

**УДК 33****Экономическая эффективность механических аккумуляторов энергии****Гивчак Виктор Андреевич**

Магистрант,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, 83;  
e-mail: x777007x@mail.ru

**Киреенко Анна Павловна**

Доктор экономических наук, профессор,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, 83;  
e-mail: kireenkoap@istu.edu

**Путинцев Олег Романович**

Исследователь,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, Иркутск, ул. Лермонтова, 83;  
e-mail: oleg.pytin@gmail.com

**Аннотация**

В статье произведен анализ экономической эффективности механических аккумуляторов энергии. Представлен обзор научно-практических, статистических данных, даны авторские выводы, в качестве эмпирической базы исследования проведено сравнение между экономической эффективностью маховика одной из компаний и литий-ионного аккумулятора. Сделан вывод о том, что в России пути развития в области хранения электрической энергии определяются в контексте глобальных тенденций и возможностей, а также текущих и будущих вызовов в смежных отраслях мировой экономики. Выбор определенных технологий для развития зависит от множества факторов, включая международные тренды и ограничения. Российские решения могут получить преимущество на конкурентном рынке, включая экспортные возможности, благодаря наличию разработок и технологических инноваций.

**Для цитирования в научных исследованиях**

Гивчак В.А., Киреенко А.П., Путинцев О.Р. Экономическая эффективность механических аккумуляторов энергии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 4А. С. 88-95.

**Ключевые слова**

Энергия, накопитель, аккумулятор, источник, маховик, ГАЭС.

---

## Введение

Энергетические накопители (далее – ЭН) представляют собой устройства, способные сохранять энергию в процессе ее заряда и передавать ее впоследствии на выполнение определенных задач во время разряда. Эти устройства могут быть разделены на несколько типов: электрические, тепловые и механические. Создателем механического прибора для хранения энергии является Армстронг, который использовал технику поднятия груза на высоту или сжатия воздуха под высоким давлением для своего изобретения. ЭН находят применение в ряде ключевых областей благодаря способности собирать электрическую энергию (далее – ЭЭ) в один момент времени и предоставлять ее для использования позже, что обеспечивает выполнение полезной работы. ЭЭ может быть сохранена на время, чтобы использоваться, когда это будет необходимо; кроме того, она может изменять свою форму, превращаясь из одного типа в другой и модифицируя свои свойства. В целом она представляет собой силу движения, включая линейное перемещение и вращательные движения, а также силу, возникающую в процессе взаимодействия объектов или их составных частей, объединяя в себе кинетическую и потенциальную формы [Соев, www].

Целью исследования является анализ экономической эффективности применения механических аккумуляторов энергии.

## Материалы и методы исследования

Анализ научно-практических, статистических сведений, синтез мнений, обобщение, сравнительный, математический и экономический анализ, графическая интерпретация результатов.

## Обзор литературы

В современной энергетике выделяют три ключевых типа ЭН. В их число входят структуры для хранения больших объемов ЭЭ, устройства, способные очень быстро отдавать накопленную ЭЭ, и технологии, основанные на использовании аккумуляторов. Сфера хранения ЭЭ постоянно развивается, благодаря чему уже сейчас существует обширный набор методов и подходов для ее запасаения. Эти методы организованы в различные категории и подкатегории, обеспечивая широкий спектр решений для разнообразных задач.

Рынок систем ЭН представлен на рисунке 1.

Энергетическое хранение является ключевым аспектом в современной энергетике, особенно в контексте поиска альтернативных, экологически чистых источников энергии. Маховики, устройства, аккумулирующие механическую энергию за счет вращения, представляют собой один из перспективных подходов в этой области. Накопление энергии в маховиках происходит благодаря увеличению их частоты вращения, что прямо пропорционально увеличивает количество запасаемой энергии. Интересно, что не все маховики одинаково эффективно справляются с увеличением нагрузок. Исследования показали, что форма данного устройства играет важную роль в его способности выдерживать высокие скорости вращения без риска разрушения. Определенные конструкции маховиков оказались значительно более устойчивыми к разрушению, даже при одинаковой прочности используемых материалов [Тер-Газарян, Крючков, Корев, 2012; Savard, Яковлева, 2017].



**Рисунок 1 – Рынок систем ЭН [Накопители энергии в России, www]**

Этот принцип нашел свое применение в разработках американской компании Beacon Power, которая с 1997 года занимается созданием систем хранения энергии на основе супермаховиков. Эти инновационные системы способны выдавать мощность в диапазоне от 2 до 200 кВт в зависимости от конкретной модели, что открывает широкие перспективы для их использования в различных областях. Кульминацией их усилий стало строительство в 2009 году регулирующей электростанции на супермаховиках мощностью 20 МВт. Этот прорыв в области хранения ЭЭ с помощью маховиков демонстрирует значительный потенциал для создания эффективных и экологически чистых систем ЭН. Подобные инновации могут сыграть ключевую роль в развитии современной энергетики, обеспечивая более стабильное и устойчивое энергоснабжение в будущем.

Применение ГАЭС способствует экономии за счет уравнивания изменений в потреблении энергии. Это дает возможность электростанциям на угле и атомным станциям, обычно обеспечивающим основное энергоснабжение, функционировать на оптимальном уровне. Следствием является сокращение потребности в ЭЭ в периоды пикового спроса. Кроме того, энергетические установки, которые используют аналогичные виды топлива, как и основные тепловые источники – газ и нефть, но предназначенные для поддержки в критические периоды, также вносят свой вклад в общую эффективность системы. Важность ГАЭС в качестве механического накопителя заключается в их критической роли для синхронизации работы обширных и разнообразных групп генераторов, при этом акцент делается на гибкость управления, а не на достижение пика эффективности. Несмотря на относительно высокие первоначальные инвестиции в строительство ГАЭС, их стоимость оправдывается за счет продолжительного времени эксплуатации, достигающего 75 лет и более, что значительно превышает жизненный цикл традиционных аккумуляторов в три-пять раз [Фазылов, Стоцкий,

Стоцкая, 2019].

В настоящее время энергетическая индустрия испытывает влияние множества важных глобальных изменений, среди которых выделяются увеличение потребности в электричестве, активное применение цифровых средств, стремление к уменьшению углеродного следа и развитие децентрализованных систем. В центре этих трансформаций находится четвертая энергетическая революция, которая подразумевает отход от традиционных углеводородных источников к более активному использованию альтернативных, возобновляемых источников ЭЭ. Отличительной чертой данного периода является ключевая роль государственной энергетической политики, ориентированной на уменьшение эмиссии парниковых газов. В 2022 году, по данным МЭА, мировое производство ЭЭ составило 28 334 ТВт/ч. Большинство производимой в мире ЭЭ все еще генерируется из ископаемых видов топлива, которые составили 61% общего производства (уголь – 36%, газ – 23%, другие виды ископаемых топлив – 2%). На долю остальных источников, таким образом, приходилось 39% общей генерации, из них первое место занимает гидроэнергетика – 15%, а второе – атомная энергетика (10%). Длительный период времени доминирование в сфере аккумулирования ЭЭ принадлежит гидроаккумулирующим электростанциям (ГАЭС), которые уникальным образом превращают ЭЭ в потенциальную энергию водных запасов, действующих по принципу обычных гидроэлектростанций (ГЭС) когда это необходимо. В то же время появление новых технологий и рост мелких потребителей ЭЭ стимулирует развитие децентрализованных систем хранения. Они способны гарантировать доставку ЭЭ на основе энергии ветра и солнца, что требует более гибкого подхода к управлению мощностью. По прогнозам агентства Bloomberg, к 2024 году общий объем аккумулированной ЭЭ, за исключением гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС), достигнет 81 гигавайт-часов. Это показывает рост в 16 раз по сравнению с показателем 2022 года, который составлял всего 5 гигавайт-часов. Несмотря на такой значительный рост, эти объемы аккумулирования все еще будут представлять собой лишь малую долю в общей структуре производства ЭЭ с использованием ветровой и солнечной энергии [Филиппова, 2023].

В условиях экономического застоя, слабых продаж на автомобильном рынке и высокой конкурентной борьбы деятельность участников российского рынка механических аккумуляторных батарей (далее – АКБ) сосредоточена на сохранении своих рыночных позиций. В стране объем рынка АКБ оценивается в 12 миллионов единиц, причем большая его часть принадлежит вторичному сектору с объемом поставок в 11 миллионов батарей. Ввиду увеличения качества отечественных АКБ и успешной реализации программы импортозамещения наблюдается значительное сокращение ввоза иностранных АКБ на рынок. Эксперты отмечают, что российские АКБ для автомобилей активно заменяют импортные изделия, что свидетельствует о высокой эффективности проводимой политики. Это происходит не только благодаря государственной поддержке, но и из-за значительного улучшения качества продукции внутреннего производства. Особенно высоким спросом отечественные АКБ пользуются среди владельцев легковых и тяжелых коммерческих автомобилей [Российский рынок АКБ: внутри стагнации, [www](http://www)].

В современном мире, с учетом интенсивного развития производственного сектора, наблюдается значительный рост потребления ЭЭ. Это подталкивает к необходимости перехода с использования классических источников энергии на альтернативные варианты. Однако стабильность выработки ЭЭ становится вызовом из-за того, что большинство альтернативных источников характеризуются переменной эффективностью. Найти решение данной проблемы можно с помощью разработки и внедрения передовых технологий хранения электричества. В

этом контексте использование маховиков для хранения кинетической энергии выделяется как одно из самых перспективных направлений. Массивное колесо, известное как маховик, выполняет функцию инерционного накопителя благодаря своей способности вращаться. Это вращение, ускоренное через механический или электрический привод, позволяет ему накапливать кинетическую энергию. В периоды, когда энергия имеется в избытке, маховик ее аккумулирует, а когда возникает нехватка – отдает, обеспечивая тем самым балансировку энергопотребления. Использование маховика в автомобильной промышленности позволяет значительно снизить расход топлива, что особенно важно учитывая высокие цены на нефть в XXI веке. Кроме того, его свойства активно применяются для стабилизации кораблей на волнах, снижая качку и улучшая устойчивость на воде [Бубенчиков, Терещенко, Бубенчикова, 2019].

### **Результаты исследования**

Для определения экономической эффективности был взят маховик компании Beacon Power в сравнении с самым распространенным на сегодняшний момент видом ЭН литий-ионным аккумулятором. Их экономическая эффективность зависит от множества факторов, таких как начальные затраты, эксплуатационные расходы, срок службы и эффективность в долгосрочной перспективе.

### **Заключение**

Маховики оказываются более предпочтительными с учетом всех дополнительных затрат и потерь, имеют более стабильные показатели эффективности и меньшие потери энергии на протяжении времени, требуют значительных начальных вложений, но не требуют замены в течение 20 лет.

Для усиления рынка и продвижения возможностей использования альтернативных энергетических технологий в период с 2021 по 2035 годы ключевыми моментами станут:

- Обширное внедрение и удешевление возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что включает повсеместное создание новых зон генерации.
- Расширение зон применения электротранспорта.
- Прогресс в разработке и снижение цены на литий-ионные батареи параллельно с увеличением спроса на производственные и транспортные энергетические мощности.
- Технологии, связанные с водородом, объединяют методы выработки энергии из газа с использованием топливных элементов для создания синтетического химического топлива, которое служит для накопления ЭЭ.
- С другой стороны, гравитационные системы хранения энергии представляют собой уникальные электростанции, принцип работы которых схож с подъемом твердых объектов в лифте, что делает их благодаря высокой эффективности перспективными кандидатами на звание технологических новаторов на внутреннем рынке альтернативной энергетики.

Инвестиции и фокусировка на эти сегменты станут решающими для позитивного изменения в сфере альтернативной энергетики.

В сфере использования ЭЭ Россия работает над разнообразием технологий аккумулирования энергии, разделяя их на пять основных категорий. Во-первых, внимание уделяется развитию АКБ, выходящих за рамки традиционной литиевой базы, включая

исследования в области натрий-ионных, калий-ионных и магний-ионных систем. Во-вторых, исследуются проточные батареи, где основное внимание сосредоточено на разделении функций источника энергии и электролита, среди которых выделяются технологии на основе ванадия, цинка с бромом и железа. Кроме того, разрабатываются металло-воздушные АКБ, включая алюминиево-воздушные и воздушно-цинковые системы, которые представляют отдельную группу в рамках этой классификации.

Основные барьеры на пути развития рынка ВИА, на основе которых предпочтительно построение работы механических ЭН, включают в себя два ключевых аспекта.

Во-первых, из-за текущей структуры рынка электроэнергии энергетические механические аккумуляторы не представляют собой объекты, которые могли бы быть экономически выгодными или привлекательными для инвесторов.

Во-вторых, существуют препятствия, связанные с законодательным и техническим регулированием в сфере электроэнергетики, включая отсутствие услуги по уравниванию пиковых нагрузок или признание уникального статуса для определенных генераторов системы.

В России преобладает зависимость от импорта в сфере технологических продуктов для ЭН, с исключением производства литий-ионных батарей компанией Лиотех, которое является редким примером полного цикла производства в данной области. Дополнительно страна сталкивается с отсутствием успешных примеров демонстрационных проектов, которые можно было бы внедрить в энергетическую систему на большем масштабе. Пути развития в области хранения ЭЭ в стране определяются в контексте глобальных тенденций и возможностей, а также текущих и будущих вызовов в смежных отраслях мировой экономики. Отсюда следует, что выбор определенных технологий для развития зависит от множества факторов, включая международные тренды и ограничения. Российские решения могут получить преимущество на конкурентном рынке, включая экспортные возможности, благодаря наличию разработок и технологических инноваций.

## Библиография

1. Анализ эффективности применения накопителей энергии в различных типах электроэнергетических систем. URL: <https://energypolicy.ru/analiz-effektivnosti-primeneniya-nakopitelej-energii-v-razlichnyh-tipah-elektroenergeticheskikh-sistem/energoperehod/2023/10/03/> (дата обращения: 14.06.2024).
2. Бубенчиков А.А., Терещенко Н.А., Бубенчикова Т.В. Обзор накопителей кинетической энергии маховикового типа // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2019. № 1. С. 53-59. DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-53-59.
3. Какое будущее у механических накопителей энергии? URL: <https://dzen.ru/a/YxDlpSbPyajjOCp?ysclid=lxeg50fg4354689427> (дата обращения: 14.06.2024).
4. Накопители энергии в России. URL: [https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon\\_consulting\\_storage.pdf](https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf) (дата обращения: 14.06.2024).
5. Российский рынок АКБ: внутри стагнации. URL: <https://ai-media.ru/news/rossijskij-rynok-akb-vnutri-stagnacii/?ysclid=lxeg5jrxbh321345704> (дата обращения: 14.06.2024).
6. Соев С.С. Механические накопители энергии // Образовательный портал «Справочник». URL: [https://spravochnik.ru/fizika/mechanicheskie\\_nakopiteli\\_energii/](https://spravochnik.ru/fizika/mechanicheskie_nakopiteli_energii/) (дата обращения: 14.06.2024).
7. Тер-Газарян А.Г., Крючков А.И., Корев Д.А. Накопители энергии в современном мире // Энергетическая политика. 2012. № 1. С. 49-58.
8. Фазылов И.З., Стоцкий К.С., Стоцкая Д.Р. Гидроаккумулирующие электростанции // Наука через призму времени. 2019. № 12(33). С. 43-45.
9. Филиппова А.В. Глобальные тренды развития мировой электроэнергетики в условиях перехода к возобновляемым источникам энергии // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 9. С. 3413-3426. DOI: 10.18334/epp.13.9.118732.
10. Savard C., Яковлева Э.В. Развитие технологий накопления электрической энергии // Молодой ученый. 2017. № 50. С. 76-82.

---

## Economic efficiency of mechanical energy accumulators

**Viktor A. Givchak**

Master student,  
Irkutsk National Research Technical Universit  
664074, 83 Lermontova str., Irkutsk, Russian Federation;  
e-mail: x777007x@mail.ru

**Anna P. Kireenko**

Doctor of Economics, Professor,  
Irkutsk National Research Technical Universit  
664074, 83 Lermontova str., Irkutsk, Russian Federation;  
e-mail: kireenkoap@istu.edu

**Oleg R. Putintsev**

Researcher,  
Irkutsk National Research Technical Universit  
664074, 83 Lermontova str., Irkutsk, Russian Federation;  
e-mail: oleg.pytin@gmail.com

### Abstract

The article analyzes the economic efficiency of mechanical energy storage devices. It presents a review of scientific, practical and statistical data, provides the author's conclusions, and uses the empirical basis of the study to compare the economic efficiency of the Beacon Power flywheel and the lithium-ion battery. It is concluded that in Russia, development paths in the field of electric energy storage are determined in the context of global trends and opportunities, as well as current and future challenges in related sectors of the global economy. The choice of specific technologies for development depends on many factors, including international trends and restrictions. Russian solutions can gain an advantage in the competitive market, including export opportunities, due to the availability of developments and technological innovations.

### For citation

Givchak V.A., Kireenko A.P., Putintsev O.R. (2025) Ekonomicheskaya effektivnost' mekhanicheskikh akkumulyatorov energii [Economic efficiency of mechanical energy accumulators]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (4A), pp. 88-95.

### Keywords

Energy, storage, battery, source, flywheel, power plant.

### References

1. *Analiz effektivnosti primeneniya nakopiteley energii v razlichnykh tipakh elektroenergeticheskikh sistem* [Analysis of the effectiveness of energy storage applications in various types of power systems]. (2023). Available

- at: <https://energypolicy.ru/analiz-effektivnosti-primeneniya-nakopitelej-energii-v-razlichnyh-tipah-elektroenergeticheskikh-sistem/energoperehod/2023/10/03> [Accessed 14.06.2024].
2. Bubenchikov A.A., Tereshchenko N.A., Bubenchikova T.V. (2019) Obzor nakopiteley kineticheskoy energii makhovikovogo tipa [Review of flywheel-type kinetic energy storage devices]. Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost [Young Russia: Advanced Technologies in Industry], 1, pp. 53-59. DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-53-59.
  3. Fazylov I.Z., Stotskiy K.S., Stotskaya D.R. (2019) Gidroakkumuliruyushchie elektrostantsii [Pumped storage power plants]. Nauka cherez prizmu vremeni [Science through the prism of time], 12(33), pp. 43-45.
  4. Filippova A.V. (2023) Globalnye trendy razvitiya mirovoy elektroenergetiki v usloviyakh perekhoda k vozobnovlyаемым istochnikam energii [Global trends in the development of world electric power industry in the transition to renewable energy sources]. Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo [Economics, Entrepreneurship and Law], 13 (9), pp. 3413-3426. DOI: 10.18334/epp.13.9.118732.
  5. *Kakoe budushchee u mekhanicheskikh nakopiteley energii?* [What is the future of mechanical energy storage?]. Available at: <https://dzen.ru/a/YxDlpSbPyajIOCP?ysclid=lxeg50fg4354689427> [Accessed 14.06.2024].
  6. *Nakopiteli energii v Rossii* [Energy storage in Russia]. Available at: [https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon\\_consulting\\_storage.pdf](https://vygon-consulting.ru/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf) [Accessed 14.06.2024].
  7. *Rossiyskiy rynek AKB: vnutri stagnatsii* [Russian battery market: inside the stagnation]. Available at: <https://ai-media.ru/news/rossijskij-rynok-akb-vnutri-stagnacii/?ysclid=lxeg5jrxbh321345704> [Accessed 14.06.2024].
  8. Savard C., Yakovleva E.V. (2017) Razvitie tekhnologiy nakopleniya elektricheskoy energii [Development of electrical energy storage technologies]. Molodoy uchenyy [Young Scientist], no. 50, pp. 76-82.
  9. Soev S.S. Mekhanicheskie nakopiteli energii [Mechanical energy storage devices]. Obrazovatelnyy portal «Spravochnik» [Educational portal "Spravochnik"]. Available at: [https://spravochnik.ru/fizika/mechanicheskie\\_nakopiteli\\_energii/](https://spravochnik.ru/fizika/mechanicheskie_nakopiteli_energii/) [Accessed 14.06.2024].
  10. Ter-Gazaryan A.G., Kryuchkov A.I., Korev D.A. (2012) Nakopiteli energii v sovremennom mire [Energy storage devices in the modern world]. Energeticheskaya politika [Energy Policy], 1, pp. 49-58.