

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Ян Сижань, Масалимов Р.Б. Использование углеродных наноматериалов и литий-воздушных батарей в современном строительстве // Human Progress. 2024. Том 10, Вып. 6. URL: [http://progress-human.com/images/2024/Tom10\\_6/YangX.pdf](http://progress-human.com/images/2024/Tom10_6/YangX.pdf) DOI 10.46320/2073-4506-2024-6a-18

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ЛИТИЙ-ВОЗДУШНЫХ БАТАРЕЙ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Ян Сижань**

бакалавр

Инженерная школа ядерных технологий

Отделение экспериментальной физики

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

г. Томск, Российская Федерация

**Масалимов Радик Биктимерович**

кандидат технических наук,

доцент кафедры прикладных и естественнонаучных дисциплин  
Уфимского государственного нефтяного технического университета

г. Уфа, Российская Федерация

**Аннотация.** Современное инновационное развитие общества масштабируется на все аспекты и виды человеческой деятельности, использование инновационных материалов, становится не возможностью, а необходимостью в условиях санкционных ограничений и сужения рынков сбыта. Актуальность исследования состоит в том, что необходим теоретический и прикладной анализ новаций материалов, с учётом крайне высокой капиталоемкости строительной отрасли и дороговизны возможных ошибок при проектировании и строительстве. Объект исследования – строительная отрасль. Предмет исследования – инновационные материалы в строительной отрасли. Цель исследования – рассмотреть потенциал использования углеродных наноматериалов и литий - воздушных батарей в современном строительстве. В исследовании представлены типы и содержание углеродных наноматериалов и литий-воздушных батарей. Представлена их эволюция с указанием плюсов и минусов возможной эксплуатации. Представлены потенциальные области применения углеродных наноматериалов и литий - воздушных батарей в современном строительстве. Сделан вывод, что будущая перспектива внедрения данных материалов в

производственный цикл строительства, на взгляд авторов, имеет значительный потенциал роста и потенциально способна изменить традиционный способ строительства и архитектуры.

**Ключевые слова:** композитный материал, инновационный материал, долговечность, эксплуатационная надёжность, энергосбережение, экономика строительства.

## Введение

С развитием технологий и химической промышленности в семействе углеродных материалов появилось множество новаций, таких как технический углерод, графен, фуллерен, углеродные нанотрубки, графин, углеродные наноточки, пористый углерод, углеродные нановолокна. Из них наноуглеродные материалы отличаются необычайно высокой подвижностью носителей заряда, отличной электропроводностью, высокой теплопроводностью, сверхпрочными механическими свойствами и уникальным светопропусканием и благодаря таким свойствам, они находят широкое применение в умных домах и в области промышленности композитных материалов, открывая перед ними широкие перспективы. Электрохимические характеристики литий-ионных аккумуляторов во многом определяются составом, микроструктурой и морфологией электродных материалов, с момента перехода к графитовым электродам, углеродные материалы играют ключевую роль в составе литий-ионных аккумуляторов. Постоянное повышение требований к производительности литий-ионных аккумуляторов привело к появлению литий-воздушных аккумуляторов. Появление новых наноуглеродных материалов открыло новые возможности для применения в аккумуляторах: высокая удельная площадь поверхности этих материалов позволяет обеспечить большее количество мест хранения лития для ионов лития, сокращая путь передачи ионов лития, что способствует улучшению скорости диффузии и деинтеркаляции ионов лития, а также увеличивает скорость переноса электронов в углеродных материалах.

## Основная часть

Наноуглеродные материалы обладают высокой подвижностью электронов и являются отличными проводниками поэтому создание оптимальной сети переноса электронов внутри электрода и между электродом и внешней цепью является одной из основных задач в применении наноуглеродных материалов в литий-воздушных аккумуляторах. Литий-воздушные батареи основаны на электрохимическом соединении реактивного анода с электродом, открытым воздуху (т.е. кислороду), который является катодно-активным материалом. Такая конструкция позволяет создавать батареи с неиссякаемым катодным реагентом, что в некоторых случаях обеспечивает очень высокую удельную энергию: «К настоящему времени разработаны четыре основные конструкции литий-воздушного ИТ. В

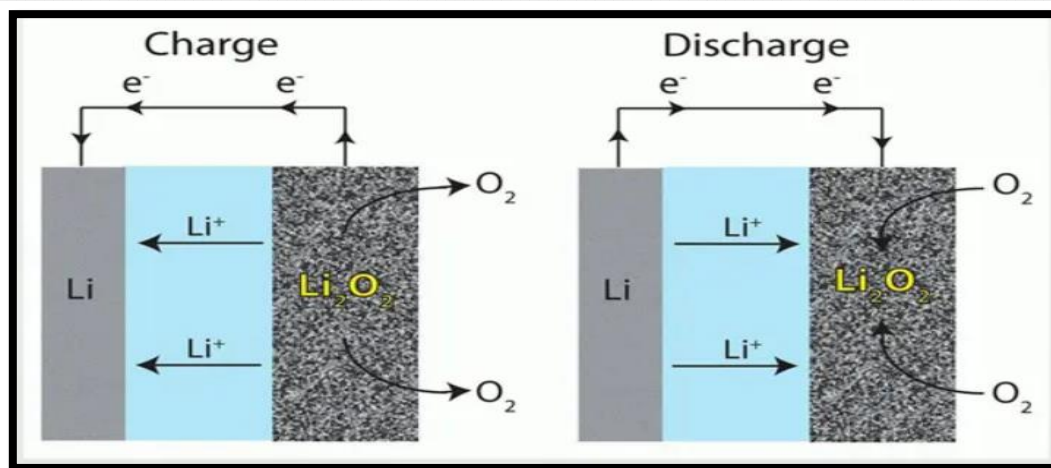
трех из них используются жидкие электролиты: чистый апротонный электролит, водный электролит или их смесь (водный электролит на катоде и апротонный электролит на аноде). Четвертая система предполагает применение твердого электролита. Характер электрохимических процессов в системе определяется типом электролита, омывающего катод» [1, с. 4]. Пределы емкости литий-воздушных батарей определяются анодом и обращением с катодными реагентами: «В литий-ионных аккумуляторах (ЛИА) графит в качестве матрицы для лития, благодаря своей слоистой структуре, способен к обратимой электрохимической интеркаляции лития из неводных растворов. Удельная энергия современных ЛИА составляет 150–200 Вт·ч/кг и близка к пределу, обеспечиваемому существующей электрохимической системой. Для ЛИА следующего поколения с более высокими электрохимическими показателями необходим поиск новых, более емких электродных материалов. Применение нанотехнологий позволит создавать материалы с высокими эксплуатационными характеристиками. Есть основание полагать, что анодные наноматериалы на основе кремния или олова, заменив графит, способны существенно повысить электрохимические характеристики ЛИА в целом» [2, с. 65]. Первые разрабатываемые системы были основаны на цинке - наиболее электроположительном металле, который можно гальванизировать в водных растворах с использованием нейтральных или щелочных электролитов. Zn-воздушная батарея используется в качестве батареи для слуховых аппаратов, а элементы Mg-air и Al-air нашли применение в подводных двигателях и разрабатываются как соляные системы. Большинство коммерческих металло-воздушных батарей, включая Zn-воздух, Al-воздух и Mg-воздух, можно перезаряжать механически путем замены разряженного анода и отработанного/разложившегося электролита новыми компонентами. Кроме того, суспензия отработанного электролита, содержащая оксиды и гидроксиды металлов, может быть переработана и регенерирована в металл с помощью электролиза или термического разложения.

Основная проблема заключается в перезарядке металло-воздушных аккумуляторов электрическим током, которая является более сложной задачей, чем перезарядка других типов аккумуляторов, так как для нее требуется электрод, способный как к реакции восстановления кислорода (англ. ORR) во время разряда, так и к реакции выделения кислорода (англ. OER) во время заряда. С электрохимической точки зрения участвующие реакции, а также общие продукты (и побочные продукты) могут отличаться друг от друга в различных типах металло-воздушных батарей в зависимости от используемого металла, электролита и каталитических материалов. В целом, металло-воздушные батареи сталкиваются с рядом технологических проблем, затрагивающих как анодное, так и катодное отделение: в аноде основные проблемы

связаны с коррозией, вызванной воздействием электролита, что снижает общую емкость и кулоновский КПД; в катоде наиболее важные проблемы связаны с высокими перенапряжениями и сложностью химического состава кислорода, что может привести к необратимым реакциям, механизмы которых часто трудно понять: «Одним из перспективных направлений в энергетике является разработка металл-воздушных аккумуляторов (Li/Na/K-воздушных батарей). Данная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с ионными батареями, в частности Li-воздушные батареи имеют потенциально значительно большую энергоемкость. Однако характеристики реальных устройств далеки от теоретического потенциала. Na/K-воздушные аккумуляторы рассматриваются как более дешевая и в то же время более эффективная с точки зрения преобразования энергии альтернатива Li+воздушным батареям» [3, с. 286].

Среди химических соединений металл-воздух перезаряжаемые литий-воздушные аккумуляторы стали наиболее исследованными за последние 10 лет, именно они являются наиболее многообещающей альтернативой литий-ионным устройствам для массового применения в автомобилестроении и крупномасштабного внедрения возобновляемых источников энергии в строительстве.

Основное преимущество литий-воздушной батареи заключается в ее ожидаемой очень высокой теоретической удельной энергии, то есть весовой плотности энергии (Втч кг<sup>-1</sup>) или плотности энергии, то есть объемной плотности энергии (Втч л<sup>-1</sup>). Фактически, часто приводится значение 11 586 Втч/кг, что значительно превышает значение для топливного элемента на основе метанола/воздуха (5524 Втч/кг) и очень близко к значению для бензинового двигателя (11 860 Втч/кг). Однако это значение не учитывает добавление массы O<sub>2</sub> во время разряда элемента, и более реалистичные значения 3505 и 3582 Втч/кг были недавно получены для неводных и водных электролитов соответственно [4]. Несмотря на это, ожидается, что литий-воздушные батареи будут иметь потенциал примерно в 10 раз большей плотности энергии, чем литий-ионные устройства. В настоящее время в литературе описаны четыре различных подхода, существенно отличающихся по природе электролита, а именно: 1) водный, 2) неводный апротонный, 3) смешанный водно-апротонный и 4) полностью твердый – рисунок (принципиальная схема).



**Рисунок 1. Принципиальная схема работы литий-воздушной батареи (Charge – зарядка; Discharge – разрядка)**

Источник: составлено автором по данным URL: <https://www.tycorun.com/blogs/news/lithium-air-battery>

В водных системах литий-воздух угольный катод меньше подвержен закупорке пор и обычно используется коммерческий углерод при этом углеродные нанотрубки (УНТ) являются перспективным материалом для создания иерархических композитных материалов благодаря своим исключительным механическим свойствам, таким как модуль упругости ( $\sim 1$  ТПа) и прочность ( $\sim 100$  ГПа). Но несмотря на высокие теоретические показатели, попытки встроить УНТ в иерархические структуры (нити, волокна или пленки) композитных материалов, используемых в строительстве приводили к значительно более низким механическим свойствам, чем полученные теоретические значения.

Литий-воздушные элементы с водным электролитом состоят из металлического литиевого анода, водного электролита и пористого углеродного катода, в котором может быть размещен катализатор на основе металла, а водный электролит содержит растворимые соли лития.

Литий-воздушные элементы с водно-апротонным (смешанным) электролитом объединяют преимущества апротонных и водных конструкций. В таких гибридных системах электролит разделен на две части: водную и апротонную, соединенные литийпроводящим слоем, где металлический литиевый анод контактирует с апротонной стороной электролита, чтобы избежать контакта с водой, а пористый катод - с водной стороной.

В литий-воздушных элементах углеродистые (нано)материалы являются основой структуры катода и могут дополнительно содержать металлические (или смешанные металл/неметаллические) катализаторы.

Углеродистые материалы можно разделить на две основные категории:

1. Аморфный углерод, который характеризуется структурным беспорядком и различными физико-химическими свойствами.

2. Графитовый углерод, который обладает упорядоченной структурой и отличается своими электрофизическими свойствами.

Выбор оптимального углеродного материала для катода литий-воздушных элементов определяется следующими ключевыми факторами [5]:

1. Большая площадь поверхности, которая обеспечивает более эффективную реакционную поверхность.

2. Микро- и мезопористость, создающая благоприятные условия для транспорта реагентов и продуктов реакции.

3. Электрокаталитические свойства, которые способствуют оптимизации скорости реакций.

4. Смачиваемость, что обеспечивает хороший контакт с электролитом.

Правильный выбор и оптимизация углеродного материала играют ключевую роль в повышении эффективности и долговечности литий-воздушных элементов, но важно также учитывать, что углеродный материал может подвергаться разложению под воздействием электролита, что особенно актуально для водных электролитов, где известны электродные потенциалы коррозии углерода в реакциях выделения/восстановления кислорода. В случае неводных литий-воздушных батарей при заряде до 4 В может происходить окислительное разложение углерода и образование побочных продуктов на основе лития, таких как  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  и карбоксилаты лития.

Механические свойства композитов из УНТ для использования в агрессивных средах или в средах с особой нагрузкой в строительстве могут быть реализованы в полимерных композитных нитях на основе нанотрубок, получаемые путем скручивания и растяжения лент из случайно ориентированных пучков нанотрубок, покрытых полимерными органическими соединениями, которые демонстрируют необычайно высокую энергию разрушения  $\sim 100 \text{ Дж}\cdot\text{г}^{-1}$  (сопоставимую с прочностью паучьего шелка) [4]. К примеру, нанобетон представляет собой модифицированный бетон с добавлением наноинициаторов – специальных добавок, которые повышают прочность бетона в два раза, когда срок службы нанобетона может достигать 500 лет.

Области применения:

- Возведение мостов
- Строительство атомных электростанций
- Постройка небоскребов

Наносталь – это уникальный материал, не имеющий аналогов по прочности, которая идеально подходит для строительства гидротехнических сооружений и дорожных объектов. Нанопокртия из полимеров и композитов, наносимые на стальные конструкции, защищают их от коррозии и значительно увеличивают срок службы. Нанокompозиты – это материалы, состоящие из нескольких компонентов, один из которых имеет наноразмер: Нанокompозитные трубы, которые используются в системах газоснабжения, отопления и водоснабжения; Композитная арматура: из стеклопластика в четыре раза легче стальной арматуры, которая обладает повышенной прочностью, устойчивостью к коррозии и низкой теплопроводностью.

Экономический потенциал использования современных литий-воздушных батарей заключается в использовании конструктивных элементов объекта строительства на базе композитных наноматериалов, что в перспективе принципиально изменит проектные и архитектурные решения, так как:

- керамические материалы обладают высокой ионной проводимостью, а полимерные – высокой стабильностью, а композитный электролит объединяет эти преимущества.

- возможность работы при комнатной температуре и обеспечение фактора долговечности в строительстве: «...промежуток времени, при котором здание (сооружение) соответствует условиям нормальной эксплуатации, включающий в себя временные интервалы на восстановление требуемых параметров надёжности объекта (капитальный ремонт или реконструкция), без учёта временных лагов необоснованного простоя объекта от момента восстановительных мероприятий до момента ввода в эксплуатацию» [6, с. 55].

- уменьшение толщины электролита без снижения производительности может привести к значительному повышению плотности энергии, что может быть использовано в том числе для покрытия стен и как источник генерации энергии [7].

Потенциал литий-воздушных батарей в строительстве:

1. Высокая плотность энергии, так как литий-воздушная батарея может накапливать один киловатт-час на килограмм или выше, что в четыре раза превышает возможности современных литий-ионных технологий.

2. Литий-воздушная батарея на основе оксида лития ( $\text{Li}_2\text{O}$ ) теоретически способна обеспечить плотность энергии, сопоставимую с плотностью бензина.

## **Заключение**

Углеродные наноматериалы и литий - воздушные батареи, это факторы, трансформирующие традиционные технологии промышленности материалов и электрогенерации. Все эти факторы являются особо капиталоемкими при возведении объекта строительства, повышающие два основных показателя устойчивого развития: долговечность

и энергосбережение. Будущая перспектива внедрения данных материалов в производственный цикл строительства, на взгляд авторов, выглядит оптимистично и потенциально способна изменить традиционный способ строительства и архитектуры.

### Список литературы

1. Тарасевич М.Р., Андреев В.Н., Корчагин О.В., Трипачев О.В. Литий-кислородные (воздушные) источники тока (Современное состояние и перспективы) // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2017. Т. 53, № 1. С. 3-52. DOI 10.7868/S0044185617010181. EDN XSMXHB.
2. Морачевский А.Г., Попович А.А., Демидов А.И. Применение лития, его сплавов и соединений в химических источниках тока (К 25-летию начала производства литий-ионных аккумуляторов) // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 1 (238). С. 65-79. DOI 10.5862/JEST.238.7. EDN VRCSGZ.
3. Смирнов В.С., Кисленко С.А. Влияние типа растворителя и радиуса катиона на взаимодействие с супероксид анионом применительно к металло-воздушным аккумуляторам // Труды конференции–конкурса молодых физиков. 2019. Т. 25, № S2. С. 286-288. EDN FHGIQW.
4. Grande L. et al. The lithium/air battery: still an emerging system or a practical reality? // Advanced materials. 2015. Т. 27. № 5. С. 784-800. DOI 10.1002/adma.201403064/.
5. Chen K. et al. Lithium–air batteries: air-electrochemistry and anode stabilization // Accounts of Chemical Research. 2021. Т. 54. № 3. С. 632-641.
6. Хайруллин В.А., Салов А.С., Терехов И.Г., Масалимов Р.Б. Техничко-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства // Дискуссия. 2022. № 6 (115). С. 52-70. DOI 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70. EDN RNACZG.
7. Капустина Л.М., Изакова Н.Б., Кораблев Д.А. Разработка коммуникационной стратегии дистрибьютера строительного инструмента на основе маркетингового исследования // Human Progress. 2023. Т. 9, № 3. С. 19. DOI 10.34709/IM.193.19. EDN WEMBQN.



# THE USE OF CARBON NANOMATERIALS AND LITHIUM-AIR BATTERIES IN MODERN CONSTRUCTION

**Yang Xiran**

Bachelor

Engineering School of Nuclear Technology  
Department of Experimental Physics National Research  
Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russian Federation

**Masalimov Radik Biktimerovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied and  
Natural Sciences of Ufa State Petroleum Technical University  
Ufa, Russian Federation

**Abstract.** Modern innovative development of society is scaled to all aspects and types of human activity, the use of innovative materials becomes not an opportunity, but a necessity in the conditions of sanctions restrictions and narrowing sales markets. The relevance of the study lies in the need for theoretical and applied analysis of innovations in materials, taking into account the extremely high capital intensity of the construction industry and the high cost of possible errors in design and construction. The object of research is the construction industry. The subject of the research is innovative materials in the construction industry. The purpose of the study is to consider the potential of using carbon nanomaterials and lithium-air batteries in modern construction. The study presents the types and contents of carbon nanomaterials and lithium-air batteries. Their evolution is presented, indicating the pros and cons of possible operation. Potential areas of application of carbon nanomaterials and lithium-air batteries in modern construction are presented. It is concluded that the future prospect of introducing these materials into the construction production cycle, in the authors' opinion, has significant growth potential and is potentially capable of changing the traditional method of construction and architecture.

**Key words:** composite material, innovative material, durability, operational reliability, energy saving, construction economics.

## References

1. Tarasevich M.R., Andreev V.N., Korchagin O.V., Tripachev O.V. Lithium-oxygen (air) current sources (Current state and prospects) // *Physicochemistry of the surface and protection of materials*. 2017. Vol. 53, № 1. P. 3-52. DOI 10.7868/S0044185617010181. EDN XSMXHB.
2. Morachevsky A.G., Popovich A.A., Demidov A.I. The use of lithium, its alloys and compounds in chemical current sources (To the 25th anniversary of the start of production of lithium-ion batteries) // *Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University*. 2016. № 1 (238). P. 65-79. DOI 10.5862/JEST.238.7. EDN VRCSGZ.
3. Smirnov V.S., Kislenco S.A. Influence of solvent type and cation radius on interaction with superoxide anion in relation to metal-air batteries // *Proceedings of the conference-competition of young physicists*. 2019. Vol. 25, № S2. P. 286-288. EDN FHGIQW.
4. Grande L. et al. The lithium/air battery: still an emerging system or a practical reality? // *Advanced materials*. 2015. T. 27. № 5. C. 784-800. DOI 10.1002/adma.201403064/.
5. Chen K. et al. Lithium-air batteries: air-electrochemistry and anode stabilization // *Accounts of Chemical Research*. 2021. T. 54. № 3. C. 632-641.
6. Khairullin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B. Technical and economic assessment of durability and residual service life of the construction object // *Discussion*. 2022. № 6 (115). P. 52-70. DOI 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70. Editor's NOTE.

---

7. Kapustina L.M., Isakova N.B., Koraleev D.A. Development of a community-strategic software distributor based on marketing research // Human progress. 2023. Vol. 9, № 3. P. 19. DOI 10.34709/IM.193.19. EDN WEMBCN.