно-литиевых технологий. Приведенная динамика свидетельствует о растущей значимости таких решений и о возможном появлении новой траектории технологического развития.

Общая динамика и ключевые технологии компонентов

Динамика патентных заявок на аккумуляторы по годам представлена на рис. 3. Общее их число («Все аккумуляторы», правая ось) росло на протяжении всего анализируемого периода и увеличилось в пять раз. Подтверждаются выводы недавнего доклада (IEA, EPO, 2020), согласно которому развитие аккумуляторных технологий демонстрирует «всплеск инновационной активности», поскольку скорость подъема здесь выше, чем для патентования в целом. Выделяются ранний этап нарастания (до начала 2010-х гг.), период стагнации (до середины 2010-х гг.) и стадия новой активизации (до конца десятилетия).

Анализ по отдельным компонентам аккумуляторов показывает, что наиболее активно растет число патентов на «Только вторичные элементы». За ними следуют «Только неактивные компоненты», «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + вторичные элементы». Это — явное свидетельство существенных инвестиций в разработку указанных аккумуляторных технологий. В свою очередь сегмент «Только электроды» не преодолел относительную стаг-

Рис. 3. Патентование пакетов аккумуляторных технологий



Примечание: данные для группы «Все аккумуляторы» приведены на правой оси.
Источник: составлено авторами.

Табл. 2. Количество патентов на основные компоненты аккумуляторов (2005–2019 гг.)

Компонент	Число патентов
Электроды	1.7×10^5
Электролиты	4.8×10^4
Корпуса элементов	5.2×10^4
Сепараторы	3.3×10^4

Источник: составлено авторами.

нацию. Среди многокомпонентных патентных заявок выделяются группы «Электроды + вторичные элементы» и «Неактивные компоненты + вторичные элементы», демонстрирующие стабильный рост на всем протяжении анализируемого периода. В последние годы данные «пакеты» (конкретные конфигурации аккумуляторных компонентов) даже опережают «Только электроды» и выходят на уровень «Только неактивных компонентов», что указывает на рост числа патентных заявок на разработки, основанные на нескольких технологиях. Напротив, количество заявок на пакеты «Неактивные компоненты + электроды» и «Неактивные компоненты + электроды + вторичные элементы» в 2004–2019 гг. было очень незначительным. Иными словами, неактивные компоненты крайне редко патентовались совместно с электродами (как в сочетании с вторичными элементами, так и без них).

Как видно из табл. 2, большинство патентов (со значительным отрывом) регистрируются для электродов. Отсюда следует, что главным фактором инновационной деятельности в области разработки аккумуляторов является повышение их эффективности. В число других важных компонентов входят электролиты, корпуса элементов и сепараторы. Патентование электродов и электролитов связано со стремлением повысить емкость аккумуляторов (особенно плотность энергии). Увеличение числа патентов на корпуса элементов и сепараторы можно объяснить необходимостью адаптировать аккумуляторы к большему спектру сфер применения. Последние касаются как портативной электроники (сотовых телефонов, планшетов и т. д.), так и средств мобильности (автомобили, велосипеды, скутеры, беспилотные летательные аппараты) (Golembiewski et al., 2015; IEA, EPO, 2020).

Зарядка и охлаждение аккумуляторов

На рис. 4 проиллюстрирован рост числа патентных заявок на технологии зарядки и питания аккумуляторов (H02J3/32 и H02J7). С 2009 г. этот показатель быстро увеличивался (в среднем на 19% в год). Подобную динамику можно объяснить требованием адаптации интерфейсов к новым сферам применения. Растет потребность в технологиях быстрой зарядки аккумуляторов для электромобилей (Tomaszewska et al., 2019), адаптации процессов зарядки и разрядки аккумуляторов для нестабильных источников энергии (Zhao et al., 2018).

Из-за увеличения плотности энергии и активизации использования технологий быстрой зарядки актуаль-

Рис. 4. Патентование технологий зарядки/питания аккумуляторов



Источник: составлено авторами.

ной проблемой стало охлаждение аккумуляторов, особенно в электромобилях (Lu et al., 2020). Соответственно, резко возросло количество патентов на соответствующие технологии (в среднем на 35% в год в 2005–2019 гг.). В 2019 г. их общее число превысило 8000 — больше, чем по всем неэлектродным компонентам.

Взаимосвязь с другими экологичными технологиями

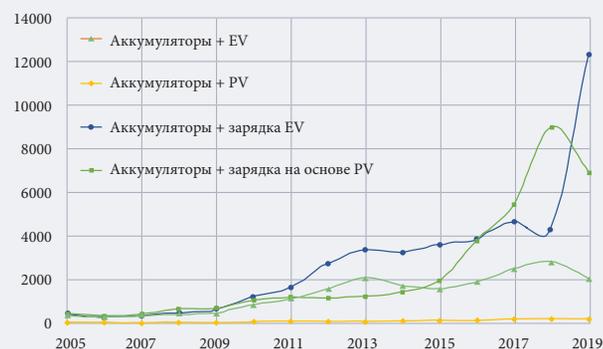
Нами предпринята попытка выявить синергию между использованием аккумуляторов и других «чистых» технологий (возобновляемых источников энергии и электромобилей). Совместное патентование разработок в области зарядки аккумуляторов и ветровой энергетики оказалось незначительным. В ближайшем будущем подобный расклад, скорее всего, сохранится. Причина в том, что гидроэлектростанции и системы CAES более экономичны, чем аккумуляторы (Barnhart et al., 2013; Ding et al., 2012). Обнаружена взаимосвязь между аккумуляторами и другими технологиями генерации (например, фотоэлектрическими солнечными батареями) и использования энергии (электромобилями и др.), особенно в отношении зарядки.

На рис. 5 отмечается быстрый рост в последнее десятилетие числа совместных патентов, связывающих зарядку аккумуляторов с фотоэлектрическими системами (свыше 20% всех патентов на системы зарядки). Можно заключить, что упомянутая комбинация стала одним из центральных направлений инновационной деятельности в рассматриваемой области. Отмечается существенное пересечение патентования систем зарядки аккумуляторов и технологий электромобилей: к 2019 г. совместные патенты составили более четверти общего их числа в отношении зарядных устройств.

Общие тенденции инноваций в области аккумуляторных технологий

Траектории инновационной деятельности рассматривались сквозь призму концепций инкрементальных, радикальных, продуктовых и процессных инноваций. На рис. 6 наблюдается устойчивый рост патентования

Рис. 5. Эволюция совместного патентования аккумуляторных технологий, электромобилей (EV) и фотоэлектрической генерации (PV)



Источник: составлено авторами.

всех типов инноваций (за исключением инкрементальных в 2014–2016 гг.). Как и ожидалось, инкрементальные разработки патентуются чаще, хотя в последние годы доля радикальных также растет. Резкий рост числа патентов на инкрементальные инновации и его последующее снижение в 2014–2016 гг. хорошо коррелируют с динамикой патентования «Только электродов» (рис. 3). Отсюда следует вывод, что временное увеличение числа патентов на инкрементальные инновации обусловлено преимущественно увеличением электродных разработок. Оно достигло пика в 2014 г., после чего всплеск пакетного патентования аккумуляторных технологий способствовал приросту радикальных инноваций. Большинство патентов на аккумуляторы, очевидно, относятся к продуктам (артефактам или системам), а не к процессам (методам сборки и производства). Притом что в 2005–2019 гг. наблюдался значительный рост совокупного числа патентных заявок на все типы инноваций, доли по каждому отдельному типу в целом оставались стабильными. Из расклада по удельным весам различных типов инноваций, представленного в табл. 3, видно, что патентуемые продуктовые инновации обычно являются инкрементальными, а процессные — более радикальными.

Табл. 3. Доли патентов на аккумуляторы в 2005–2019 гг. по типам инноваций (%)

Тип инноваций	Степень новизны		Всего продуктовые/процессные
	Инкрементальные	Радикальные	
Продуктовые	51	23	74
Процессные	11	15	26
Всего инкрементальные / радикальные	62	38	100

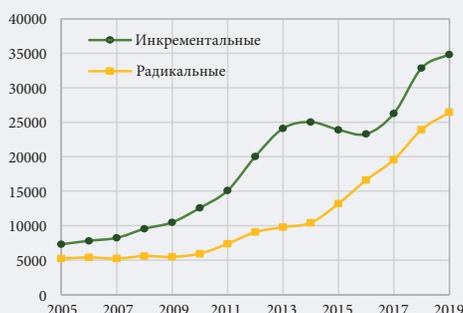
Источник: составлено авторами.

Распределение по типам инноваций

Объектом дальнейшего анализа стали патенты на литий-ионные, свинцово-кислотные, литий-сернистые и проточные аккумуляторы, в отношении которых наблюдается максимальная инновационная активность. Они распределялись по типам инноваций. Из рис. 7 следует, что для литий-ионных аккумуляторов число патентов на инкрементальные инновации в сравнении с радикальными практически одинаково.

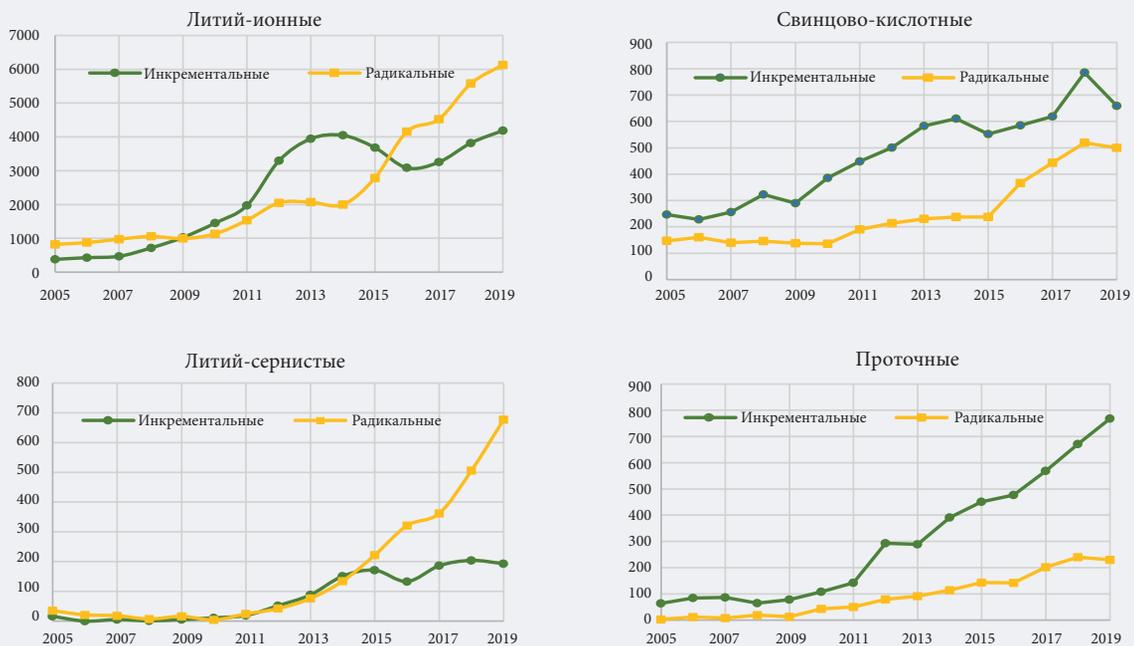
До 2014 г. число патентов на инкрементальные инновации быстро увеличивалось, что хорошо коррелирует с ростом патентования в группах «Только электроды» и «Только неактивные компоненты» (рис. 3). Но когда оно достигло двух третей совокупного числа патентов, началось снижение, и на первое место вышли радикальные инновации. Участвовавшее появление прорывных разработок в области зрелых литий-ионных технологий, скорее всего, связано с необходимостью адаптации последних к новым сферам применения. Две трети патентов, связанных со свинцово-кислотными аккумуляторами, приходится на инкрементальные инновации, остальные — на радикальные. Подобное соотношение сохраняется в течение длительного времени, что естественно для зрелой технологии. Напротив, в случае литий-сернистых аккумуляторов две трети патентов связаны с радикальными инновациями. Их взрывной прирост наблюдается с момента выхода в 2014 г. на первое место в литий-сернистой группе. Наконец, в отношении проточных аккумуляторов (новая технология) оба типа инноваций устойчиво набирают обороты, тем не менее, 75% всех патентов приходится на инкрементальные. Сфокусированность инновационной деятельности в

Рис. 6. Эволюция типов инноваций во времени



Источник: составлено авторами.

Рис. 7. Динамика инкрементальных и радикальных инноваций в области четырех основных аккумуляторных технологий



Источник: составлено авторами.

данной области на повышении производительности (тенденции к патентованию преимущественно инкрементальных инноваций) объясняется особой природой проточных аккумуляторов и их применимостью преимущественно в электросетях.

Напомним, что в большинстве рассматриваемых патентов (75%) конкретные аккумуляторные технологии не упоминаются. В основном они регистрируют инновационные решения для отдельных компонентов аккумуляторов. Как следствие, в этой области преобладают инкрементальные инновации (62% всех патентов).

На рис. 8 представлена динамика патентования продуктовых и процессных инноваций для четырех основных аккумуляторных технологий. Большинство патентов относятся к продуктовым инновациям, что соответствует выводам работы (Malhotra et al., 2021).

Для литий-ионной технологии треть патентов относятся к категории процессных инноваций. Число патентов на продуктовые и процессные инновации растет, хотя их доли остаются более или менее стабильными. Треть патентов на свинцово-кислотные аккумуляторы — процессные инновации. Хотя активно патентуются и продуктовые, и процессные инновации, в период с 2005 по 2019 г. доля последних увеличилась с 28% до 42%. Треть патентов на литий-серные технологии представляют процессные инновации, но удельный вес продуктовых в последние годы значительно возрос (до 75% в 2019 г.). Наконец, свыше 90% патентов на технологии проточных аккумуляторов относятся к продуктовым инновациям. В целом, если в течение анализируемого периода их создание существенно активизировалось, то патентование процессных остается скромным. В отношении литий-ионных и свинцово-кислотных техно-

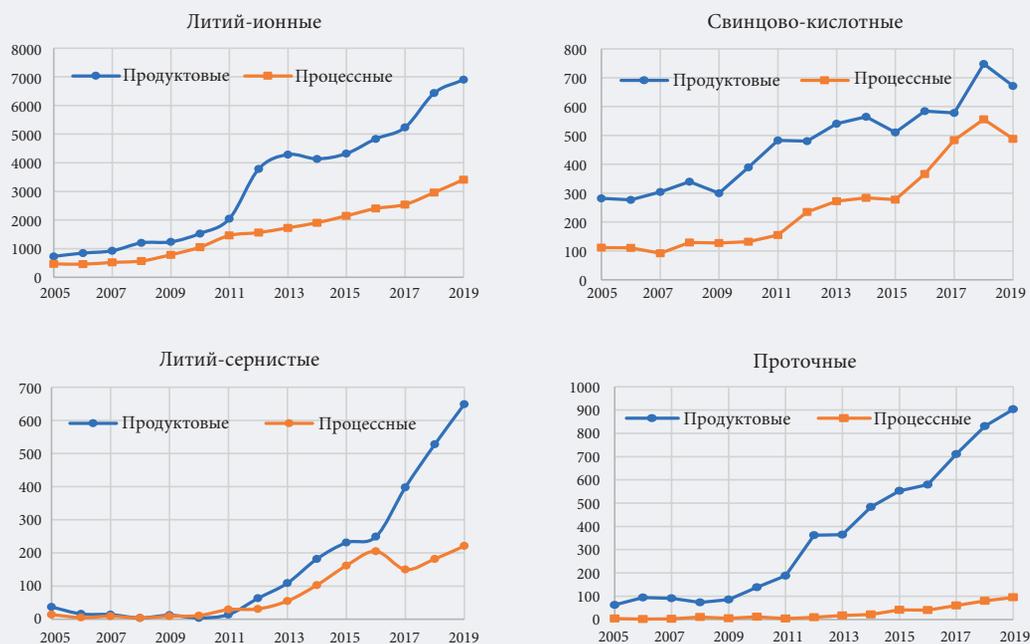
логий доля процессных инноваций увеличивается. Для литий-серийных и проточных аккумуляторов наблюдается обратная тенденция (что соответствует уровням зрелости указанных технологий).

В целом сфера аккумуляторных технологий характеризуется высокой инновационной активностью. В рейтинге патентных заявителей лидируют крупные восточноазиатские производители бытовой электроники и автомобилей. Из аккумуляторных компонентов наиболее динамично развиваются электроды. Помимо зрелых технологий, таких как литий-ионные и свинцово-кислотные, наиболее перспективными представляются литий-серные и проточные аккумуляторы. Синергия аккумуляторных разработок с технологиями генерации и использования энергии возникает преимущественно в области зарядки и разрядки. Если ранее доминировали инкрементальные продуктовые инновации, то в 2005–2019 гг. на долю радикальных продуктов приходилось около четверти патентных заявок. Представленный в настоящем исследовании анализ большого массива патентных данных о темпах и направлениях технологических изменений в инновационной экосистеме аккумуляторов может быть полезен как для частного, так и для государственного сектора, включая ориентированных на рынок инвесторов и независимых регуляторов.

Заключение

В последние десятилетия возможности использования новых технологий для предотвращения и смягчения последствий изменения климата стали приоритетом в политической повестке многих государств и международных организаций, в основном благодаря синергии

Рис. 8. Динамика патентования продуктовых и процессных инноваций



Источник: составлено авторами.

между задачами цифровизации и устойчивого развития. Генерация, хранение и распределение электроэнергии играют ключевую роль в социально-технологическом переходе к более чистым и комплексным режимам инновационной и производственной деятельности, распределения и потребления. Мы основываемся на представлении о создании инноваций как неоднородном эволюционном процессе с высокой степенью неопределенности. Выявлена динамика взаимодействия функциональных возможностей аккумуляторов со сферами их применения, определяющая технологические траектории. Результаты анализа нашей выборки патентных данных соответствуют общей картине: прорывы в аккумуляторных технологиях возникают неравномерно, но постоянно и по разным направлениям. Представленные выводы могут служить ориентирами для инвестирования в разработки аккумуляторных и вспомогательных низкоуглеродных энергетических технологий.

Патентные данные за 2005–2019 гг. показывают, что инновационная деятельность в области аккумуляторных технологий значительно активизировалась по разным технологическим векторам. Наибольший вклад в этот процесс вносят Япония, Южная Корея, США, Германия и Китай. Ключевым направлением инновационной деятельности в настоящее время являются литий-ионные аккумуляторы. Литий-сернистые и проточные выходят на передний план как наиболее перспективные технологии, и в ближайшие годы следует внимательно следить за их развитием. В последнее время серьезное внимание уделяется твердотельным аккумуляторам. О перспективности этого сегмента свидетельствует динамика патентных данных за 2005–2019 гг. Важное наблюдение для разработчиков стратегий

декарбонизации заключается в том, что применение аккумуляторов существенно варьирует по отраслям, определяя траектории инновационной деятельности. Ввиду стремления увеличить емкость аккумуляторов наиболее динамично развивающимся компонентом становятся электроды. Необходимость повысить плотность энергии и сократить время зарядки аккумуляторов стимулируют новые технологические решения для их охлаждения. Специфика взаимодействия технологий генерации и использования энергии предъявляет особые требования к системам зарядки и питания аккумуляторов. Как следствие, они оказались самым инновационным направлением, что подтверждено эмпирически. Инновации развиваются по всем четырем измерениям (продуктовые, процессные, инкрементальные и радикальные), при этом долевое соотношение между ними остается стабильным. На протяжении двух проанализированных десятилетий доминирование сохраняли инкрементальные и продуктовые инновации.

Дальнейший вектор развития аккумуляторных технологий будет зависеть от общей направленности ИиР в поиске ответов на глобальные социальные вызовы. Действующим в сфере энергетики институтам (ведомствам, ответственным за разработку политики, регулирование, стандартизацию и т. д.) рекомендуется формировать отраслевые программы развития с учетом динамической перспективы. Для энергетической трансформации необходима постоянная, стратегически ориентированная инновационная деятельность. Чтобы обеспечить прогресс в области технологий хранения энергии, следует использовать разнообразные источники знаний, экспериментировать и активно инвестировать. Это позволит лицам, принимающим

решения в государственном и частном секторах, ориентироваться в быстро меняющемся мире технологий. Систематический мониторинг трендов ИиР и фокус на долгосрочной перспективе играют особую роль в условиях климатических шоков и ресурсного дефицита.

Одно из ограничений исследований на основе патентных данных (включая представленное) заключается в том, что чаще патентуются инновации, созданные в основном крупными компаниями. Кроме того, в ходе изучения отдельных патентов невозможно однозначно определить, являются ли они частью некоей группы, в совокупности охраняющей тот или иной пакет инноваций. Более целостные результаты можно получить, если привлекать экспертов для выполнения качественной оценки, в дополнение к анализу научно-технологических индикаторов.

Наконец, заслуживает внимания географическое распределение патентных заявок. Его анализ показывает, что страны, реализовавшие комплексные долгосрочные программы развития «зеленых» энергетических технологий в партнерстве с крупными компаниями, об-

рели выгодные позиции при энергетическом переходе. К ним относятся, прежде всего, Япония и Южная Корея, к которым недавно присоединился Китай. Приведенные примеры демонстрируют, что целенаправленные изменения можно осуществлять по всему миру.

Авторы выражают признательность за финансовую поддержку португальскому Фонду развития науки и технологий (*Fundação para Ciência e Tecnologia, FCT*). Жозе Силва участвовал в проекте *FCT UIDB / 50019 / 2020 – IDL*, а Сандро Мендонка сотрудничал с Группой бизнес-исследований (*Business Research Unit, BRU-IUL*) и Отделом исследований сложности и экономики (*Research Unit on Complexity and Economics, UECE-REM*). *BRU-IUL* получил гранты *UID/GES/00315/2013, UIDB/00315/2020; UIDB/05069/2020; PTDC/EGE-ECO/30690/2017* и участвует в проекте *PTDC/EGE-ECO/30690/2017*. Сандро Мендонка работал над настоящей статьей во время пребывания в должности приглашенного профессора экономического факультета Университета Инсубрии (*University of Insubria, Италия*). Он благодарит университет за создание благоприятной для исследований атмосферы, предоставленные возможности общения со студентами и персоналом, в частности с профессором Андреа Веззулли (*Andrea Vezzulli*) и Паоло Кастельнуово (*Paolo Castelnuovo*).

Библиография

- Домнич Е. (2022) Влияние продуктовых и процессных инноваций на производительность: обзор эмпирических исследований. *Форсайт*, 16(3), 68–82. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2022.3.68.82>
- Джакал Т., Мин К.С. (2021) Макроанализ и прогноз перспектив распространения электромобилей. *Форсайт*, 15(1), 67–73. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.1.67.73>
- Туровец Ю., Проскурякова Л., Стародубцева А., Бьянко В. (2021) «Зеленая» цифровая трансформация в электроэнергетике. *Форсайт*, 15(3), 35–51. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.3.35.51>
- Aaldering L.J., Song C.H. (2019) Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies: A patent-based approach. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118343. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118343>
- Albertsen L., Richter J.L., Peck P., Dalhammar C., Plepys A. (2021) Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105658. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105658>
- Albino V., Ardito L., Dangelico R.M., Messeni-Petruzzelli A. (2014) Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis. *Applied Energy*, 135, 836–854. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.012>
- Azzuni A., Breyer C. (2018) Energy security and energy storage technologies. *Energy Procedia*, 155, 237–258. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.053>
- Barnhart C.J., Dale M., Brandt A.R., Benson S.M. (2013) The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity. *Energy & Environmental Science*, 6(10), 2804. <http://doi.org/10.1039/c3ee41973h>
- Bathelt H., Cohendet P., Henn S., Simon L. (2017) *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation*, Cheltenham: Edward Elgar. <http://doi.org/10.4337/9781782548522>
- Bergek A., Berggren C. (2014) The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies. *Ecological Economics*, 106, 112–123. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.016>
- Berndt D. (2003) Electrochemical Energy Storage. In: *Battery Technology Handbook* (ed. H.A. Kiehne) (2nd ed.), New York: CRS Publisher, pp. 1–99.
- Caraça J., Lundvall B.-A., Mendonça S. (2009) The changing role of science in the innovation process: From Queen to Cinderella?. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(6), 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.08.003>
- Castaldi C., Frenken K., Los B. (2015) Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs: An analysis of US State-Level Patenting. *Regional Studies*, 49(5), 767–781. <http://doi.org/10.1080/00343404.2014.940305>
- Castellacci F., Grodal S., Mendonca S., Wibe M. (2005) Advances and challenges in innovation studies. *Journal of Economic Issues*, 39(1), 91–121. <http://doi.org/10.1080/00213624.2005.11506782>
- Castillo A., Gayme D.F. (2014) Grid-scale energy storage applications in renewable energy integration: A survey. *Energy Conversion and Management*, 87, 885–894. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.063>
- Chen K., Hou J., Song M., Wang S., Wu W., Zhang Y. (2021) Design of battery thermal management system based on phase change material and heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 188, 116665. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116665>
- Crisuolo P. (2006) The “home advantage” effect and patent families. A comparison of OECD triadic patents, the USPTO and the EPO. *Scientometrics*, 66, 23–41. <http://doi.org/10.1007/s11192-006-0003-6>
- Dehghani-Sanjaj A.R., Tharumalingam E., Dusseault M.B., Fraser R. (2019) Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 192–208. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.023>
- Diesendorf M., Wiedmann T. (2020) Implications of Trends in Energy Return on Energy Invested (EROI) for Transitioning to Renewable Electricity. *Ecological Economics*, 176, 106726. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106726>
- Ding H., Hu Z., Song Y. (2012) Stochastic optimization of the daily operation of wind farm and pumped-hydro-storage plant. *Renewable Energy*, 48, 571–578. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.008>
- Dodgson M., Gann D.M., Salter A. (2008) *The management of technological innovation: Strategy and practice* (2nd ed.), Oxford: Oxford University Press.
- Dosi G. (1982) Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)

- Dziallas M., Blind K. (2019) Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. *Technovation*, 80–81, 3–29. <http://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.005>
- Fagerberg J. (2004) Innovation: A guide to the literature. In: *The Oxford Handbook of Innovation* (eds. J. Fagerberg, D.C. Mowery), Oxford: Oxford University Press, pp. 1–16.
- Fagerberg J., Laestadius S., Martin B.R. (2016) The Triple Challenge for Europe: The Economy, Climate Change, and Governance. *Challenge*, 59(3), 178–204. <http://doi.org/10.1080/05775132.2016.1171668>
- Feng S., Magee C.L. (2020) Technological development of key domains in electric vehicles: Improvement rates, technology trajectories and key assignees. *Applied Energy*, 260, 114264. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114264>
- Golembiewski B., Vom Stein N., Sick N., Wiemhöfer H.D. (2015) Identifying trends in battery technologies with regard to electric mobility: Evidence from patenting activities along and across the battery value chain. *Journal of Cleaner Production*, 87, 800–810. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.034>
- Hansen A.R., Jacobsen M.H., Gram-Hanssen K. (2022) Characterizing the Danish energy prosumer: Who buys solar PV systems and why do they buy them?. *Ecological Economics*, 193, 107333. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107333>
- Hesse K., Fornahl D. (2020) Essential ingredients for radical innovations? The role of (un-) related variety and external linkages in Germany. *Papers in Regional Science*, 99(5), 1165–1183. <http://doi.org/10.1111/pirs.12527>
- Hirsh H.S., Li Y., Tan D.H.S., Zhang M., Zhao E., Meng Y.S. (2020) Sodium-Ion Batteries Paving the Way for Grid Energy Storage. *Advanced Energy Materials*, 10(32), 2001274. <http://doi.org/10.1002/aenm.202001274>
- Hung S.C., Lai J.Y., Liu J. S. (2022) Mapping technological trajectories as the main paths of knowledge flow: Evidence from printers. *Industrial and Corporate Change*, 31(3), 863–889. <https://doi.org/10.1093/icc/dtab072>
- IEA, EPO (2020) *Innovation in Batteries and Electricity Storage*, Paris: IEA, EPO. <https://www.iea.org/reports/innovation-in-batteries-and-electricity-storage>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA, EPO (2021) *Patents and the Energy Transition*, Paris: IEA, EPO. <https://www.iea.org/reports/patents-and-the-energy-transition>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2008) *Energy Policies of IEA Countries: Japan 2008 Review. Review Literature and Arts of the Americas*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-policies-of-iea-countries-japan-2008>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2020a) *Energy Storage*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-storage>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2020b) *Energy Technology Perspectives 2020*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2021a) *Global Energy Review 2021*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2021b) *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis*, Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, дата обращения 15.01.2023.
- IEA (2022) *World Energy Review 2022*, Paris: IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9d0a2db4-965a-4e80-83da-562f038ff514/WorldEnergyOutlook2022.pdf>, дата обращения 15.01.2023.
- IPCC (2021) *Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva: IPCC, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>, дата обращения 15.01.2023.
- Jeong E., Mah J.S. (2022) The Role of the Government in the Development of the Rechargeable Battery Industry in Korea. *Perspectives on Global Development and Technology*, 21(2), 1569–1500. <https://doi.org/10.1163/15691497-12341625>
- Jesus A., Mendonça S. (2018) Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy. *Ecological Economics*, 145, 75–89. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.001>
- Jindal A., Shrimali G. (2022) At scale adoption of battery storage technology in Indian power industry: Enablers, frameworks and policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121467. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121467>
- Katila R. (2000) Using patent data to measure innovation performance. *International Journal of Business Performance Management*, 2, 180–193. <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2000.000072>
- Kim J.G., Son B., Mukherjee S., Schuppert N., Bates A., Kwon O., Choi M.J., Chung H.Y., Park S. (2015) A review of lithium and non-lithium based solid state batteries. *Journal of Power Sources*, 282, 299–322. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.02.054>
- Kim J., Lee S. (2015) Patent databases for innovation studies: A comparative analysis of USPTO, EPO, JPO and KIPO. *Technological Forecasting and Social Change*, 92, 332–345. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.01.009>
- Kittner N., Lill F., Kammen D.M. (2017) Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition. *Nature Energy*, 2(9), 17125. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.125>
- Lee K., Lee S. (2013) Patterns of technological innovation and evolution in the energy sector: A patent-based approach. *Energy Policy*, 59, 415–432. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.054>
- Lehmann C., Cruz-Jesus F., Oliveira T., Damásio B. (2022) Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132146>
- Leiponen A. (2014) Intellectual Property Rights, Standards, and the Management of Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation Management* (eds. M. Dodgson, D.M. Gann, N. Phillips), Oxford: Oxford University Press, pp. 559–578. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199694945.013.020>
- Levänen J., Lyytinen T., Gatica S. (2018) Modelling the Interplay Between Institutions and Circular Economy Business Models: A Case Study of Battery Recycling in Finland and Chile. *Ecological Economics*, 154, 373–382. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.08.018>
- Lhuillery S., Raffo J., Hamdan-Livramento I. (2017) Measurement of innovation. In: *The Elgar Companion to Innovation and Knowledge Creation* (eds. H. Bathelt, P. Cohendet, S. Henn, L. Simon), Cheltenham: Edward Elgar. <http://doi.org/10.4337/9781782548522.00013>
- Lu M., Zhang X., Ji J., Xu X., Zhang Y. (2020) Research progress on power battery cooling technology for electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 27, 101155. <http://doi.org/10.1016/j.est.2019.101155>
- Malhotra A., Zhang H., Beuse M., Schmidt T. (2021) How do new use environments influence a technology's knowledge trajectory? A patent citation network analysis of lithium-ion battery technology. *Research Policy*, 50(9), 104318. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104318>
- Martínez C. (2011) Patent families: When do different definitions really matter? *Scientometrics*, 86(1), 39–63. <http://doi.org/10.1007/s11192-010-0251-3>
- May G.J., Davidson A., Monahov B. (2018) Lead batteries for utility energy storage: A review. *Journal of Energy Storage*, 15, 145–157. <http://doi.org/10.1016/j.est.2017.11.008>
- McKelvey M. (2014) Science, Technology, and Business Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation Management* (eds. M. Dodgson, D.M. Gann, N. Phillips), Oxford: Oxford University Press, pp. 69–82. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199694945.013.029>
- Mei W., Chen H., Sun J., Wang Q. (2019) The effect of electrode design parameters on battery performance and optimization of electrode thickness based on the electrochemical-thermal coupling model. *Sustainable Energy and Fuels*, 3(1), 148–165. <http://doi.org/10.1039/c8se00503f>
- Mendonça S., Schmoch U., Neuhäusler P. (2019) Interplay of patents and trademarks as tools in economic competition. In: *Springer Handbook of Science and Technology Indicators* (eds. W. Glänzel, H.F. Moed, U. Schmoch, M. Thelwall), Berlin: Springer, pp. 1023–1035.
- Mendonça S., Confraria H., Godinho M.M. (2021) *Appropriating the returns of patent statistics: Take-up and development in the wake of Zvi Griliches* (SWPS Paper 2021-07). <http://doi.org/10.2139/ssrn.3971764>
- Metzger P., Mendonça S.J., Damásio B. (2023) Battery Innovation and the Circular Economy: What are Patents Revealing? *Renewable Energy* (forthcoming).

- Nagaoka S., Motohashi K., Goto A. (2010) Patent statistics as an innovation indicator. In: *Handbook of the Economics of Innovation* (vol. 2) (eds. B.H. Hall, N. Rosenberg), Amsterdam: Elsevier, pp. 1083–1127. [http://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02009-5](http://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02009-5)
- Nelson R.R., Dosi G., Helfat C.E., Pyka A., Saviotti P.P., Lee K., Dopfer K., Malerba F., Winter S.G. (2018) *Modern Evolutionary Economics: An Overview*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Patel P., Pavitt K. (2005) Patterns of Technological Activity: Their Measurement and Interpretation. In: *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change* (ed. P. Stoneman), Oxford: Blackwell, pp. 14–51.
- Prencipe A., Davies A., Hobday M. (2005) *The Business of Systems Integration* (1st ed.), Oxford: Oxford University Press. <http://doi.org/10.1093/0199263221.001.0001>
- Schot J., Steinmueller W.E. (2019) Transformative change: What role for science, technology and innovation policy?: An introduction to the 50th Anniversary of the Science Policy Research Unit (SPRU) Special Issue. *Research Policy*, 48(4), 843–848. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2018.12.005>
- Schulz C., Martin-Ortega J., Ioris A.A.R., Glenk K. (2017) Applying a “Value Landscapes Approach” to Conflicts in Water Governance: The Case of the Paraguay-Paraná Waterway. *Ecological Economics*, 138, 47–55. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.033>
- Shapiro M.A. (2020) Next-generation battery research and development: Non-politicized science at the Joint Center for Energy Storage Research. *Energy Policy*, 145, 111771. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111771>
- Silva J.A., Oliveira S., Távora G., Mendonça S. (2015) The role of innovation in the future PV and storage markets. In: *Proceedings 31st European PVSEC*, pp. 3183–3186. <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20152015-7DV.4.41>
- Smith K. (2006) Measuring Innovation. In: *The Oxford Handbook of Innovation*. (eds. J. Fagerberg, D.C. Mowery), Oxford: Oxford University Press, pp. 148–179. <http://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0006>
- Tovacool B.K., Hess D.J., Amir S., Geels F.W., Hirsh R., Rodriguez-Medina L., Miller C., Palavicino C.A., Phadke R., Ryghaug M., Schot J., Silvestre A., Stephens J., Stirling A., Turnheim B., Der Vleuten E., Lente H., Yearley S. (2020) Sociotechnical agendas: Reviewing future directions for energy and climate research. *Energy Research and Social Science*, 70, 101617. <http://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101617>
- Stephan A., Schmidt T.S., Bening C.R., Hoffmann, V.H. (2017) The sectoral configuration of technological innovation systems: Patterns of knowledge development and diffusion in the lithium-ion battery technology in Japan. *Research Policy*, 46(4), 709–723. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.009>
- Tahmoosnejad L., Beaudry C. (2019) Capturing the economic value of triadic patents. *Scientometrics*, 118(1), 127–157. <http://doi.org/10.1007/s11192-018-2959-4>
- Tomaszewska A., Chu Z., Feng X., O’Kane S., Liu X., Chen J., Ji C., Endler E., Li R., Liu L., Li Y., Zheng S., Vetterlein S., Gao M., Du J., Parkes M., Ouyang M., Marinescu M., Offer G., Wu B. (2019) Lithium-ion battery fast charging: A review. *eTransportation*, 1, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100011>
- Van Noorden R. (2014) The rechargeable revolution: A better battery. *Nature*, 507(7490), 26–28. <http://doi.org/10.1038/507026a>
- Velázquez-Martínez O., Valio J., Santasalo-Aarnio A., Reuter M., Serna-Guerrero R. (2019) A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. *Batteries*, 5(4), 68. <https://doi.org/10.3390/batteries5040068>
- Wagner R., Preschitschek N., Passerini S., Leker J., Winter M. (2013) Current research trends and prospects among the various materials and designs used in lithium-based batteries. *Journal of Applied Electrochemistry*, 43(5), 481–496. <https://doi.org/10.1007/s10800-013-0533-6>
- Wong C.Y., Fatimah-Mohamad Z., Keng Z.X., Ariff-Azizan S. (2014) Examining the patterns of innovation in low carbon energy science and technology: Publications and patents of Asian emerging economies. *Energy Policy*, 73, 789–802. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.010>
- Zhang Q., Li C., Wu Y. (2017) Analysis of Research and Development Trend of the Battery Technology in Electric Vehicle with the Perspective of Patent. *Energy Procedia*, 105, 4274–4280. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.918>
- Zhao Y., Stein P., Bai Y., Al-Siraj M. (2018) A review on modeling of electro-chemo-mechanics in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 413, 259–283. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.12.011>

Приложение А. Методологические протоколы исследования

Группы компонентов аккумулятора

Компонент аккумуляторной системы	Поисковый запрос
Неактивные компоненты	((IPC = H01M2+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M4+ OR H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Электроды	((IPC = H01M4+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Вторичные элементы	((IPC = H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M4+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Неактивные компоненты и электроды	((IPC = H01M2+ and H01M4+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M10+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Неактивные компоненты и вторичные элементы	((IPC = H01M2+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M4+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Электроды и вторичные элементы	((IPC = H01M4+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M2+ OR H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Неактивные компоненты, электроды и вторичные элементы	((IPC = H01M2+ and H01M4+ and H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+)
Зарядка	(IPC = H02J7 or H02J3/32 or B60L53 or H01M10/44) AND (PUD [20050101, 20191231])
Охлаждение	((IPC = (H01M00106* or H01M0010443* or H01M0010486 or H01M0050375 or H01M0050581)) and (PUD [20050101, 20191231])) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16)

Типы аккумуляторных технологий

Тип аккумулятора	Поисковый запрос
Свинцово-кислотные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (VRLA OR SLA OR lead +2w acid OR lead +2w acc+)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Литий-воздушные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Lithium +2w air OR Li +2w air OR lithium +2w oxygen OR LiO2 OR Li +2w O2)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Литий-ионные	((IPC = H01M2+ OR H01M4+ OR H01M10+) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Li +2w ion OR LiFePO4 OR LiPo OR Li +2w Poly OR lithium +2w ion OR Lithium +2w cobalt OR Lithium +2w manganese OR Lithium +2w phosphate OR Lithium +2w iron +2w phosphate OR Lithium +2w titanate OR Lithium +2w Polymer)) AND NOT (IPC = H01M6+ OR H01M8+ OR H01M12+ OR H01M14+ OR H01M16+ OR H01M18+))
Литий-серные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (li +2w S OR lithium +2w sulphur OR lithium +2w sulfur)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Магний-ионные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (magnesium +1w ion OR Mg +1w ion)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Никель-кадмиевые	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = nickel +2w cadmium OR Ni +2w cd OR Nicd) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Проточные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M8 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (Flow +2w batter* OR Redox +2w flow +2w batter* OR RFB OR Vanadium +2w redox +2w batter* OR Vanadium +2w redox +2w flow OR VRB OR Zinc +2w bromine +2w flow OR Zinc +2w bromine +2w batter* OR ZNBR OR Iron +2w chromium +2w flow OR iron +2w chromium +2w batter*)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Натрий-серные	((IPC = H01M2 OR H01M4 OR H01M10) and (PUD [20050101, 20191231])) AND (ABEN = (sodium +2w sulfur OR sodium +2w sulphur OR Na +0w S)) AND NOT (IPC = H01M6 OR H01M8 OR H01M12 OR H01M14 OR H01M16 OR H01M18))
Твердотельные	((IPC = H01M2 OR h01m4 OR h01m10 OR H01M50) and ((ABEN = solid +2w state)) AND (PUD [20050101, 20191231]))

Взаимосвязь с другими технологиями

Взаимосвязь	Поисковый запрос
Аккумуляторы и фотоэлектрическая генерация	(IPC = (h01m10+) and (H02S+ OR H01L 27/142 OR H01L31/00 OR H01L31/02 OR H01L31/024 OR H01L31/04 OR H01G9/20 OR H02S10/ OR H01L31/042 OR G05F1/67 OR F21S9/03 OR H01G9/20 OR H01M14 OR H01L31/0525 OR B60K16/00 OR B60L8)) and (PUD [20050101, 20191231]) AND not (IPC = H01M6 OR H01M8)
Аккумуляторы и ветровая генерация	(IPC = (h01m10+) and (F03D+)) and (PUD [20050101, 20191231]) AND not (IPC = H01M6 OR H01M8)
Аккумуляторы и электромобили	((IPC = H01M2 OR h01m4 OR h01m10) and ((IPC = B60L50 OR B60L11) OR (ABEN = electric +2w vehicle OR ev OR electric +2w mobility)) AND (PUD [20050101, 20191231]))
Зарядка аккумуляторов электромобилей	((IPC = H02J7 OR H02J3/32 OR H01M10/44) and ((IPC = B60L11 OR B60L50) OR (ABEN = electric +2w vehicle OR ev OR electric +2w mobility))) OR IPC = B60L53) AND (PUD [20050101, 20191231])
Зарядка аккумуляторов путем фотоэлектрической генерации	(IPC = ((H02J7 OR H02J3/32 OR H01M10/44) and (H02S+ OR H01L 27/142 OR H01L31/00 OR H01L31/02 OR H01L31/024 OR H01L31/04 OR H01G9/20 OR H02S10/ OR H01L31/042 OR G05F1/67 OR F21S9/03 OR H01G9/20 OR H01M14 OR H01L31/0525 OR B60K16/00 OR B60L8)) OR H02J7/35) AND (PUD [20050101, 20191231])

Подгруппы IPC для инноваций в области аккумуляторных технологий

Код IPC	Классификация процессов
H01M 4 – Электроды	H01M 4/04, H01M 4/08, H01M 4/10, H01M 4/12, H01M 4/139, H01M 4/1391, H01M 4/13915, H01M 4/1393, H01M 4/1395, H01M 4/1397, H01M 4/1399, H01M 4/16, H01M 4/18, H01M 4/20, H01M4 /21, H01M 4/22, H01M 4/23, H01M 4/26, H01M 4/28, H01M 4/29, H01M 4/30, H01M 4/82; H01M84; H01M 4/88
H01M 10 – Вторичные элементы	H01M 10/04, H01M 10/058, H01M 10/0583, H01M 10/0585, H01M 10/0587, H01M 10/12, H01M 10/14, H01M 10/16, H01M 10/28, H01M 10/38