

УДК 338.2

JEL O32, Q51

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-3-292-303

ИНТЕГРАЦИЯ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ В МЕТОДОЛОГИЮ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕГИОНА¹

© А.Е. Чувыврова*, В.В. Иосифов** 2019

* *ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
г. Краснодар, Россия*

** *Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Россия*

В академической литературе в последнее время все большей популярностью пользуется подход к анализу перспективных направлений развития энергосистем с учетом оценки жизненного цикла продукции (Life Cycle Analysis, LCA). Однако до настоящего времени использование методологии анализа и оценки жизненного цикла продукции в соответствии со стандартами ISO 140040-14043 ограничивалось только задачами о выборе наиболее экологически чистой (в масштабе всего жизненного цикла) из нескольких конкурирующих технологии. В данной статье мы предпринимаем попытку расширить область применения методологии LCA на решение задач стратегического планирования развития региональной энергосистемы в целом на примере ситуации с планированием развития ветровой энергетики в Краснодарском крае. Оценки экологических эффектов производства систем аккумулирования энергии, полученные в результате работы, могут быть использованы при разработке региональных программ поддержки развития возобновляемой энергетики и производства систем хранения энергии.

Ключевые слова: стратегическое планирование, системы хранения энергии, EcoInvent, оценка экологических эффектов, оценка воздействия жизненного цикла, стандарт ISO 14040.

INTEGRATION OF PRODUCT LIFE CYCLE ASSESSMENT IN THE METHODOLOGY OF MANAGING THE DEVELOPMENT OF THE REGIONAL ENERGY SYSTEM

© A.E Chuvyrova, V.V. Iosifov 2019

*FSBEI HE «Kuban State University», Krasnodar, Russia
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia*

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края, проект № 18-410-230011_a(p) «Разработка динамической модели оптимизации региональной энергетической системы с высоким потенциалом использования биоотходов и биоресурсов как источников энергии по эколого-экономическим параметрам (на примере Краснодарского края)».

Recently, in the academic literature, an approach to the analysis of promising trends in the development of power systems taking into account product life cycle assessment (Life Cycle Analysis, LCA) has become increasingly popular. However, to date, the use of the methodology for analyzing and evaluating the life cycle of products in accordance with ISO 14004-14043 standards has been limited only to the tasks of choosing the most environmentally friendly (on a life cycle scale) from several competing technologies. In this article we are trying to expand the scope of the LCA methodology for solving the tasks of strategic planning for the development of the regional energy system as a whole using the example of the situation with the planning of wind energy development in the Krasnodar Territory. The environmental impact assessments for the production of energy storage systems resulting from the work can be used in developing regional programs to support the development of renewable energy and the production of energy storage systems.

Keywords: *strategic planning, energy storage systems, EcoInvent, environmental impact assessment, life cycle impact assessment, ISO 14040.*

Введение

Создание и успешное функционирования в России системы государственной поддержки возобновляемой энергетики на основе договоров предоставления мощности послужило стимулом к тому, что все большее количество регионов включает строительство солнечных и ветровых электростанций, а также мощностей для производства необходимого энергооборудования, в планы своего социально-экономического развития [1]. При этом вопросы выбора типа энергооборудования, способов его производства и эксплуатации решаются исключительно на основе учета экономических параметров: удельных капитальных затрат, затрат на эксплуатацию, рентабельности, срока окупаемости проекта по строительству энергообъекта и т.д. Вопросы экологической эффективности при этом, как правило не рассматриваются, так как считается что само по себе использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) автоматически приводит к улучшению экологической ситуации [2].

Действительно, эксплуатация ВИЭ оказывает существенно менее негативное воздействие на окружающую среду, нежели традиционная углеводородная энергетика, однако производство энергооборудования для использования ВИЭ (солнечных фотоэлектрических панелей, ветровых турбин и т.д.) является достаточно энергоемким и материалоёмким процессом и производит свои негативные экологические эффекты, которые тоже необходимо иметь в виду при принятии стратегических решений о развитии того или иного вида ВИЭ [3].

Поэтому в академической литературе в последнее время все большей популярностью пользуется подход к анализу перспективных направлений развития энергосистем с учетом оценки жизненного цикла продукции (Life Cycle Analysis, LCA), при котором в качестве продукции понимается либо генерируемая электроэнергия [4-5], либо другие востребованные энергетические продукты, например, моторное топливо [6]. Оценка жизненного

цикла в данном случае рассчитывается по всем этапам – от добычи и переработки исходного сырья до поставки готовой продукции потребителю, что полностью соответствует подходу, закрепленному в международных стандартах экологического менеджмента ISO серии 14000. Использование такого подхода существенно повышает обоснованность принимаемых управленческих решений относительно выбора наиболее привлекательных технологий ВИЭ для развития и государственного стимулирования.

Однако до настоящего времени использование методологии анализа и оценки жизненного цикла продукции в соответствии со стандартами ISO 140040-14043 ограничивалось только задачами о выборе наиболее экологически чистой (в масштабе всего жизненного цикла) из нескольких конкурирующих технологии (см., например, работы [4-6]). В данной статье мы предпринимаем попытку расширить область применения методологии LCA на решение задач стратегического планирования развития региональной энергосистемы в целом на примере ситуации с планированием развития ветровой энергетики в Краснодарском крае.

Альтернативные варианты развития ветровой энергетики на территории Краснодарского края

Краснодарский край считается наиболее привлекательным регионом в России по природно-климатическим характеристикам для развития ВИЭ, которые могут заметить до 22 ГВт·ч тепловой энергии и 13 ГВт·ч электрической энергии, производимой в настоящее время из углеводородного топлива. Однако общая установленная мощность объектов ВИЭ в Краснодарском крае в настоящее время составляет около 220 МВт·ч [7].

За период 2011-2017 гг. суммарное потребление электроэнергии во всех районах Краснодарского края увеличилось на 30% с 21960 до 31103 млн. кВт·ч. В период с 2010 по 2020 годы общая нагрузка на энергосистему Краснодарского края, по оценкам экспертов, вырастет с 3541 МВт до 7100 МВт, то есть более чем в два раза. Таким образом, Краснодарский край имеет несбалансированный энергетический статус, который характеризуется высоким процентом (50 - 60%) импорта электроэнергии и частым дефицитом электроэнергии. Расчеты регионального энергетического баланса показывают, что средний дефицит энергии составляет 22 ГВт·ч в год. Учитывая эту общую динамику роста строительства новых объектов ВИЭ в крае считается перспективным [8].

Согласно данным отчетов за 2016-2018 года, представленным компанией АО «АТС», в Краснодарском крае, а также республике Адыгея планируется строительство генерирующих объектов, функционирующих на основе возобновляемых источниках энергии в отношении следующих видов генерирующих объектов (табл. 1). Кумулятивная мощность ветровых генерирующих объектов в Краснодарском крае и Республике Адыгея, отобранных по результатам проведенного конкурса, составит к 2022 году

405 МВт. Реализацией проектов будет заниматься АО «ВетроОГК» (дочерняя компания «Росатом»).

Таблица 1

Перечень отобранных объектов ВИЭ для реализации в Краснодарском крае и Республике Адыгея [9]

Наименование проекта ВИЭ	Планируемое местонахождение объекта	Плановая дата начала поставки мощности	Плановый объем установленной мощности, МВт
Ветряная электростанция «Шовгеновская» очередь-2018	Республика Адыгея	01.12.2018	150
Пилотная ВЭС-2019	Краснодарский край	01.12.2019	20
Пилотная ВЭС-67	Краснодарский край	01.12.2019	10
Пилотная ВЭС-2020	Краснодарский край	01.12.2020	40
Ветропарк-9 и 10	Краснодарский край	01.12.2020	50
Ветропарк-22	Краснодарский край	01.12.2021	35
Пилотная ВЭС-52	Краснодарский край	01.12.2021	20
Ветряная электростанция «Шовгеновская» 3 очередь-2020	Республика Адыгея	01.12.2022	20
Береговая ВЭС	Краснодарский край	01.12.2022	20
Пилотная ВЭС-2018-4	Краснодарский край	01.12.2022	40

Как известно, коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) у ветровых турбин в настоящее время составляет не более 30% [10]. Выработка электроэнергии меняется в зависимости от сезона и времени суток, значительная часть выработанной энергии не может быть поставлена в сеть без ее существенной модернизации. Низкий КИУМ ветровых и солнечных энергообъектов значительно увеличивает их срок окупаемости, снижая тем самым коммерческую привлекательность. Однако и с точки зрения экологии низкий КИУМ ВИЭ представляет собой проблему: это означает, что большая часть энергии и материалов, затраченных на производство энергообъекта, не дают полезного выпуска, т.е. потрачены «впустую». Поэтому перспективным способом увеличения КИУМ ветровых и солнечных установок является использование систем хранения энергии. Система хранения электроэнергии ставит перед собой ряд задач по обеспечению качества и бесперебойной подачи электроэнергии, а также возможность хранения в период низкого потребления и использования её

для балансировки мощности. Для этого необходимо усовершенствовать имеющиеся технологии [11].

В современной электротехнике используются различные технологии хранения энергии. Система хранения может быть химической или электрохимической, механической, электромагнитной и тепловой, каждая из которых включает в себя различные виды оборудования (рис. 1). Химические системы хранения энергии наиболее вариативные, и большинство из них подлежат дальнейшему исследованию и разработкам [12]. Наиболее распространенными типами батарей в настоящее время являются литий-ионные (Li-ion), свинцово-кислотные, натрий-серные (NaS), никель-кадмиевые (NiCd), никель-металлогидридные (NiMH) и никель-хлоридные батареи, также известные под аббревиатурой ZEBRA [13].

Производство и утилизация химических систем хранения энергии сопряжена с существенными негативными экологическими эффектами. Поэтому в случае их масштабного применения для накопления и хранения избыточной энергии, генерируемой ветровыми электростанциями, необходимо правильно оценивать экологические последствия такого способа повышения КИУМ ВИЭ.

Методология исследования

Для оценки экологических эффектов аккумуляторных батарей за весь жизненный цикл были использованы данные Ecoinvent. База данных Ecoinvent является международной базой по оценке жизненного цикла (ОЖЗ)

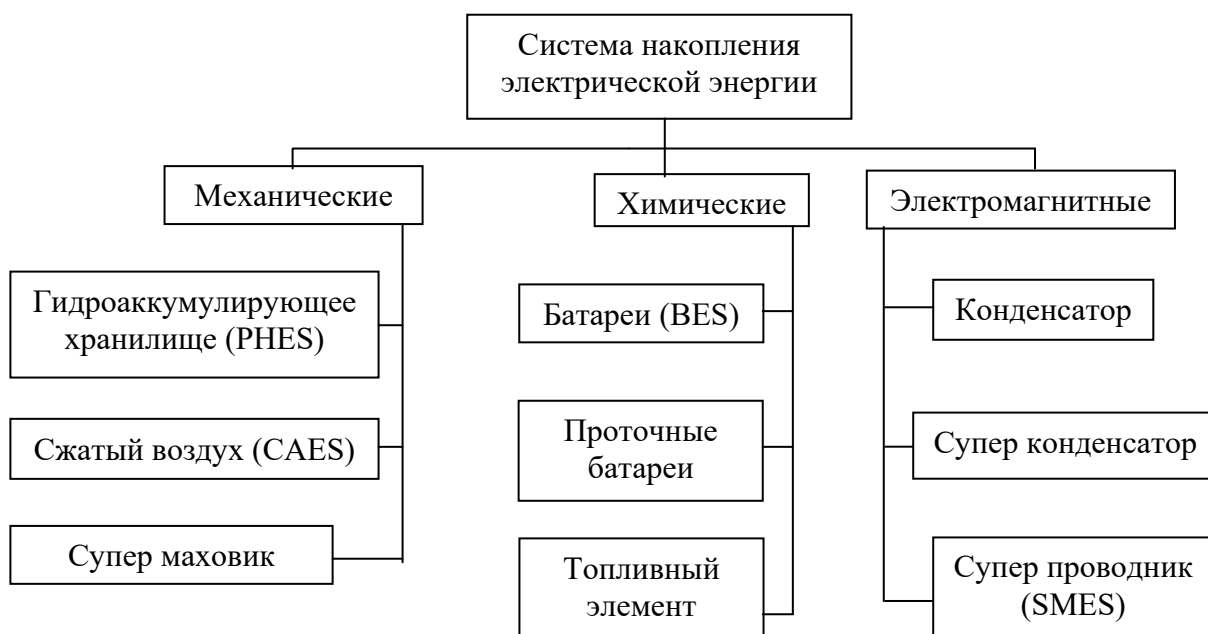


Рис. 1. Классификация технологий хранения по форме накопленной энергии

Источник: [14].

продукции и услуг в соответствии со стандартами серии ИСО 14000. Ecoinvent предоставляет собой совокупность первичных данных по воздействию различных стадий жизненного цикла продукции на окружающую среду. Преимуществом такого подхода (ОЖЦ) является наиболее полная релевантность данных, которые автоматически пересчитываются по матричному методу в случае появления новых сведений об экологических эффектах на любом начальном этапе жизненного цикла [4, 15].

Оценка воздействия жизненного цикла проводится на основе одной, либо нескольких методик. Каждая из них отличается от другой количеством категорий воздействия, которые включены в данную методику [3]. Для проведения анализа нами был выбран наиболее всеохватывающий по категориям воздействия на окружающую среду метод ОВЖЦ «СМЛ 2001», разработанный центром экологических наук Лейденского университета. В основе метода лежит процедура проведения ОЖЦ в соответствии со стандартами ИСО 14000. Результаты в данной методике сгруппированы по категориям в соответствии с общими механизмами воздействия на окружающую среду или общепринятыми группировкам [16].

Для оценки экологических эффектов среди технологий хранения энергии были выбраны наиболее распространенные аккумуляторные батареи. По каждому виду аккумуляторов использовались все доступные данные из базы EcoInvent. Расчет эффектов производился на массу произведенного продукта (кг), которая оценивалась для каждой системы индивидуально.

Путем систематических наблюдений и сбора данных, было выяснено, что среднесуточная работа ВЭС, в регионах планируемого строительства, составляет 15 часов, т.е. потенциальный КИУМ (при условии использования всей энергии) может достигать 60%. Положим, что система аккумулярования энергии позволит увеличить КИУМ на 20% (нижняя осторожная оценка). Рассчитаем необходимую массу батарей, для того чтобы обеспечить все ветроустановки на территории региона системами накопления и хранения избыточной энергии, и провести сравнительную оценку экологических эффектов по категориям воздействия.

Принимая КИУМ 30%, было определено, что при работе ВЭС от установленной мощности объектов в 405 МВт в сеть поступает 121,5 МВт, данная мощность генерируется 4,5 часа от среднесуточной работы объектов. При этом 81 МВт мощности будет накапливаться в аккумуляторных батареях, рассчитанный на работу установки 10,5 ч/сут (за исключением времени, когда энергия от ВЭС поступает в сеть).

Расчет массы систем хранения энергии производился исходя из удельной энергоемкости батарей (табл. 2), т.е. количества энергии, которую батареи могут аккумуляровать. Данные табл. 2 основаны на средних рейтингах коммерческих моделей батарей. Аккумуляторы с повышенными характеристиками в данном случае не учитывались [17].

Таблица 2

Удельная энергоёмкость аккумуляторных батарей [17]

	Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы	Аккумуляторы ZEBRA (NaCl)	Никель-металлогидридные (NiMH) аккумуляторы
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	100...150	90...120	60...120

Для оценки воздействия ЖЦ на окружающую среду по формуле (1) было рассчитано количество накапливаемой энергии за сутки работы ВЭС. По формуле (2) были произведены расчеты веса батарей (по среднему значению показателя удельной энергоёмкости).

Энергия, накапливаемая за сутки работы ВЭС (Вт·ч):

$$E = N \cdot t, \quad (1)$$

где N – количество накапливаемой энергии от установленной мощности, Вт;

t – время работы ВЭС «впустую», ч.

Тогда масса требуемых аккумуляторных батарей, для сохранения энергии (кг) может быть рассчитана как:

$$m = E / C, \quad (2)$$

где E – энергия, накапливаемая за сутки работы ВЭС, Вт·ч;

C – удельная энергоёмкость аккумуляторных батарей, используемых для хранения энергии, Вт·ч/кг.

Затем полученное значение массы аккумуляторных батарей было переведено в экологические эффекты (на основании данных, представленных EcoInvent) по шести наиболее значимым категориям воздействия на окружающую среду [18].

Результаты исследования

Результаты анализа негативных экологических эффектов на окружающую среду представлены на рис. 2-7. Из диаграмм видно, что все аккумуляторные батареи оказывают негативные экологические эффекты на окружающую среду в течение жизненного цикла. Минимальное воздействие наблюдается по категории воздействия «Стратосферное истончение озонового слоя» для литий-ионных аккумуляторов и аккумуляторов ZEBRA (рис. 7).

По всем категориям воздействия из трех изученных образцов никель-металлогидридные аккумуляторы производят отрицательное влияние на окружающую среду в наибольшей степени.

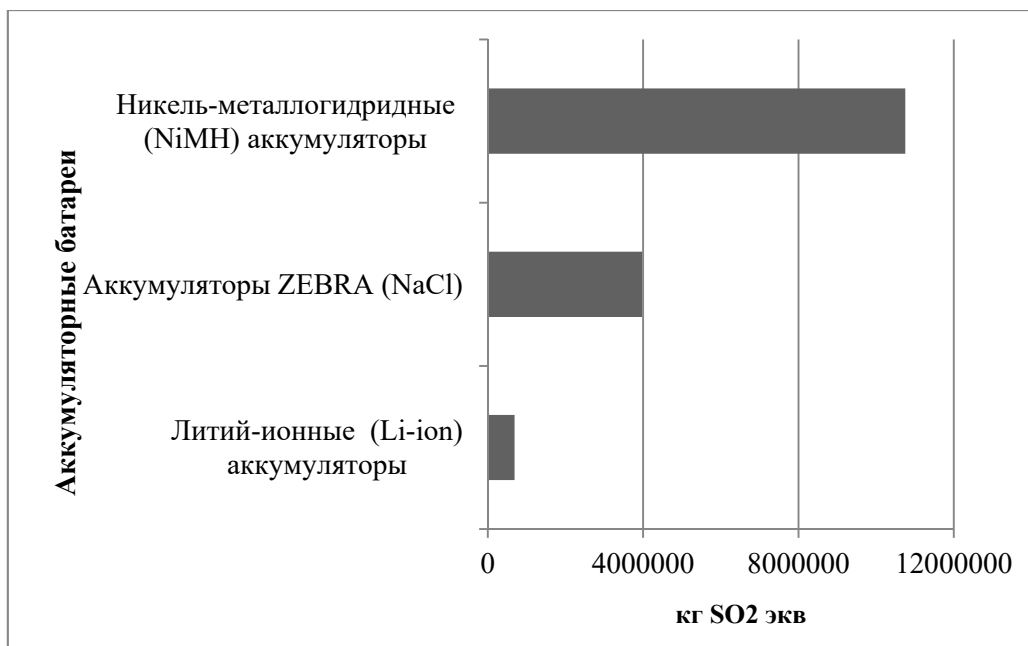


Рис. 2. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия на окружающую среду «Окисление»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

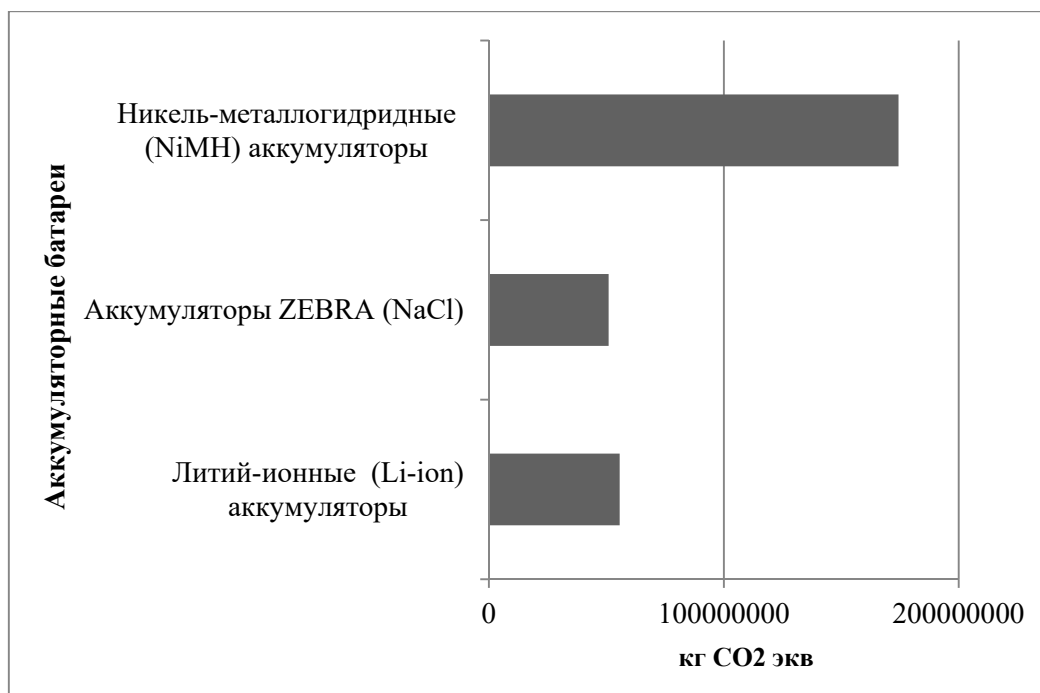


Рис. 3. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия «Изменение климата»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

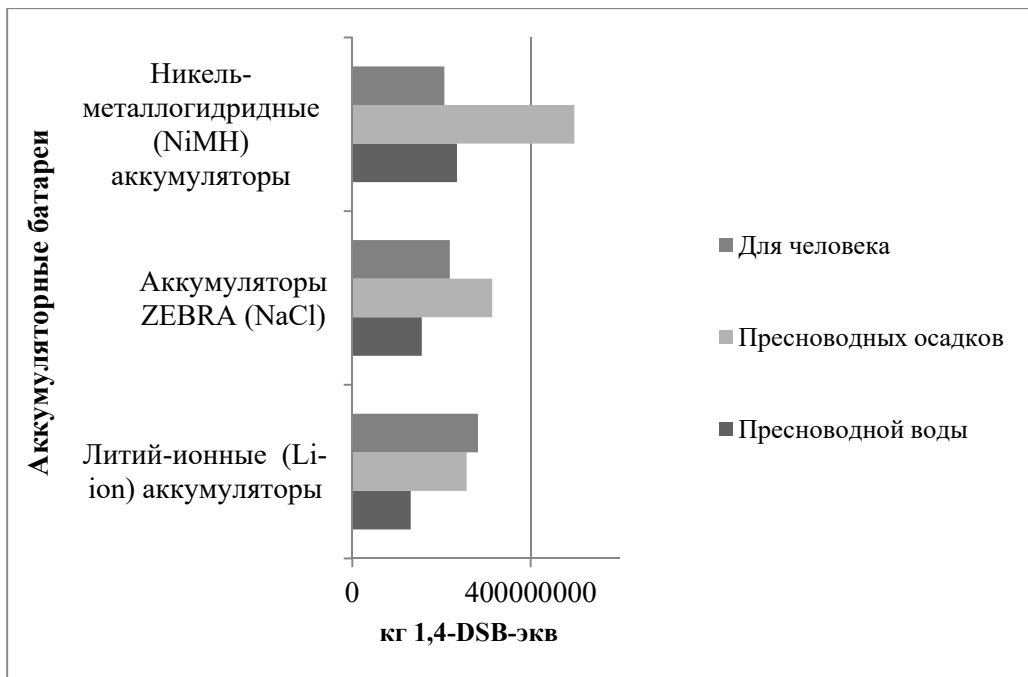


Рис. 4. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия «Экотоксичность»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

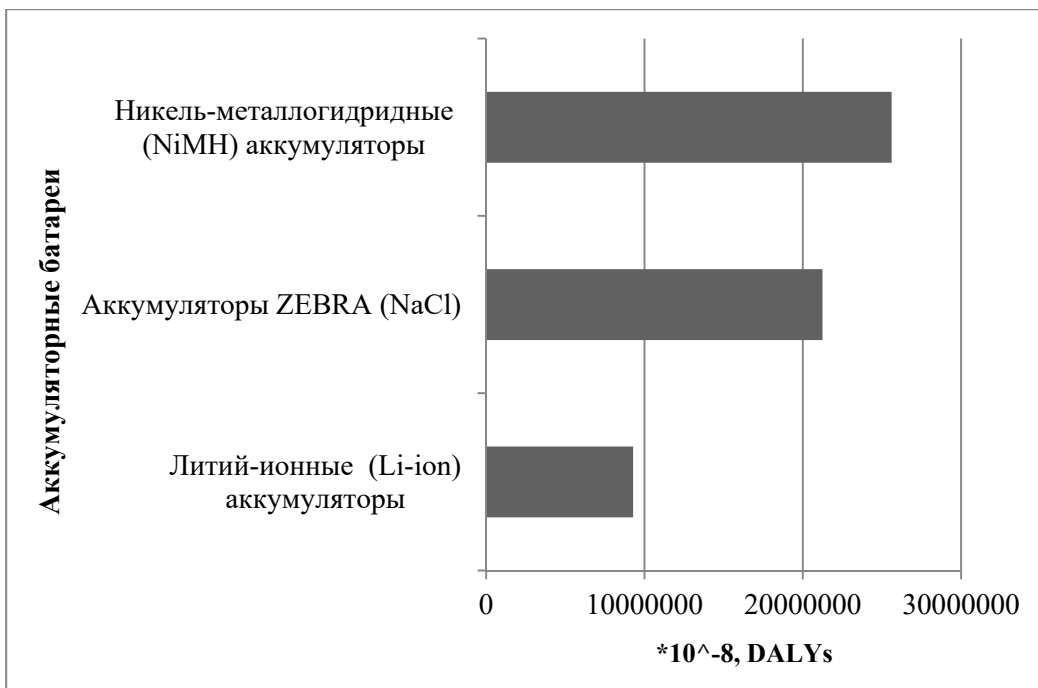


Рис. 5. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия «Ионизирующее излучение»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

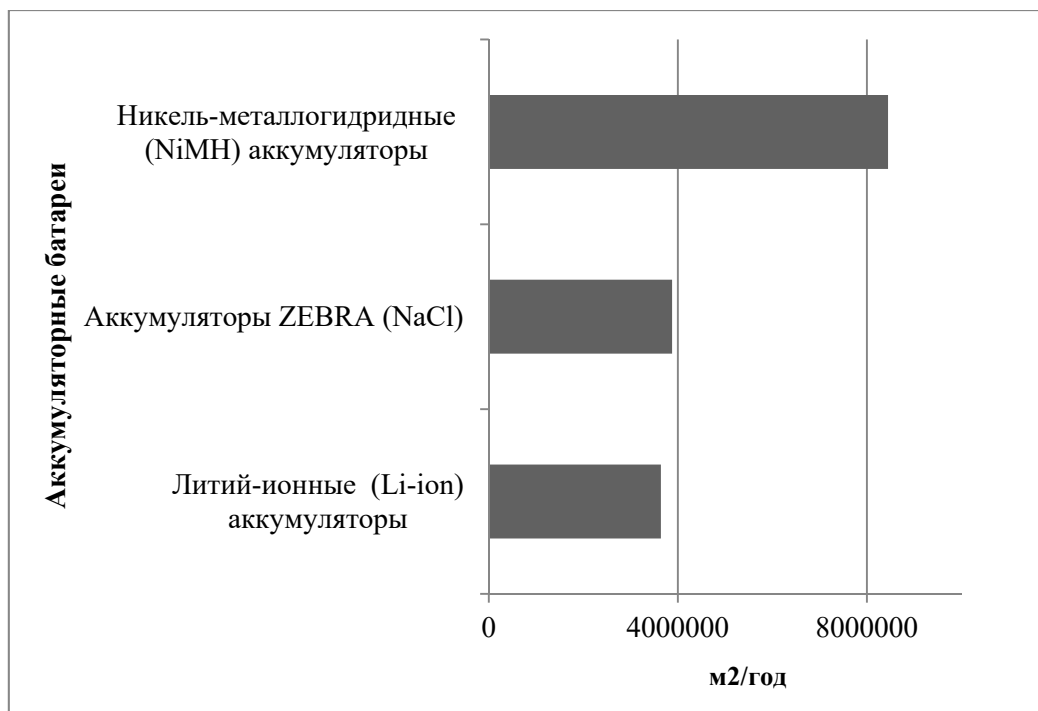


Рис. 6. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия «Землепользование»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

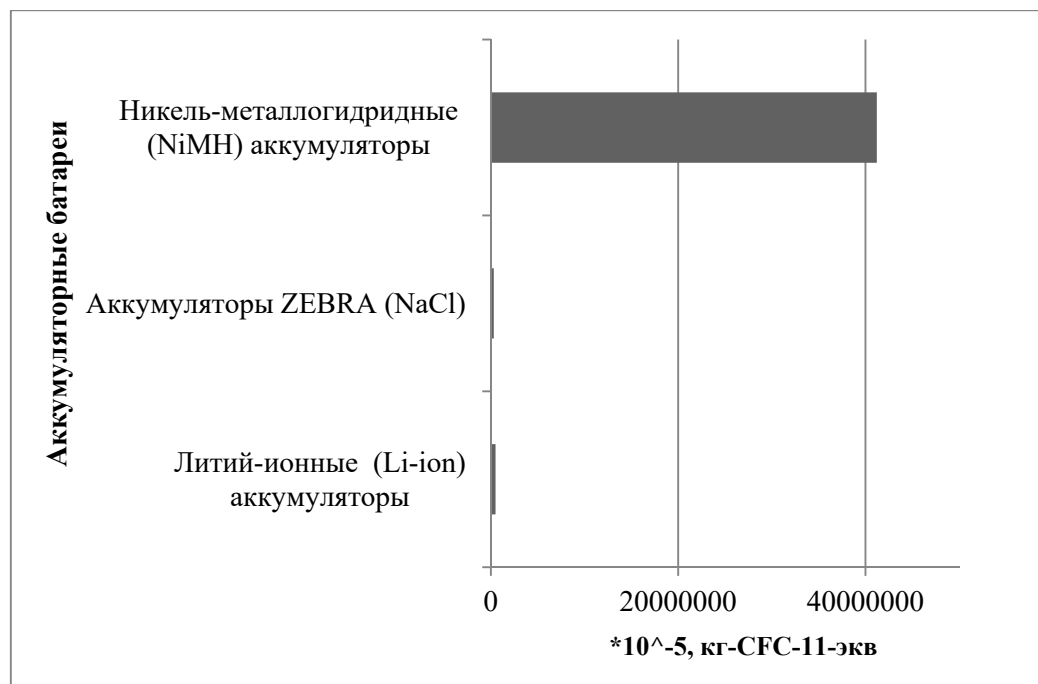


Рис. 7. Экологические эффекты аккумуляторов по категории воздействия «Стратосферное истончение озонового слоя»

Источник: разработано авторами на основе данных [19].

Заключение и выводы

В результате исследования было установлено, что наибольшее воздействие на окружающую среду по всем категориям оказывают никель-металлогидридные аккумуляторы, литий-ионные и аккумуляторы ZEBRA в наименьшей степени воздействуют на окружающую среду, а по ряду показателей их воздействие незначительно. Оценки экологических эффектов производства систем аккумулирования энергии, полученные в результате работы, могут быть использованы при разработке региональных программ поддержки развития возобновляемой энергетики и производства систем хранения энергии. Применение таких систем может способствовать снижению колебания мощности, повышению гибкости системы и обеспечению хранения и распределения произведенной электроэнергии, полученных от возобновляемых источников (в частности ветра и солнца). Каждый экологический эффект имеет свою степень важности. Это необходимо учитывать при расположении производств и применения систем хранения энергии.

Литература

1. Ратнер С.В., Нижегородцев Р.М. Анализ опыта реализации проектов в области возобновляемой энергетики в России // Теплоэнергетика. 2017. № 6. – С. 1-10.
2. Юмаев Н.Р. Экологические аспекты применения возобновляемых источников энергии [Текст] // Современные тенденции технических наук: материалы VI Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). — Казань: Молодой ученый, 2018. – С. 16-21.
3. Hosenuzzaman M. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. P. 284-297.
4. Ратнер С.В., Закорецкая К.А. Оценка экологической эффективности конкурирующих технологий фотовольтаики // Инновации. 2017. № 9. – С. 57-64.
5. Ратнер С.В., Иосифов В.В. К вопросу и разработке стратегии развития солнечной энергетики в России с учетом экологических эффектов // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т. 16. № 8. – С. 1522-1540.
6. Ратнер С.В., Иосифов В.В. Сравнительный анализ конкурирующих инновационных технологий наземного автотранспорта по эколого-экономическим показателям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11. № 4. – С. 212-221.
7. International Renewable Energy Agency (IRENA) [Электронный ресурс]: <http://globalatlas.irena.org/> [Дата обращения: 1.02.19].
8. Melnikova A., Jergentz S., Frör O. The assessment of economic and ecological potentials for the implementation of renewable energy sources (RES) in Krasnodar region // Conference InterGIS. 2018. № 1. – С. 289-295.
9. АО «АТС» [Электронный ресурс]: <https://www.atsenergo.ru> [Дата обращения: 23.11.18].
10. Ратнер С.В. Управление качеством энергоснабжения в энергосистемах со смешанным типом генерации: организационно-экономические аспекты // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2016. № 19. – С. 2-6.

11. Погорелов А.А. Системы хранения электрической энергии / А.А. Погорелов, Е.А. Манакова, А.А. Бубенчиков // Наука и молодежь в XXI веке. Материалы 3 Всероссийской студенческой научно-технической конференции. 2017. – С. 156-158.
12. Ould Amrouche S., Rekioua D., Rekioua T., Vacha S. Overview of energy storage in renewable energy Systems // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. № 41. P. 20914–20927.
13. Azzuni A., Breyer Ch. Energy security and energy storage technologies // Energy Procedia. 2018. № 155. P. 237–258.
14. Nikolaidis P., Poullikkas A. A comparative review of electrical energy storage systems for better sustainability // Journal of Power Technologies. 2017. № 97. С. 220–245.
15. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology [Электронный ресурс]: The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. – Режим доступа: <http://www.ecoinvent.org/> [Дата обращения 14.02.19].
16. Aitor P., Rodriguez C. LCIA methods. Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories: version LCIA. Berlin: GreenDelta. 2016. P. 18–21.
17. Best energy [Электронный ресурс]: <https://best-energy.com.ua/> [Дата обращения 25.03.19].
18. Ehrismann, B., Drück H. Technical study report on solar thermal technology LCIA methods and LCC models. United Nations Environment Programme (UNEP), 2015. - 71 p.
19. [Электронный ресурс]: <http://www.ecoinvent.org> [Дата обращения 14.02.19].

Поступила в редакцию

06.04.2019

Чувыврова Анна Евгеньевна – магистр факультета химии и высоких технологий Кубанского государственного университета, г. Краснодар, Россия.

Chuvyrova Anna – Department of analytical chemistry, faculty of chemistry and high technologies, Kuban State University, Krasnodar, Russia.

Иосифов Валерий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и автомобильного транспорта Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар, Россия.

Iosifov Valeriy – Department of Mechanical Engineering and Automobile Transport, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia.

Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149
149, Stavropolskaya st., 350040, Krasnodar, Russia

e-mail: nata.109@mail.ru

e-mail: iosifov_v@mail.ru