

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 541.144.8

### Исследование электроемкости электроактивных полимеров

**Н.Д. Костромской**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на -Дону, Российская Федерация

#### Аннотация

Рассматривается проблема экологии и безопасности существующих источников питания для автономных электроприборов, акцентируя внимание на недостатках литий-ионных аккумуляторов. Поднимается вопрос необходимости перехода на альтернативные источники питания, в частности рассматриваются электроактивные полимеры как новые материалы для создания более экологичных аккумуляторов. Представлены результаты исследования электроемкости электроактивных полимеров и их применение в конструкциях аккумуляторов для низкоточных электроприборов. В рамках эксперимента использовался метод спектроскопии электрохимического импеданса для изучения взаимодействия полученного полимера с электролитом. Полученные результаты будут способствовать оптимизации конструкции и оценке характеристик новых материалов, обеспечивая тем самым устойчивый переход к более экологически чистым технологиям хранения энергии.

**Ключевые слова:** полианилин, энергия, экология, полимеры, аккумуляторы, электроемкость, электроактивные полимеры, утилизация

**Для цитирования.** Костромской Н.Д. Исследование электроемкости электроактивных полимеров. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(3):46–49.

### Study on Capacitance of Electroactive Polymers

**Nikolai D. Kostromskoy**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

#### Abstract

The article studies the problems of environmental friendliness and safety of the existing power sources used for the autonomous electrical appliances, and focuses on the disadvantages of the lithium-ion batteries. The relevance of transition to alternative power sources is discussed, particular attention is paid to the electroactive polymers as the new materials for creating more environmentally friendly batteries. The results of a study on capacitance of electroactive polymers and their use in designs of batteries for low-current electrical appliances have been presented. In the frame of the experiment, the electrochemical impedance spectroscopy method was used to investigate the interaction of the obtained polymer with the electrolyte. The results retrieved shall contribute to optimisation of the design of new materials and to evaluation of their properties, thereby ensure a sustainable transition to the more environmentally friendly energy storage technologies.

**Keywords:** polyaniline, energy, ecology, polymers, batteries, capacitance, electroactive polymers, disposal

**For Citation.** Kostromskoy ND. Study on Capacitance of Electroactive Polymers. *Young Researcher of Don*. 2025;10(3):46–49.

**Введение.** В современном мире спрос на автономные электроприборы растет с каждым годом. Появляются новые гаджеты, многие из них перерабатываются до электронных версий, однако источники питания остаются неизменными на протяжении многих лет, и это контрастирует с тенденцией роста спроса на подобные товары. В настоящее время наиболее популярными являются аккумуляторы, работающие на основе обмена ионами лития, так как они удовлетворяют современным потребностям пользователей. Тем не менее, такой выбор является выгодным лишь для человека, но не для окружающей среды. Добыча редкоземельных металлов и их использование наносят колоссальный ущерб природе, отравляя почву, воду и атмосферу из-за выброса продуктов реакции лития с воздухом [3]. Кроме того, активность этого материала ставит под сомнение безопасность самих пользователей.

Эта статья призвана привлечь внимание к важности перехода на альтернативные источники питания. Здесь будут представлены результаты исследования электроемкости электроактивных полимеров и возможность их использования в конструкции аккумуляторов для низкоточных электроприборов.

**Основная часть.** Одним из важнейших показателей эффективности аккумулятора является электроемкость, то есть способность его элементов накапливать заряд.

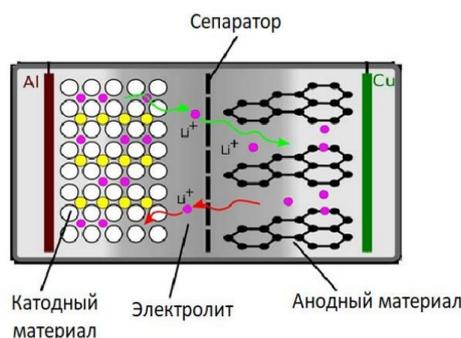


Рис. 1. Принцип работы литий-ионного аккумулятора [1]

В литий ионных аккумуляторах, как и в остальных современных разновидностях таких устройств есть катод и анод, где катод накапливает заряд, а анод принимает его при подключении аккумулятора к устройству (рис. 1). При подключении заряд начинает перетекать к аноду через электролит, который связывает эти два компонента. Само название аккумулятора, говорит о принципе его работы, то есть носителем заряда в этом случае является ион лития, который при зарядке возвращается к катоду [5].

Процесс в прямом направлении соответствует заряду, а обратный — разряду аккумулятора и может быть описан формулой 1 [4]:



**Описание проблемы.** Если рассматривать устройства с такими компонентами, как оксид литиевого металла в качестве катода, раствор солей лития в качестве электролита и графит в качестве анода, то такое устройство является наиболее распространённым в наше время, так как оно проявляет наибольшую эффективность с точки зрения цены, простоты и электроемкости по сравнению с другими аналогами. Тем не менее, литий сам по себе является активным металлом, который может реагировать даже с воздухом, и эта реакция происходит довольно бурно. Это усугубляет последствия отсутствия его переработки, так как приводит к загрязнению, несовместимому с жизнью растений и животных. Одно такое устройство может значительно повысить кислотность на площади около 20 квадратных метров почвы и в 400 литрах воды. Литий также воспламеняется на воздухе, что может привести к пожарам на свалках и в перерабатывающих станциях [2].

В качестве альтернативного решения для хранения энергии предлагается использовать аккумуляторы, не содержащие высокоактивных металлов. Одним из перспективных направлений в этой области является разработка аккумуляторов на полимерной основе с использованием электроактивных полимеров, что может значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду. Электроактивные полимеры представляют собой новый класс материалов, способных как накапливать энергию, так и изменять свою геометрическую форму под воздействием внешних раздражителей. В данной работе будут представлены результаты экспериментов по подбору материала и анализу электроемкости полученной конструкции.

Исходя из этого, в рамках работы над этой статьёй также будет проведён эксперимент в теоретическом формате, что создаст основу для дальнейших исследований. Для начала нам понадобится исследуемый материал, в качестве которого будет использоваться пленка на основе полианилина, полученная путём полимеризации на поверхности окислителя (таблица 1).

Таблица 1

**Шаги эксперимента по синтезу полианилиновой пленки**

№	Шаги эксперимента		
	Что делать	Зачем	Что если делать иначе
1	Растворить порошковый анилин гидрохлорид в дистиллированной воде.	Анилин гидрохлорид уже является солью, что упрощает процесс растворения и улучшает стабильность раствора.	Использование чистого анилина потребует добавления соляной кислоты и контроля pH, что усложняет процесс.

2	Приготовить раствор аммоний персульфата в дистиллированной воде	Анилин гидрохлорид уже является солью, что упрощает процесс растворения и улучшает стабильность раствора.	Использование другого окислителя может изменить скорость полимеризации и качество пленки.
3	Медленно добавлять раствор аммоний персульфата к раствору анилин гидрохлорида при постоянном перемешивании в ледяной бане	Низкая температура замедляет реакцию, позволяя контролировать образование полимера и предотвращая образование дефектов	Полимеризация при комнатной температуре может привести к неравномерной структуре и ухудшению свойств пленки.
4	После завершения полимеризации промыть осадок полианилина дистиллированной водой	Промывка удаляет остатки реагентов и побочные продукты, улучшая чистоту полианилина.	Неполная промывка может оставить примеси, влияющие на электропроводность и механические свойства пленки.
5	Отфильтровать осадок через вакуумный фильтр и высушите в вакуумной сушилке.	Вакуумная фильтрация и сушка ускоряют процесс и предотвращают окисление полианилина.	Без фильтрации, пленка склонна к деградации своих свойств

Таким образом мы получаем пленку полианилина толщиной примерно 0,2 – 0,5 мм.

**Метод исследования.** Для оценки качества полученного материала будет использован метод спектроскопии электрохимического импеданса. Этот метод позволит исследовать динамику переноса заряда и взаимодействие между полимером и электролитом, что критически важно для понимания их производительности в качестве аккумуляторов. Метод также поможет оценить такие параметры, как сопротивление материалов и их ёмкость, что имеет значение для оптимизации конструкции электродов [1].

Для использования данного метода нам потребуется подготовить ячейку. В качестве анода будет использоваться алюминиевая фольга, а полученная ранее пленка — в качестве катода. Также нам нужно будет приготовить раствор электролита, для чего можно использовать раствор сульфата натрия. Убедившись, что анод и катод очищены от загрязнений, мы закрепим их в ячейке, предварительно заполненной электролитом. Для проведения эксперимента также потребуется анализатор импеданса, на котором необходимо провести настройку параметров, таких как частотный диапазон и амплитуда напряжения и т.д.

После запуска эксперимента будет проведено исследование в частотном диапазоне от 1 до 100 кГц, что позволит получить полное представление о характеристиках импеданса системы. В результате будет записан план теоретического эксперимента, а также проведен анализ статей.

**Ожидаемые результаты эксперимента.** После проведения спектроскопии электрохимического импеданса ожидаются следующие результаты:

1. Диаграмма Найквиста — амплитудно-частотная характеристика, представляющая собой полукруг на графике, размер которого будет зависит от свойств пленки. Позволяет оценить, как сопротивление (R), так и емкость (C) (рис. 2).

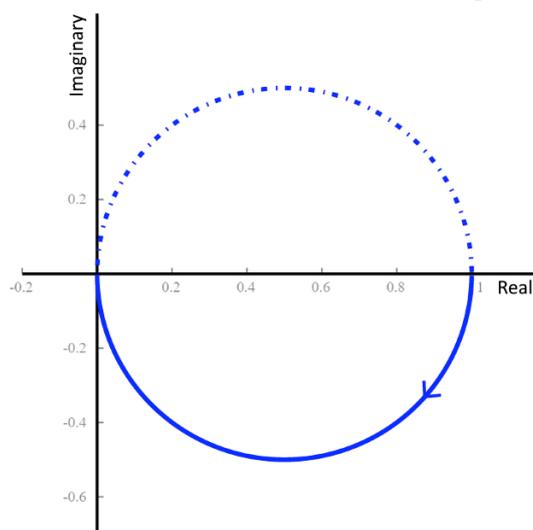


Рис. 2. Идеальная диаграмма Найквиста с реальной и мнимой координатными плоскостями

2. Определение емкости (C) системы — для этого можно воспользоваться формулой 2:

$$C = \frac{1}{2\pi\omega Z''}, \quad (2)$$

где  $\omega$  — частота, а  $Z''$  — мнимая часть импеданса.

3. Определение электропроводности — можно оценить по формуле 3:

$$\sigma = \frac{L}{R \cdot S}, \quad (3)$$

где  $L$  — толщина электрода,  $R$  — ранее полученное из диаграммы Найквиста сопротивление,  $S$  — площадь пленки.

**Заключение.** Проведенный анализ показывает, что литий-ионные аккумуляторы, несмотря на свои характеристики, удовлетворяющие запросам производителей электроприборов, не являются экологически безопасными и имеют риски возгорания при разгерметизации оболочки. Это может нанести значительный ущерб как пользователю, так и окружающей среде. Представленный эксперимент обоснован, так как теоретически он способен создать значительную базу для дальнейшего развития области новых материалов, а его практическое воспроизведение подтвердит пригодность данного типа материалов для использования в аккумуляторах нового поколения.

### Список литературы

1. Фалалеев Е.А. *Электрохимическое исследование и моделирование процессов переноса заряда в электроактивных полимерах и композитах на их основе*. ВКР. Санкт-Петербургский государственный университет; 2022. 53 с.
2. Чудинов Е.А., Ткачук С.А., Кокорин А.Н. Проблемы безопасности при эксплуатации литий-ионных аккумуляторов. *Современные проблемы науки и образования*. 2014;(3):1–5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13003> (дата обращения: 05.05.2025).
3. Елисеев Ю.Н., Мокряк А.В. Анализ пожарной опасности литий-ионных аккумуляторных батарей. *Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС России*. 2020;(3):14–17.
4. Круглов П.Е. Основные преимущества и недостатки литий-ионных аккумуляторов. В: *Труды Восьмой Международной научно-технической конференции «Качество в производственных и социально-экономических системах»*. Курск, 17 апреля 2020 года. Курск: Юго-Западный государственный университет; 2020. С. 247–250.
5. Михайлюкова М.Ю., Федорин Е.А., Меньшова И.И. Литий-ионные аккумуляторы нового поколения с использованием тонкопленочных кремниевых электродов. *Успехи в химии и химической технологии*. 2020;34(6):15–16.

### Об авторе:

**Николай Дмитриевич Костромской**, студент бакалавриата Донского государственного технического университета, факультета — институт опережающих технологий «Школа Икс» (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1), [n.kostromskoi@yandex.ru](mailto:n.kostromskoi@yandex.ru)

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

### About the Author:

**Nikolai D. Kostromskoy**, Bachelor's Degree Student of the Institute of Advanced Technologies “School of X”, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [n.kostromskoi@yandex.ru](mailto:n.kostromskoi@yandex.ru)

**Conflict of Interest Statement:** the author declares no conflict of interest.

**The author has read and approved the final manuscript.**