

## **Лекция 11. ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ**

1. Важность технологий хранения и передачи энергии
2. Актуальность и необходимость современных решений в области хранения и передачи энергии
3. Технологии хранения энергии
4. Новые разработки в технологиях хранения энергии.
5. Промышленные и новые технологии хранения энергии
6. Развитие технологий в контексте устойчивого развития

### **11.1. Важность технологий хранения и передачи энергии**

**Технологии хранения энергии** представляют собой совокупность методов и устройств, предназначенных для аккумулирования энергии в различных формах с целью её последующего использования. Эти технологии включают как химические, так и физические методы хранения, например, аккумуляторы, суперконденсаторы, гидроаккумулирующие станции, тепловые аккумуляторы и системы на основе водорода. Основной задачей этих технологий является накопление избыточной энергии, произведенной в периоды низкого потребления, и её освобождение в периоды высокого спроса, что позволяет сбалансировать энергообеспечение и повысить общую стабильность и надёжность энергосистемы.

**Технологии передачи энергии** охватывают широкий спектр систем и устройств, предназначенных для транспортировки энергии от источников её генерации до потребителей. Это включает в себя электрические сети, системы высоковольтной передачи, трансформаторы, распределительные устройства и современные решения в области беспроводной передачи энергии. Основной задачей этих технологий

является эффективным и безопасное перемещение энергии, минимизация потерь и обеспечение непрерывности и надежности энергоснабжения.

- **Энергетическая стабильность и безопасность.** Технологии хранения энергии играют ключевую роль в обеспечении стабильности энергоснабжения. Они позволяют сглаживать колебания в потреблении энергии и обеспечивать бесперебойное энергоснабжение, особенно в системах с высоким уровнем интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые установки. Накопленные запасы энергии могут быть использованы в периоды пикового потребления или при сбоях в основных источниках генерации.

- **Интеграция возобновляемых источников энергии.** В условиях глобального перехода на возобновляемые источники энергии, эффективное хранение становится необходимым для учета их переменной природы. Солнечные и ветровые установки часто генерируют энергию в периоды, когда спрос на неё невелик. Технологии хранения позволяют аккумулировать избыточную энергию и использовать её в периоды, когда производство не соответствует потреблению.

- **Оптимизация энергосистем.** Современные технологии хранения и передачи энергии способствуют оптимизации работы энергосистем за счет внедрения умных сетей (Smart Grids) и систем управления спросом. Они позволяют более эффективно распределять энергию, управлять потоками энергии и снижать потери на передачу.

- **Экологическая устойчивость.** Современные и зеленые технологии хранения и передачи энергии способствуют уменьшению углеродного следа и минимизации воздействия на окружающую среду. Например, использование водородных технологий и систем с низкими потерями в трансформаторах помогает снизить выбросы парниковых газов и улучшить экологическую устойчивость энергосистем.

- **Экономические преимущества.** Эффективные системы хранения и передачи энергии способствуют снижению затрат на энергоснабжение за счет оптимизации использования ресурсов и сокращения потерь. Это также может привести к созданию новых рабочих мест и стимулированию экономического роста в секторах, связанных с новыми технологиями.

- **Инновации и развитие технологий.** Важность этих технологий также заключается в их способности стимулировать научные исследования и развитие новых решений. Инновационные подходы в области хранения и передачи энергии способствуют внедрению более эффективных и устойчивых систем, которые отвечают требованиям современного общества.

Таким образом, технологии хранения и передачи энергии являются фундаментальной частью современного энергетического ландшафта, обеспечивая не только техническую и экономическую эффективность, но и способствуя достижению целей устойчивого развития и минимизации экологического воздействия.

## **11.2. Актуальность и необходимость современных решений в области хранения и передачи энергии**

### **Актуальность современных решений**

- **Устойчивое развитие энергетических систем.** В условиях глобального перехода к устойчивым энергетическим решениям, вызванного климатическими изменениями и истощением традиционных источников энергии, возникает острая необходимость в оптимизации хранения и передачи энергии. Современные решения позволяют эффективно интегрировать возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие как солнечные и ветровые электростанции, которые характеризуются высокой переменчивостью генерации. Эти решения играют ключевую роль в поддержании устойчивости энергетических систем, обеспечивая надежное и стабильное энергоснабжение.

- **Интеграция умных сетей (Smart Grids).** Современные технологии хранения и передачи энергии являются неотъемлемой частью концепции умных сетей, которые обеспечивают более интеллектуальное управление потоками энергии. Умные сети позволяют осуществлять мониторинг и управление в реальном времени, оптимизировать распределение энергии и повышать общую надежность системы. Это становится особенно актуальным в условиях возрастания спроса на электроэнергию и необходимости интеграции большого числа распределенных генераторов.

- **Энергетическая безопасность и независимость.** В условиях глобальных геополитических изменений и нестабильности на международных энергетических рынках, обеспечение энергетической безопасности и независимости становится первоочередной задачей. Современные решения в области хранения энергии позволяют создавать стратегические резервы, которые могут быть использованы в кризисные моменты, минимизируя зависимость от внешних источников энергии и повышая энергетическую автономию.

- **Экономическая эффективность.** Эффективные технологии хранения и передачи энергии способствуют снижению затрат на энергоснабжение и повышению экономической эффективности энергосистем. Инновационные решения, такие как усовершенствованные аккумуляторные технологии и системы хранения на основе абсорбционных материалов, обеспечивают более высокую плотность хранения и эффективность, что ведет к снижению эксплуатационных затрат и улучшению финансовых показателей энергетических компаний.

- **Экологическая устойчивость.** С учетом возрастающих требований к снижению углеродных выбросов и минимизации экологического воздействия, современные решения в области хранения и передачи энергии помогают сократить негативное влияние на

окружающую среду. Развитие зеленых технологий, таких как водородные системы и аккумуляторы на основе экологически чистых материалов, способствует снижению углеродного следа и поддержанию принципов устойчивого развития.

**- Технологические инновации и исследовательская активность.**

Актуальность современных решений также обусловлена быстрым развитием научных исследований и технологических инноваций. Новые достижения в области хранения энергии, такие как твердотельные аккумуляторы и новаторские методы хранения тепла, открывают новые горизонты для повышения эффективности и надежности энергетических систем. Активные исследования и внедрение передовых технологий способствуют постоянному улучшению существующих решений и созданию новых подходов к управлению энергией.

**Необходимость современных решений**

**- Преодоление ограничений традиционных технологий.**

Традиционные методы хранения и передачи энергии имеют ряд ограничений, таких как низкая плотность хранения, высокая стоимость и значительные потери на передачу. Современные решения необходимы для преодоления этих ограничений, обеспечивая более эффективное и экономически выгодное использование энергии.

**- Адаптация к переменным условиям генерации и потребления.**

Возрастающая доля возобновляемых источников энергии требует новых подходов к управлению и хранению энергии, чтобы учитывать их переменную природу. Современные технологии позволяют гибко адаптироваться к колебаниям в производстве и потреблении энергии, обеспечивая стабильное и надежное энергоснабжение.

**- Обеспечение надежности и устойчивости энергосистем.**

В условиях нарастания нагрузок на энергосистемы, вызванных увеличением потребления и сложностью инфраструктуры, необходимо внедрение

современных решений, способных обеспечить надежность и устойчивость системы. Это включает в себя как повышение эффективности передачи энергии, так и улучшение возможностей для накопления и хранения.

- **Социальные и экономические требования.** Современные решения в области хранения и передачи энергии отвечают социальным и экономическим требованиям, таким как снижение затрат на электроэнергию, создание рабочих мест и поддержание высоких стандартов жизни. Внедрение инновационных технологий способствует развитию новых отраслей экономики и улучшению качества жизни населения.

Актуальность и необходимость современных решений в области хранения и передачи энергии связаны с необходимостью обеспечения устойчивого, экономически эффективного и экологически чистого энергоснабжения в условиях быстро меняющегося мирового энергетического ландшафта. Эти решения играют ключевую роль в поддержании баланса между спросом и предложением энергии, обеспечении надежности и безопасности энергосистем и способствуют достижению целей устойчивого развития.

### **Технологии хранения энергии**

Хранение энергии является ключевым аспектом современных энергетических систем, предоставляющим возможности для накопления избыточной энергии в периоды низкого потребления и её использования в периоды пикового спроса. Технологии хранения энергии могут быть классифицированы на несколько типов в зависимости от их принципа работы и формы хранения: аккумуляторные технологии, механическое хранение, термальное хранение и химическое хранение. В рамках аккумуляторных технологий выделяются как традиционные, так и современные решения, которые обеспечивают различные уровни плотности хранения, эффективность и стоимость.

## **Свинцово-кислотные аккумуляторы**

Свинцово-кислотные аккумуляторы являются одним из наиболее старых и широко используемых типов аккумуляторных систем. Они применяются в различных областях, включая автомобилестроение, источники бесперебойного питания (ИБП), телекоммуникационные системы и энергетические резервуары. Эти аккумуляторы работают на основе химической реакции между свинцом и серной кислотой, что позволяет им эффективно накапливать и высвобождать электрическую энергию.

### **Принцип работы**

Свинцово-кислотные аккумуляторы состоят из двух основных компонентов: положительных и отрицательных электродов, погруженных в электролит. Положительные электроды состоят из свинцовых оксидов ( $\text{PbO}_2$ ), а отрицательные электроды - из губчатого свинца ( $\text{Pb}$ ). Электролит представляет собой раствор серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

При разряде аккумулятора происходит химическая реакция, в результате которой свинцовые оксиды и губчатый свинец взаимодействуют с серной кислотой, образуя сульфаты свинца ( $\text{PbSO}_4$ ) и воду. Эта реакция высвобождает электроны, которые проходят через внешнюю электрическую цепь, обеспечивая электрическую энергию.

При зарядке аккумулятора происходит обратная реакция: сульфаты свинца и вода восстанавливаются до свинцового оксида и губчатого свинца, и серная кислота вновь возвращается в электролит, восстанавливая первоначальные условия.

### **Преимущества**

- **Зрелость и надёжность.** Свинцово-кислотные аккумуляторы обладают долгой историей применения, что обеспечивает их проверенность и надежность в различных условиях эксплуатации. Они имеют хорошо отработанные технологии производства и обслуживания.

- **Стоимость.** Одним из главных преимуществ свинцово-кислотных аккумуляторов является их низкая стоимость по сравнению с другими типами аккумуляторов. Это делает их доступным решением для многих приложений, особенно в случаях, когда высокая плотность энергии не является критически важной.

- **Простота в обслуживании.** Эти аккумуляторы не требуют сложного обслуживания и легко доступны на рынке. Их конструкция и работа хорошо изучены, что облегчает их техническое обслуживание и ремонт.

- **Хорошие характеристики при низких температурах.** Свинцово-кислотные аккумуляторы показывают удовлетворительные результаты при низких температурах по сравнению с другими типами аккумуляторов, такими как литий-ионные.

### **Недостатки**

- **Плотность энергии и веса.** Свинцово-кислотные аккумуляторы имеют относительно низкую плотность энергии и высокую массу по сравнению с современными аккумуляторными технологиями. Это делает их менее эффективными для приложений, где требуется высокая плотность хранения в ограниченном пространстве.

- **Эффективность и срок службы.** Несмотря на их надёжность, свинцово-кислотные аккумуляторы имеют ограниченный срок службы и эффективность. Постепенное увеличение внутреннего сопротивления и снижение ёмкости из-за процесса сульфатации оказывают негативное влияние на их долговечность.

- **Экологические проблемы.** Свинец является токсичным веществом, и неправильная утилизация свинцово-кислотных аккумуляторов может вызвать серьёзные экологические проблемы. Это требует специальных мер по утилизации и переработке.



- **Технические ограничения.** Такие аккумуляторы обладают ограниченной способностью к быстрой зарядке и разрядке, что делает их менее подходящими для приложений с высоким циклическим напряжением.

Свинцово-кислотные аккумуляторы остаются важным компонентом в арсенале технологий хранения энергии, особенно в тех областях, где критически важны их стоимость и надёжность. Несмотря на ограничения, такие как низкая плотность энергии и экологические риски, их зрелая технология и широкое применение в различных сферах продолжают обеспечивать их актуальность на рынке. С учетом продолжающегося развития технологий хранения энергии, свинцово-кислотные аккумуляторы все еще остаются важным элементом в ряду доступных решений, обеспечивая баланс между стоимостью, надежностью и техническими характеристиками.

### **Литий-ионные аккумуляторы**

Литий-ионные аккумуляторы (Li-ion) представляют собой современную технологию хранения энергии, которая на сегодняшний день широко применяется в мобильных устройствах, электромобилях, портативных электронных приборах и системах резервного питания. Они характеризуются высокой плотностью энергии, долговечностью и относительно легким весом, что делает их предпочтительным выбором для большинства современных приложений.

### **Принцип работы**

Литий-ионные аккумуляторы работают на основе химической реакции между литиевым катодом и графитовым анодом в присутствии электролита. Основные компоненты литий-ионного аккумулятора включают:

- **Положительный электрод (катод).** Обычно состоит из литий-оксидных соединений, таких как литий кобальтовый оксид ( $\text{LiCoO}_2$ ) или литий железфосфат ( $\text{LiFePO}_4$ ).

- **Отрицательный электрод (анод).** Как правило, изготавливается из графита или других форм углерода, которые способны эффективно удерживать литий-ионные заряды.

- **Электролит.** Литий-содержащий раствор в виде жидкой или гелевой среды, который позволяет ионам лития перемещаться между анодом и катодом во время зарядки и разрядки.

- **Сепаратор.** Полупроницаемый материал, который предотвращает прямое соприкосновение анода и катода, тем самым предотвращая короткое замыкание.

При разряде аккумулятора литий-ионные батареи высвобождают электроны, которые проходят через внешнюю электрическую цепь от анода к катоду, создавая электрический ток. При зарядке, электроны перемещаются обратно от катода к аноду через внешний источник питания, восстанавливая исходное состояние.

### **Преимущества**

- **Высокая плотность энергии.** Литий-ионные аккумуляторы обладают значительно большей плотностью энергии по сравнению с традиционными аккумуляторами, такими как свинцово-кислотные. Это позволяет им хранить больше энергии на единицу объема или массы, что делает их идеальными для использования в мобильных и портативных устройствах.

- **Долговечность.** Литий-ионные аккумуляторы имеют более длительный срок службы по сравнению с другими типами аккумуляторов. Они способны выдерживать больше циклов зарядки и разрядки, сохраняя при этом большую часть своей емкости. Обычно они могут выполнять от

500 до 1500 циклов в зависимости от конкретной технологии и условий эксплуатации.

- **Низкий саморазряд.** Литий-ионные аккумуляторы имеют низкий уровень саморазряда, что означает, что они теряют минимальное количество заряда, когда не используются. Это делает их идеальными для приложений, где требуется длительное хранение энергии.

- **Отсутствие эффекта памяти.** В отличие от никель-кадмиевых аккумуляторов, литий-ионные аккумуляторы не имеют эффекта памяти, что позволяет заряжать их в любое время без риска потери емкости.

- **Компактность и легкость.** Литий-ионные аккумуляторы имеют относительно небольшие размеры и вес, что позволяет создавать более компактные и легкие устройства.

### **Недостатки**

- **Стоимость.** Литий-ионные аккумуляторы дороже в производстве по сравнению с традиционными свинцово-кислотными аккумуляторами. Высокие затраты на материалы и сложность производства приводят к более высокой цене конечного продукта.

- **Температурные ограничения.** Литий-ионные аккумуляторы чувствительны к экстремальным температурам. При высоких температурах могут происходить химические реакции, которые приводят к перегреву и потенциальному выходу из строя. При низких температурах могут наблюдаться снижение емкости и производительности.

- **Безопасность.** При неправильной эксплуатации или повреждении литий-ионные аккумуляторы могут стать опасными, так как существует риск теплового разгрома (thermal runaway), который может привести к воспламенению или взрыву. Поэтому важно следовать рекомендациям производителя по безопасной эксплуатации и зарядке.

- **Экологические проблемы.** Литий-ионные аккумуляторы содержат редкие и ценные материалы, такие как литий и кобальт, добыча которых

может быть экологически вредной. Правильная утилизация и переработка этих аккумуляторов требуют специального подхода для минимизации воздействия на окружающую среду.

Литий-ионные аккумуляторы представляют собой важный шаг вперёд в технологиях хранения энергии, обеспечивая высокую плотность энергии, долговечность и компактность, что делает их наиболее подходящими для современного рынка. Их преимущества, такие как высокая эффективность и долговечность, делают их основным выбором для большинства приложений, от мобильных устройств до электромобилей. Однако, их высокая стоимость и требования к безопасной эксплуатации подчеркивают необходимость дальнейших исследований и разработок для улучшения их производственных процессов и экологических аспектов.

### **Суперконденсаторы**

Суперконденсаторы, также известные как ультраконденсаторы или электрические двойные слои конденсаторы (EDLCs), представляют собой особый класс устройств для хранения энергии, которые объединяют характеристики традиционных конденсаторов и аккумуляторов. Они характеризуются высокой мощностью, быстрой зарядкой и разрядкой, а также долговечностью, что делает их привлекательными для применения в различных областях, включая электромобили, энергетические системы и электронику.

### **Принцип работы**

Суперконденсаторы работают на основе создания электрического двойного слоя (EDLC) на поверхности электродов. Основные компоненты суперконденсатора включают:

- **Электроды.** Изготавливаются из пористых материалов с большой удельной поверхностью, таких как активированный уголь, карбоновые

нанотрубки или графен. Эти материалы обладают способностью создавать большие электрические двойные слои на своей поверхности.

- **Электролит.** Представляет собой ионный раствор, который может быть водным (на основе серной кислоты, калийного гидроксида и др.) или органическим (на основе солей, таких как тетрафтороборат лития). Электролит обеспечивает ионный проводник между электродами и участвует в процессе накопления энергии.

- **Сепаратор.** Полупроницаемый материал, который предотвращает прямое соприкосновение между электродами и предотвращает короткое замыкание, одновременно позволяя ионам электролита перемещаться между электродами.

Принцип накопления энергии в суперконденсаторе основывается на образовании электрического двойного слоя на границе раздела электродов и электролита. Когда суперконденсатор заряжается, положительные и отрицательные ионы из электролита скапливаются на противоположных электродах, образуя электрическое поле. Это поле создаёт потенциальную разницу, которая хранит энергию. При разряде энергия высвобождается через внешний контур, когда ионы возвращаются в электролит и электрическое поле уменьшается.

### **Преимущества**

- **Высокая мощность и быстрый заряд/разряд.** Суперконденсаторы обладают способностью к быстрой зарядке и разрядке, что делает их идеальными для приложений, требующих быстрой подачи энергии, таких как рекуперация энергии в электромобилях или поддержание напряжения в энергетических системах.

- **Долговечность и высокая циклическая стойкость.** Суперконденсаторы имеют значительно более долгий срок службы по сравнению с традиционными аккумуляторами, выдерживая миллионы циклов зарядки и разрядки без значительного снижения емкости.

- **Широкий рабочий диапазон температур.** Они демонстрируют стабильную работу при широком диапазоне температур, что делает их пригодными для использования в экстремальных условиях.

- **Высокая эффективность.** Суперконденсаторы обладают высокой эффективностью при зарядке и разрядке, благодаря отсутствию химических реакций, что минимизирует потери энергии.

- **Низкое внутреннее сопротивление.** Благодаря большому удельному сопротивлению и большой поверхности электродов, суперконденсаторы обладают низким внутренним сопротивлением, что позволяет им передавать высокие токи без значительных потерь.

### **Недостатки**

- **Низкая плотность энергии.** По сравнению с литий-ионными аккумуляторами, суперконденсаторы имеют значительно меньшую плотность энергии. Это ограничивает их применение в задачах, требующих длительного хранения больших объемов энергии.

- **Высокая стоимость.** Из-за использования специализированных материалов и сложных технологий производства, суперконденсаторы могут быть дороже по сравнению с традиционными аккумуляторами и конденсаторами.

- **Энергетическая плотность.** Несмотря на высокую мощность, суперконденсаторы имеют ограниченную энергетическую плотность, что делает их менее подходящими для приложений, где требуется длительное время работы при значительной нагрузке.

- **Наличие электролита.** Электролиты в суперконденсаторах могут быть чувствительны к условиям эксплуатации, таким как высокая температура или влажность, что может влиять на их долговечность и производительность.

### **Применение**

- **Электромобили.** В электромобилях суперконденсаторы используются для рекуперации энергии при торможении и предоставления дополнительной мощности в моменты быстрого ускорения. Их способность быстро заряжаться и разряжаться делает их идеальными для таких задач.

- **Энергетические системы.** В энергетических системах суперконденсаторы могут использоваться для сглаживания колебаний напряжения и обеспечения стабильности сети, а также для поддержки кратковременных пиков потребления энергии.

- **Мобильные устройства.** В портативных электронных устройствах суперконденсаторы могут использоваться в сочетании с аккумуляторами для улучшения их производительности, обеспечивая быструю зарядку и дополнительную мощность при необходимости.

- **Возобновляемые источники энергии.** Они могут применяться в системах хранения энергии на основе возобновляемых источников, таких как солнечные и ветровые установки, для накопления избыточной энергии и сглаживания колебаний генерации.

Суперконденсаторы представляют собой важную технологию хранения энергии с уникальными характеристиками, которые позволяют им выполнять специфические функции, недоступные традиционным аккумуляторам. Их высокая мощность, долговечность и способность к быстрой зарядке и разрядке делают их ценным компонентом в различных областях, от электромобилей до энергетических систем и портативной электроники. Тем не менее, их ограниченная плотность энергии и высокая стоимость требуют внимательного выбора применений и разработки новых решений для увеличения их конкурентоспособности на рынке.

### **11.3. Новые разработки в технологиях хранения энергии.**

#### **Твердотельные аккумуляторы**

Твердотельные аккумуляторы (Solid-State Batteries, SSB) представляют собой перспективную технологию хранения энергии, в которой жидкий или гелиевый электролит заменяется твердым электролитом. Это инновационное решение направлено на преодоление ограничений традиционных аккумуляторов и предлагает множество потенциальных преимуществ в области безопасности, эффективности и долговечности.

### **Принцип работы**

Твердотельные аккумуляторы работают по аналогичному принципу, что и традиционные аккумуляторы, с той разницей, что вместо жидкого электролита используется твердый электролит. Основные компоненты твердотельных аккумуляторов включают:

- **Положительный электрод (катод).** Обычно состоит из литий-оксидных соединений, таких как литий кобальтовый оксид ( $\text{LiCoO}_2$ ) или литий никель кобальтовый марганцевый оксид ( $\text{LiNiCoMnO}_2$ ).
- **Отрицательный электрод (анод).** Могут быть использованы различные материалы, включая литий, графит или титановые соединения.
- **Твердый электролит.** Заменяет жидкий или гелевый электролит в традиционных аккумуляторах. Твердые электролиты могут быть керамическими, стеклянными, полимерными или композитными. Примеры включают оксиды (LiPON, LISICON), сульфиды и полимерные электролиты.
- **Сепаратор.** Обычно отсутствует, так как твердый электролит выполняет функции сепаратора, предотвращая короткое замыкание между анодом и катодом.

При разряде аккумулятора ионы лития перемещаются от анода к катоду через твердый электролит, высвобождая электрическую энергию. При зарядке ионы движутся в обратном направлении.

### **Преимущества**



- **Безопасность.** Твердые электролиты не являются легковоспламеняющимися, что снижает риск теплового разгрома (thermal runaway) и увеличивает общую безопасность аккумуляторов.

- **Высокая плотность энергии.** Твердотельные аккумуляторы могут обеспечить значительно большую плотность энергии по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами, благодаря возможности использования лития в аноде.

- **Долговечность.** Эти аккумуляторы имеют потенциально более долгий срок службы и лучшую устойчивость к деградации, так как твердые электролиты уменьшают проблемы с образованием литиевых дендритов.

- **Широкий температурный диапазон.** Они могут работать в более широком диапазоне температур без значительного снижения производительности.

### **Недостатки**

- **Стоимость производства.** Технология производства твердых электролитов и сборка аккумуляторов на их основе остаются дорогими и сложными, что увеличивает стоимость конечного продукта.

- **Масштабируемость.** Внедрение технологии на массовое производство требует значительных усилий и улучшения процессов для обеспечения равномерного качества и производительности.

- **Проблемы с интерфейсом.** Обеспечение надежного контакта между твердым электролитом и электродами может быть сложным и требует дополнительных исследований.

### **Применение**

- **Электромобили.** Предлагают потенциал для увеличения дальности пробега и повышения безопасности.

- **Мобильные устройства.** Могут обеспечить более длительное время работы и улучшенную безопасность.

- **Энергетические системы.** Используются для накопления энергии в возобновляемых источниках и системах резервного питания.

### **Натрий-ионные аккумуляторы**

Натрий-ионные аккумуляторы (Sodium-Ion Batteries, NIB) представляют собой перспективную альтернативу литий-ионным аккумуляторам, используя натрий вместо лития в качестве основного ионного носителя. Эта технология рассматривается как более доступная и экологически чистая альтернатива из-за широкого распространения натрия и его доступности.

### **Принцип работы**

Натрий-ионные аккумуляторы работают аналогично литий-ионным аккумуляторам, где натрий заменяет литий. Основные компоненты натрий-ионных аккумуляторов включают:

- **Положительный электрод (катод).** Изготавливается из соединений, содержащих натрий, таких как натрий кобальтовый оксид ( $\text{NaCoO}_2$ ) или натрий железофосфат ( $\text{NaFePO}_4$ ).

- **Отрицательный электрод (анод).** Обычно состоит из материалов, способных эффективно удерживать натрий, таких как графит, натрий титановый оксид или другие соединения.

- **Электролит.** Обычно представляет собой натриевые соли, растворенные в органических растворителях. Электролит позволяет ионам натрия перемещаться между анодом и катодом.

- **Сепаратор.** Используется для предотвращения короткого замыкания между электродами и обеспечения ионного переноса через электролит.

При разряде аккумулятора ионы натрия перемещаются от анода к катоду, высвобождая электрическую энергию. При зарядке ионы возвращаются в анод.

### **Преимущества**

- **Доступность материалов.** Натрий более распространен и дешевле, чем литий, что снижает стоимость производства аккумуляторов.

- **Экологическая чистота.** Натрий обладает меньшими экологическими рисками по сравнению с литием, что делает эту технологию более экологически устойчивой.

- **Производственные возможности.** Технология натрий-ионных аккумуляторов может быть легче интегрирована с существующими производственными процессами, что может ускорить их коммерческое внедрение.

### **Недостатки**

- **Плотность энергии.** Натрий-ионные аккумуляторы в настоящее время имеют меньшую плотность энергии по сравнению с литий-ионными аккумуляторами, что ограничивает их применение в некоторых областях.

- **Производительность при низких температурах.** Эти аккумуляторы могут демонстрировать сниженные характеристики при низких температурах, что требует дополнительных разработок для улучшения их работы в холодных условиях.

- **Масштабируемость и зрелость технологии.** Технология натрий-ионных аккумуляторов все еще находится на стадии разработки и требует дополнительных исследований и тестирования для достижения коммерческого уровня.

### **Применение**

- **Энергетические системы.** Подходят для накопления энергии в стационарных системах, таких как хранилища для возобновляемых источников.

- **Электромобили.** Исследуются как потенциальное решение для массового рынка электромобилей, где стоимость и доступность материалов являются важными факторами.

- **Портативные устройства.** Могут быть использованы в устройствах, где снижение плотности энергии может быть компенсировано снижением стоимости.

Обе технологии, твердые аккумуляторы и натрий-ионные аккумуляторы, представляют собой важные направления исследований в области хранения энергии и предлагают потенциальные решения для улучшения характеристик и снижения затрат на аккумуляторные системы.

Помимо твердых и натрий-ионных аккумуляторов, существуют и другие интересные направления в разработке технологий хранения энергии. Вот несколько из них:

### **1. Литио-серные аккумуляторы (Li-S)**

**Общие сведения** Литио-серные аккумуляторы (Li-S) предлагают перспективные возможности для увеличения плотности энергии по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами. Они используют литий в качестве анода и серу в качестве катода.

#### **Преимущества**

- **Высокая плотность энергии.** Литио-серные аккумуляторы могут иметь в 2-5 раз большую плотность энергии по сравнению с литий-ионными аккумуляторами.

- **Экологичность.** Сера является дешевым и доступным материалом, а также менее экологически опасным по сравнению с некоторыми другими материалами аккумуляторов.

- **Меньшая стоимость.** Потенциально более низкая стоимость по сравнению с литий-ионными аккумуляторами из-за использования более дешевых материалов.

#### **Недостатки**

- **Низкая циклическая стабильность.** В настоящее время литио-серные аккумуляторы имеют ограниченную долговечность из-за проблем с деградацией катода и образованием растворимых серных соединений.

- **Проблемы с электролитом.** Необходимы специальные электролиты, чтобы обеспечить стабильную работу аккумулятора.

## **2. Магний-ионные аккумуляторы**

**Общие сведения** Магний-ионные аккумуляторы (Mg-ion) используют магний вместо лития, что может привести к снижению стоимости и улучшению безопасности.

### **Преимущества**

- **Доступность магния.** Магний более распространен и дешевле, чем литий.

- **Безопасность.** Магний-ионные аккумуляторы могут быть более безопасными, поскольку магний менее реакционноспособен, чем литий.

- **Высокая теоретическая плотность энергии.** Магний имеет потенциал для достижения высокой плотности энергии благодаря двум электронным переходам в процессе зарядки и разрядки.

### **Недостатки**

- **Технологические сложности.** Разработка эффективных катодов и электролитов для магний-ионных аккумуляторов представляет собой сложную задачу.

- **Низкая производительность.** В текущем состоянии технологии, магний-ионные аккумуляторы имеют меньшую плотность энергии по сравнению с литий-ионными аккумуляторами.

## **3. Возобновляемые аккумуляторы**

**Общие сведения** Возобновляемые аккумуляторы, такие как аккумуляторы на основе органических материалов или аккумуляторы на основе биомассы, стремятся использовать более устойчивые и экологически чистые материалы.

### **Преимущества**

- **Экологичность.** Использование возобновляемых или биологически разлагаемых материалов может уменьшить воздействие на окружающую среду.

- **Снижение зависимости от редких материалов.** Использование органических материалов может уменьшить зависимость от редких и дорогих ресурсов.

### **Недостатки**

- **Низкая плотность энергии.** В настоящее время многие возобновляемые аккумуляторы имеют меньшую плотность энергии по сравнению с традиционными технологиями.

- **Недостаток зрелости.** Эти технологии находятся на ранних стадиях разработки и могут иметь ограниченные применения до тех пор, пока не будут достигнуты необходимые уровни производительности и надежности.

## **4. Аэро-батареи (Air Batteries)**

**Общие сведения** Аэро-батареи, или батареи с использованием кислорода из воздуха в качестве катодного материала, представляют собой технологию, использующую воздух (или кислород) как один из основных компонентов.

### **Преимущества**

- **Высокая плотность энергии.** Эти батареи могут теоретически обеспечивать высокую плотность энергии благодаря использованию внешнего кислорода.

- **Легкость.** Они могут быть легче традиционных аккумуляторов, поскольку один из реагентов (воздух) поступает из окружающей среды.

### **Недостатки**

- **Технические сложности.** Обеспечение надежного и стабильного контакта между воздухом и активным материалом может быть сложным.

- **Сложность герметизации.** Необходимость эффективной герметизации для предотвращения утечки кислорода и влаги.

## **5. Цинково-воздушные аккумуляторы**

**Общие сведения** Цинково-воздушные аккумуляторы используют цинк в качестве анода и кислород из воздуха в качестве катода.

### **Преимущества**

- **Высокая плотность энергии.** Цинково-воздушные аккумуляторы обладают высокой теоретической плотностью энергии.

- **Доступность материалов.** Цинк и кислород являются доступными и недорогими материалами.

### **Недостатки**

- **Кратковременность.** Цинковые элементы могут иметь ограниченный срок службы из-за коррозии и образования побочных продуктов.

- **Ограниченная мощность.** Эти аккумуляторы могут иметь ограничения по мощности и скорости зарядки/разрядки.

Каждое из этих направлений разработки технологий хранения энергии имеет свои уникальные преимущества и недостатки. Они представляют собой важные области для исследований и разработок, направленных на улучшение производительности, безопасности и экологичности аккумуляторных систем. Продолжающиеся исследования и инновации в этих областях могут привести к значительным улучшениям и новым возможностям для использования аккумуляторных технологий в различных приложениях.

## **Гидроаккумулирующие станции (ГАС)**

Гидроаккумулирующие станции (ГАС), также известные как насосные гидроаккумуляторы или гидроаккумуляторные станции, представляют собой тип гидроэлектрических систем, которые используют разницу высот для накопления и хранения энергии. Они являются одним

из наиболее эффективных методов хранения энергии для обеспечения стабильности электрических сетей и управления нагрузками.

### **Принцип работы**

Гидроаккумулирующие станции работают по принципу хранения потенциальной энергии в виде воды, которая поднимается на высоту в часы низкого потребления электроэнергии и освобождается в часы пикового потребления. Основные компоненты и процессы включают:

- **Верхний резервуар.** Этот резервуар находится на большой высоте и служит для накопления воды. Энергия хранится в виде потенциальной энергии воды, расположенной на высоте.

- **Нижний резервуар.** Находится на низком уровне и служит для сбора воды после ее использования.

- **П насосная установка.** В период низкого потребления электроэнергии, когда избыточная энергия доступна в сети, насосы используют эту энергию для перекачки воды из нижнего резервуара в верхний резервуар.

- **Генератор.** В период пикового потребления электроэнергии, когда требуется дополнительная энергия, вода из верхнего резервуара поступает в нижний резервуар через турбину, которая приводит в движение генератор и вырабатывает электроэнергию.

- **Турбина.** Во время разряда система использует турбину для преобразования кинетической энергии падающей воды в механическую энергию, которая затем преобразуется в электрическую.

### **Преимущества**

- **Высокая эффективность.** Гидроаккумулирующие станции обладают высокой эффективностью преобразования энергии, обычно в пределах 70-90%, что делает их одними из наиболее эффективных методов хранения энергии на крупномасштабном уровне.



- **Гибкость в управлении сетью.** Они могут быстро реагировать на изменения в потреблении электроэнергии и обеспечивать стабильность и балансировку электрических сетей, особенно в сочетании с переменными источниками энергии, такими как солнечные и ветровые установки.

- **Долговечность и надежность.** ГАС имеют долгий срок службы и требуют минимального обслуживания по сравнению с другими типами накопителей энергии.

- **Низкие эксплуатационные расходы.** Хотя начальные инвестиции могут быть значительными, эксплуатационные расходы ГАС обычно ниже из-за низкой стоимости перемещения воды и отсутствия химических материалов.

### **Недостатки**

- **Зависимость от географических условий.** ГАС требуют наличия подходящих географических условий, таких как гористые местности с разницей высот, что ограничивает их применение в определенных регионах.

- **Высокие капитальные затраты.** Строительство гидроаккумулирующих станций требует значительных капитальных вложений и времени для проектирования и строительства.

- **Воздействие на окружающую среду.** Построение крупных водохранилищ и изменение ландшафта могут оказывать значительное влияние на окружающую среду и экосистемы.

- **Долгосрочная окупаемость.** Вложения в ГАС могут окупаться на протяжении длительного времени, что требует тщательной оценки экономической целесообразности.

### **Применение**

- **Энергетические сети.** ГАС используются для балансировки и стабилизации электрических сетей, обеспечивая надежное и эффективное управление нагрузками.

- **Возобновляемая энергия.** Они интегрируются с системами возобновляемых источников энергии для хранения избыточной энергии и обеспечения стабильности поставок.

- **Пиковое потребление.** ГАС позволяют сглаживать пиковые нагрузки и обеспечивать дополнительную мощность в часы пикового потребления.

Гидроаккумулирующие станции представляют собой эффективное и надежное решение для хранения энергии, особенно в случаях, когда необходимо балансировать нагрузки и обеспечивать стабильность энергоснабжения. Несмотря на высокие капитальные затраты и зависимость от географических условий, их преимущества в виде высокой эффективности, долговечности и способности к быстрой реакции на изменения в потреблении делают их важным элементом современных энергетических систем.

### **Энергия в виде тепла. Тепловые аккумуляторы.**

Тепловые аккумуляторы, или тепловые накопители, представляют собой устройства, предназначенные для хранения энергии в виде тепла. Эти системы играют ключевую роль в управлении тепловыми потоками и обеспечении стабильности в системах отопления, охлаждения и управления энергией. Они позволяют аккумулировать избыточное тепло в периоды низкого потребления и отдавать его, когда это необходимо.

### **Принцип работы**

Тепловые аккумуляторы могут использовать различные методы хранения тепла, включая:

- **Сохранение тепла в твердых телах.** Тепло хранится в твердых материалах с высокой теплоемкостью, таких как бетон, камень или специальные термостойкие материалы. Тепло накапливается за счет нагрева этих материалов и затем выделяется при их охлаждении.

- **Сохранение тепла в жидких средах.** Тепло хранится в жидких материалах с высокой теплоемкостью, таких как вода или специализированные теплоносители. Эти материалы могут быть нагреты до высоких температур и сохранять тепло до момента его использования.

- **Сохранение тепла в фазовых переходах.** Используются вещества, которые при изменении фазового состояния (например, плавление или кристаллизация) поглощают или выделяют тепло. Это позволяет эффективно хранить и выделять тепло при изменении температуры.

### **Преимущества**

- **Управление тепловыми потоками.** Тепловые аккумуляторы позволяют эффективно управлять тепловыми потоками в системах отопления и охлаждения, повышая их эффективность и снижая затраты на энергоресурсы.

- **Эффективное использование избыточной энергии.** Они позволяют накапливать избыточное тепло, которое может быть использовано в периоды пикового потребления или при нехватке источников тепла.

- **Устойчивость к колебаниям нагрузки.** Они обеспечивают стабильность и надежность системы, позволяя сглаживать колебания нагрузки и поддерживать оптимальный температурный режим.

### **Недостатки**

- **Ограниченная плотность энергии.** Тепловые аккумуляторы могут иметь меньшую плотность энергии по сравнению с электрическими аккумуляторами, что ограничивает их применение в некоторых областях.

- **Проблемы с масштабированием.** Строительство и эксплуатация крупных тепловых аккумуляторов может быть сложным и дорогим процессом.

- **Температурные ограничения.** Некоторые материалы и технологии могут иметь ограничения по температурному диапазону, что может ограничивать их применение.

### **Применение**

- **Системы отопления и охлаждения.** Тепловые аккумуляторы широко используются в системах отопления и охлаждения для хранения избыточного тепла и обеспечения более эффективного управления температурой.

- **Солнечные тепловые системы.** В солнечных тепловых системах тепловые аккумуляторы используются для накопления солнечного тепла, который затем используется для отопления и горячего водоснабжения.

- **Промышленные процессы.** В промышленных процессах тепловые аккумуляторы применяются для хранения тепла, которое затем используется в производственных процессах или для поддержания оптимальной температуры.

- **Здания и сооружения.** В строительстве тепловые аккумуляторы могут использоваться для повышения энергоэффективности зданий, снижения потребления энергии и обеспечения комфортного температурного режима.

### **Эффективность**

Эффективность тепловых аккумуляторов зависит от ряда факторов, включая:

- **Материалы и технологии.** Выбор материалов и технологий для хранения тепла оказывает значительное влияние на общую эффективность системы. Материалы с высокой теплоемкостью и эффективные фазовые переходы могут значительно повысить эффективность.

- **Размер и масштаб.** Эффективность также зависит от размера и масштаба теплового аккумулятора. Крупные системы могут быть более эффективными в управлении тепловыми потоками и накоплении энергии.

- **Условия эксплуатации.** Эффективность может варьироваться в зависимости от условий эксплуатации, таких как температура окружающей среды, колебания нагрузки и требования к управлению теплом.

- **Интеграция с другими системами.** Интеграция тепловых аккумуляторов с другими системами, такими как солнечные коллекторы или системы управления энергией, может повысить общую эффективность и производительность.

### **Инновационные подходы**

**Фазовые переходы.** Фазовые переходы представляют собой один из наиболее эффективных методов хранения тепла, использующий изменения в фазовом состоянии материалов (например, плавление и кристаллизация) для накопления и выделения тепла. Эта технология известна как накопление тепла на основе фазовых переходов (Phase Change Materials, PCM).

**Принцип работы.** Фазовые переходы происходят, когда материал изменяет свое состояние (например, плавится или кристаллизуется) при определенной температуре. В процессе этих переходов материал поглощает или выделяет значительное количество тепла, что делает его эффективным для хранения энергии. Примеры таких материалов включают:

- **Плавкие соли,** такие как натрий нитрат или кальций хлорид, могут использоваться в системах накопления тепла из-за их высокой теплоемкости и эффективных фазовых переходов.

- **Парафины** являются органическими материалами, которые также могут быть использованы для хранения тепла благодаря своим фазовым переходам при температуре плавления.

- **Смеси солей** могут использоваться для достижения желаемых температур плавления и улучшения характеристик хранения тепла.

## **Преимущества**

- **Высокая плотность хранения энергии.** Материалы с фазовыми переходами обеспечивают высокую плотность хранения энергии по сравнению с другими методами.

- **Эффективное управление температурой.** Они позволяют поддерживать стабильную температуру и снижать колебания температурного режима.

- **Гибкость в применении.** РСМ могут быть адаптированы для различных температурных диапазонов и применений, что делает их универсальным решением для хранения тепла.

## **Недостатки**

- **Стоимость.** Специальные фазовые переходные материалы могут быть дорогими и требовать значительных затрат на внедрение и эксплуатацию.

- **Сложность в управлении.** Необходимость контроля температуры и управление фазовыми переходами может усложнить проектирование и эксплуатацию систем.

- **Ограниченные материалы.** В настоящее время существует ограниченное количество материалов с идеальными свойствами для различных температурных диапазонов и приложений.

## **Применение**

- **Отопление и охлаждение зданий.** РСМ используются для хранения избыточного тепла или холода в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

- **Солнечные тепловые системы.** В солнечных тепловых системах РСМ помогают накапливать солнечное тепло для использования в ночное время или в облачные дни.

- **Промышленные процессы.** РСМ применяются для управления температурой в промышленных процессах и повышения энергоэффективности.

Тепловые аккумуляторы и инновационные подходы, такие как фазовые переходы, играют важную роль в эффективном управлении тепловыми потоками и обеспечении стабильности энергетических систем. Развитие технологий в этой области способствует улучшению управления энергией, снижению затрат и повышению устойчивости систем отопления и охлаждения.

**Химическое хранение энергии** представляет собой метод накопления энергии в виде химических соединений, которые могут быть преобразованы в другую форму энергии по мере необходимости. Этот подход включает в себя различные технологии, такие как водородные технологии, металлические гидриды и зеленый водород. Эти технологии обладают потенциалом для эффективного хранения и использования энергии, особенно в контексте перехода к более устойчивым и экологически чистым источникам энергии.

**Водородные технологии** являются одними из самых перспективных решений для химического хранения энергии. Водород ( $H_2$ ) обладает высокой плотностью энергии на единицу массы и может быть использован как в виде топлива для топливных элементов, так и для хранения энергии в виде химического соединения.

### **Принцип работы**

- **Производство водорода.** Водород может быть произведен различными методами, включая электролиз воды, реформинг природного газа и другие химические процессы. Электролиз воды позволяет разложить воду на водород и кислород с использованием электричества.

- **Хранение водорода.** Водород может храниться в различных формах:

- **В сжатом виде.** Водород сжимается до высоких давлений (обычно около 350-700 бар) и хранится в специализированных баллонах.

- **В жидком виде.** Водород охлаждается до чрезвычайно низких температур ( $-253^{\circ}\text{C}$ ) для получения жидкой формы.

- **В виде химических соединений.** Водород может быть связан с другими элементами в виде гидридов или других соединений.

- **Использование водорода.** Водород может быть использован в топливных элементах для производства электроэнергии, где он реагирует с кислородом, образуя воду и выделяя электрическую энергию. Он также может быть использован в качестве топлива для транспортных средств или в промышленности.

### **Преимущества**

- **Высокая плотность энергии.** Водород имеет высокую плотность энергии на единицу массы, что делает его привлекательным для хранения и транспортировки энергии.

- **Экологическая чистота.** При использовании водорода в топливных элементах образуется только вода, что делает его экологически чистым источником энергии.

- **Гибкость применения.** Водород может быть использован в различных областях, включая транспорт, промышленность и энергетику.

### **Недостатки**

- **Высокие затраты на производство и хранение.** Производство водорода, особенно с использованием электролиза, может быть дорогостоящим. Хранение водорода в сжатом или жидком виде требует значительных энергетических затрат.

- **Проблемы с инфраструктурой.** Отсутствие развитой инфраструктуры для производства, хранения и распределения водорода ограничивает его широкое применение.



- **Безопасность.** Водород является взрывоопасным газом, что требует соблюдения строгих мер безопасности при его производстве, хранении и транспортировке.

**Металлические гидриды** являются одним из способов хранения водорода в химической форме. Они представляют собой соединения водорода с металлами, которые могут поглощать и высвобождать водород при определенных условиях.

### **Принцип работы**

- **Поглощение водорода.** Металлические гидриды образуются, когда водород поглощается металлом или сплавом. Этот процесс обычно происходит при повышенной температуре и/или давлении.

- **Хранение и стабильность.** Металлические гидриды могут хранить водород при относительно низких давлениях и температурах по сравнению с сжатыми или жидкими водородом. Они имеют большую стабильность и меньшую склонность к утечке.

- **Освобождение водорода.** Водород может быть высвобожден из гидридов при определенных условиях, таких как повышение температуры или изменение давления. Это позволяет использовать водород по мере необходимости.

### **Преимущества**

- **Безопасность.** Хранение водорода в виде металлических гидридов снижает риски, связанные с высокими давлениями и низкими температурами.

- **Высокая плотность хранения.** Металлические гидриды обеспечивают высокую плотность хранения водорода по сравнению с газообразным водородом.

- **Эффективность.** Металлические гидриды могут быть эффективно использованы в различных приложениях, включая транспортные средства и стационарные системы хранения.

## **Недостатки**

- **Сложность производства.** Производство и обработка металлических гидридов могут быть сложными и дорогими.

- **Температурные ограничения.** Некоторые металлические гидриды требуют высоких температур для высвобождения водорода, что может ограничивать их применение.

- **Долговечность.** Некоторые металлические гидриды могут со временем терять свою способность к поглощению и высвобождению водорода.

## **Зеленый водород и его перспективы**

Зеленый водород относится к водороду, произведенному с использованием экологически чистых и устойчивых методов, таких как электролиз воды с использованием энергии из возобновляемых источников. Он представляет собой важный компонент стратегии по снижению углеродных выбросов и переходу к устойчивым источникам энергии.

### **Производство**

- **Электролиз воды.** Зеленый водород производится путем электролиза воды с использованием энергии от возобновляемых источников, таких как солнечные панели или ветрогенераторы. В этом процессе вода разлагается на водород и кислород без образования углеродных выбросов.

- **Реформинг биомассы.** Водород также может быть произведен из биомассы, что позволяет использовать органические материалы для получения водорода с низкими углеродными выбросами.

### **Преимущества**

- **Экологическая чистота.** Зеленый водород производится без выбросов углерода, что делает его важным компонентом в борьбе с изменением климата.

- **Устойчивость.** Использование возобновляемых источников энергии для производства зеленого водорода способствует устойчивому развитию и снижению зависимости от ископаемых топлив.

- **Разнообразие применения.** Зеленый водород может быть использован в различных областях, включая транспорт, промышленность и энергетику, для замены традиционных источников энергии.

### **Недостатки**

- **Высокие затраты на производство.** В настоящее время производство зеленого водорода остается дорогим, что ограничивает его широкое применение.

- **Необходимость в инфраструктуре.** Развитие инфраструктуры для производства, хранения и распределения зеленого водорода требует значительных инвестиций и времени.

- **Энергетическая эффективность.** Электролиз воды и другие методы производства зеленого водорода могут иметь низкую энергетическую эффективность по сравнению с другими методами хранения и использования энергии.

### **Перспективы**

- **Развитие технологий.** Прогресс в области электролиза, улучшение материалов и технологий могут снизить затраты на производство зеленого водорода и повысить его доступность.

- **Государственная поддержка и инвестиции в развитие возобновляемых источников энергии и инфраструктуры для водорода** могут ускорить переход к зеленому водороду.

- **Интеграция с другими источниками энергии.** Зеленый водород может быть интегрирован с другими источниками возобновляемой энергии для повышения общей эффективности и устойчивости энергетических систем.

Химическое хранение энергии через водородные технологии, металлические гидриды и зеленый водород представляет собой перспективные подходы к накоплению и использованию энергии. Эти технологии обладают значительным потенциалом для повышения устойчивости энергетических систем и снижения углеродных выбросов. Несмотря на существующие вызовы, такие как высокие затраты и необходимость в инфраструктуре, продолжающиеся исследования и разработки в этих областях обещают улучшить эффективность и доступность этих технологий в будущем.

#### **11.4. Промышленные и новые технологии хранения энергии**

Современные технологии хранения энергии играют ключевую роль в обеспечении устойчивости и надежности энергетических систем. В последние годы развиваются новые методы и устройства для хранения энергии, которые направлены на улучшение эффективности, снижение затрат и минимизацию воздействия на окружающую среду. В этом разделе рассмотрим такие технологии, как воздушные насосные станции, системы хранения на основе абсорбционных материалов, а также развитие технологий в контексте устойчивого развития.

##### **Воздушные насосные станции**

Воздушные насосные станции (или системы сжатого воздуха для хранения энергии, CAES) представляют собой технологии хранения энергии, которые используют сжатый воздух в качестве метода хранения и последующего преобразования энергии. Эти системы эффективно применяются для балансировки электрических сетей и управления нагрузками.

##### **Принцип работы**

- **Сжатие воздуха.** Во время периодов низкого потребления энергии или избыточного производства электроэнергии, воздух сжимается и хранится в подземных или надземных резервуарах под высоким

давлением. Этот процесс требует энергии, которая может быть получена из возобновляемых источников или традиционных генераторов.

- **Хранение воздуха.** Сжатый воздух хранится в специализированных резервуарах или пористых геологических формациях, таких как соляные каверны, которые могут поддерживать высокое давление без значительных утечек.

- **Декомпрессия и генерация электроэнергии.** В период пикового потребления энергии, сжатый воздух выбрасывается из резервуаров и направляется через турбины. Воздух, расширяясь и нагреваясь, приводит в движение турбины, которые генерируют электроэнергию, возвращая ее в сеть.

### **Преимущества**

- **Большой масштаб хранения.** CAES-системы способны хранить значительные объемы энергии, что делает их подходящими для крупных энергетических систем.

- **Эффективность и надежность.** Эти системы обеспечивают эффективное и надежное управление энергией, особенно в сочетании с переменными источниками возобновляемой энергии.

- **Долговечность.** CAES-системы имеют долгий срок службы и требуют минимального обслуживания по сравнению с другими методами хранения энергии.

### **Недостатки**

- **Высокие капитальные затраты.** Строительство резервуаров и компрессорных установок требует значительных инвестиций.

- **Ограничения по местоположению.** Эффективность CAES-систем зависит от наличия подходящих геологических формирований для хранения сжатого воздуха.

- **Энергоемкость.** Сжатие воздуха требует значительных энергетических затрат, что может снижать общую эффективность системы.

### **Системы хранения на основе абсорбционных материалов**

Системы хранения на основе абсорбционных материалов представляют собой инновационные технологии, использующие специализированные материалы для поглощения и хранения тепловой энергии. Эти системы предназначены для эффективного накопления и управления тепловыми потоками, что делает их полезными в различных областях, включая строительство и промышленность.

#### **Принцип работы**

- **Поглощение энергии.** Абсорбционные материалы, такие как гидратированные соли или гели, поглощают и хранят тепловую энергию в процессе изменения своей физико-химической структуры. Эти материалы могут быть как органическими, так и неорганическими.

- **Хранение и стабилизация.** Тепловая энергия накапливается в материале и стабилизируется, что позволяет сохранять тепло на протяжении длительного времени.

- **Освобождение энергии.** При необходимости материал может выделять накопленное тепло при изменении условий, таких как температура или влажность, возвращая его в систему для использования.

#### **Преимущества**

- **Эффективное использование тепла.** Эти системы позволяют эффективно хранить и использовать тепловую энергию, что повышает общую энергоэффективность.

- **Гибкость применения.** Абсорбционные материалы могут использоваться в различных областях, включая отопление, охлаждение и промышленные процессы.

- **Снижение затрат на энергию.** Использование накопленного тепла позволяет снизить затраты на потребление энергии, особенно в системах отопления и охлаждения.

### **Недостатки**

- **Ограниченные материалы.** В настоящее время существует ограниченное количество доступных абсорбционных материалов с идеальными свойствами для различных температурных диапазонов.

- **Проблемы с масштабированием.** Создание и эксплуатация крупных систем хранения на основе абсорбционных материалов может быть сложным и дорогим процессом.

- **Сложность управления.** Управление температурными режимами и поддержание стабильности может быть сложным и требовать дополнительного контроля.

## **11.5. Развитие технологий в контексте устойчивого развития**

Развитие технологий хранения энергии в контексте устойчивого развития направлено на создание решений, которые способствуют снижению воздействия на окружающую среду, повышению энергоэффективности и поддержанию долгосрочной устойчивости энергетических систем. Эти технологии включают в себя улучшение существующих методов и внедрение новых инновационных решений.

### **Ключевые направления развития**

- **Энергетическая эффективность.** Новые технологии направлены на повышение эффективности хранения и преобразования энергии, что способствует снижению потерь и улучшению общего баланса энергии.

- **Снижение углеродного следа.** Разработка и внедрение экологически чистых технологий, таких как зеленый водород и возобновляемые источники энергии, помогают снижать углеродные выбросы и минимизировать воздействие на климат.

- **Интеграция возобновляемых источников.** Новые технологии хранения энергии направлены на более эффективное интегрирование возобновляемых источников, таких как солнечная и ветровая энергия, в энергетические системы, обеспечивая стабильность и надежность поставок.

- **Развитие инфраструктуры.** Построение и модернизация инфраструктуры для хранения и распределения энергии являются ключевыми аспектами устойчивого развития, что включает в себя развитие сетей для хранения и распределения энергии, а также создание новых решений для хранения.

### **Тенденции и перспективы**

- **Инновации в материалах.** Продолжающиеся исследования и разработки в области новых материалов для хранения энергии, таких как фазовые переходные материалы и абсорбционные материалы, обещают улучшить характеристики и эффективность систем хранения.

- **Развитие систем управления.** Улучшение систем управления и автоматизации для более эффективного мониторинга и управления накопленной энергией способствует повышению устойчивости и надежности систем.

- **Экологическое проектирование.** Устойчивое проектирование и использование экологически чистых материалов для строительства и эксплуатации систем хранения энергии помогают снижать воздействие на окружающую среду.

- **Международное сотрудничество.** Глобальное сотрудничество и обмен знаниями способствуют ускорению развития новых технологий и их внедрению на международном уровне.

Промышленные и новые технологии хранения энергии, такие как воздушные насосные станции, системы на основе абсорбционных материалов и развитие технологий в контексте устойчивого развития,



играют важную роль в создании эффективных и экологически чистых решений для хранения и управления энергией. Продолжающиеся инновации и исследования в этих областях способствуют улучшению энергетических систем, снижению углеродных выбросов и поддержанию устойчивости энергетической инфраструктуры.

## **11.6. Проблемы и перспективы хранения и передачи энергии**

Технологии хранения и передачи энергии играют критическую роль в современных энергетических системах, обеспечивая их стабильность, эффективность и устойчивость. Однако, несмотря на значительный прогресс, эти технологии сталкиваются с рядом проблем и вызовов. В этом разделе рассмотрим основные проблемы, инновационные решения, тенденции, влияние на устойчивое развитие и экологию, а также перспективы внедрения зеленых технологий.

### **Проблемы, связанные с хранением и передачей энергии**

#### **1. Технические и экономические ограничения**

- **Эффективность и потери энергии.** Многие существующие технологии хранения энергии, такие как свинцово-кислотные аккумуляторы и сжатый воздух, имеют ограничения по эффективности и потери энергии в процессе хранения и передачи. Например, аккумуляторы могут терять часть энергии из-за внутренних сопротивлений, а системы сжатого воздуха могут иметь значительные потери при конверсии энергии.

- **Высокие капитальные затраты.** Внедрение новых технологий хранения энергии, таких как твердотельные аккумуляторы или системы сжатого воздуха, требует значительных первоначальных инвестиций, что может ограничивать их доступность и распространение.

#### **2. Ограничения по масштабированию и инфраструктуре**

- **Масштабируемость технологий.** Некоторые передовые технологии, такие как суперконденсаторы и абсорбционные материалы,

сталкиваются с проблемами масштабирования. Создание крупных и эффективных систем требует значительных ресурсов и времени на разработку.

- **Недостаток инфраструктуры.** Развитие инфраструктуры для хранения и передачи энергии, включая сети для распределения и хранения, часто отстает от темпов внедрения новых технологий. Это может создавать узкие места в эффективном использовании накопленной энергии.

### **3. Экологические и экологические проблемы**

- **Воздействие на окружающую среду.** Производство и утилизация аккумуляторов, особенно свинцово-кислотных и литий-ионных, может иметь негативное воздействие на окружающую среду. Необходимость утилизации и переработки старых аккумуляторов представляет собой серьезную проблему.

- **Использование редких материалов.** Некоторые современные технологии, такие как литий-ионные аккумуляторы и твердотельные аккумуляторы, требуют использования редких и дорогих материалов, что может ограничивать их доступность и устойчивость.

### **Инновационные решения и тенденции**

#### **1. Разработка новых технологий хранения**

- **Твердотельные аккумуляторы.** Эти аккумуляторы предлагают улучшенные характеристики безопасности и плотности энергии по сравнению с традиционными литий-ионными аккумуляторами. Они имеют потенциал для значительного улучшения характеристик хранения энергии.

- **Натрий-ионные аккумуляторы.** Альтернативные решения, такие как натрий-ионные аккумуляторы, обещают более низкую стоимость и меньшую зависимость от редких материалов, что делает их перспективными для широкого применения.

#### **2. Интеграция с возобновляемыми источниками**

- **Гибридные системы.** Инновационные подходы включают интеграцию различных методов хранения энергии, таких как сочетание аккумуляторов с системами хранения тепла или сжатого воздуха, для улучшения общей эффективности и надежности энергетических систем.

- **Умные сети (Smart Grids).** Развитие умных сетей, которые используют передовые технологии для управления распределением энергии и интеграцией возобновляемых источников, позволяет более эффективно использовать накопленную энергию и снижать потери.

### **3. Устойчивое проектирование и экологические решения**

- **Экологически чистые материалы.** Исследования в области новых материалов, таких как экологически чистые абсорбционные материалы и биоразлагаемые компоненты для аккумуляторов, направлены на снижение воздействия на окружающую среду.

- **Рециклинг и повторное использование.** Разработка и внедрение технологий для эффективного рециклинга и повторного использования материалов из аккумуляторов и других систем хранения помогают минимизировать экологические последствия.

### **Влияние на устойчивое развитие и экологию**

#### **1. Снижение углеродных выбросов**

- **Чистые источники энергии.** Технологии хранения энергии способствуют более эффективному использованию возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, что помогает снизить углеродные выбросы и уменьшить зависимость от ископаемых топлив.

- **Энергетическая эффективность.** Улучшение хранения и передачи энергии способствует более эффективному управлению энергией, снижая потери и улучшая общую энергетическую эффективность.

#### **2. Уменьшение негативного воздействия на окружающую среду**

- **Снижение отходов.** Разработка технологий для рециклинга и утилизации старых аккумуляторов и других компонентов систем хранения

помогает снизить количество отходов и негативное воздействие на окружающую среду.

- **Экологически чистые технологии.** Использование экологически чистых материалов и технологий для хранения энергии способствует снижению воздействия на окружающую среду и улучшению устойчивости энергетических систем.

## **Перспективы внедрения зеленых технологий**

### **1. Рост инвестиций и исследований**

- **Государственная поддержка.** Увеличение государственных инвестиций и поддержки исследований в области зеленых технологий способствует ускорению их разработки и внедрения. Программы и инициативы по поддержке устойчивого развития создают стимулы для инноваций.

- **Частные инвестиции.** Растущий интерес со стороны частных инвесторов и компаний к зеленым технологиям способствует развитию новых решений и улучшению существующих технологий.

### **2. Развитие инфраструктуры и интеграция**

- **Инфраструктурные проекты.** Инвестиции в развитие инфраструктуры для хранения и передачи энергии способствуют более эффективному использованию зеленых технологий и их интеграции в существующие энергетические системы.

- **Международное сотрудничество.** Глобальное сотрудничество и обмен знаниями способствуют более быстрому внедрению зеленых технологий и улучшению стандартов и практик в области устойчивого развития.

### **3. Образование и повышение осведомленности**

- **Образовательные программы.** Повышение осведомленности о зеленых технологиях и их преимуществах через образовательные программы и инициативы помогает ускорить их принятие и внедрение.

- **Популяризация устойчивого развития.** Развитие и популяризация концепций устойчивого развития среди компаний и потребителей способствует более широкому применению зеленых технологий и повышению их доступности.

Проблемы и перспективы хранения и передачи энергии связаны с техническими, экономическими и экологическими вызовами. Инновационные решения и тенденции в этой области направлены на улучшение эффективности, снижение затрат и минимизацию воздействия на окружающую среду. Внедрение зеленых технологий и устойчивое развитие играют ключевую роль в создании более устойчивых и экологически чистых энергетических систем, что открывает новые возможности для достижения целей устойчивого развития и улучшения качества жизни.

## **11.6. Будущие направления исследований и внедрения технологий хранения и передачи энергии**

Будущее технологий хранения и передачи энергии будет определяться не только развитием новых материалов и технологий, но и изменениями в глобальных энергетических потребностях и экологических требованиях. В этом разделе рассмотрим ключевые направления исследований и внедрения, которые будут формировать будущее этих технологий.

### **1. Разработка и оптимизация новых материалов**

#### **1.1. Твердотельные аккумуляторы**

- **Исследование новых электролитов.** Одной из основных задач является разработка новых твердых электролитов, которые обеспечивают высокую и стабильную проводимость и безопасность. Исследования сосредоточены на материалах, таких как сульфиды и оксиды, которые могут заменить жидкие электролиты и повысить эффективность и долговечность аккумуляторов.

- **Проблемы с интерфейсами.** Одним из ключевых вызовов является улучшение интерфейсов между твердыми электролитами и электродами, чтобы минимизировать сопротивление и предотвратить деградацию.

## **1.2. Натрий-ионные аккумуляторы**

- **Улучшение характеристик.** Исследования направлены на повышение плотности энергии и срока службы натрий-ионных аккумуляторов, а также на улучшение их устойчивости к изменениям температуры и циклическим нагрузкам.

- **Снижение стоимости.** Поскольку натрий является более дешевым и более доступным материалом по сравнению с литием, исследования сосредоточены на снижении стоимости производства и улучшении экономической эффективности этих аккумуляторов.

## **1.3. Многофункциональные материалы**

- **Фазовые переходы и химические реакции.** Исследования материалов, которые изменяются при различных фазовых переходах или химических реакциях, могут привести к созданию более эффективных систем хранения энергии с улучшенными характеристиками.

## **2. Инновационные технологии хранения энергии**

### **2.1. Гидроаккумулирующие станции нового поколения**

- **Оптимизация процессов.** Исследования направлены на улучшение насосных гидроаккумуляторов, включая повышение их эффективности и снижение затрат на строительство и эксплуатацию. Это включает в себя разработку более эффективных турбин и насосов.

- **Модульные и маломасштабные решения.** Разработка маломасштабных гидроаккумулирующих систем, которые могут быть установлены в местах с ограниченными ресурсами, представляет собой важное направление для расширения применения этой технологии.

### **2.2. Воздушные насосные станции**

- **Повышение давления хранения.** Исследования сосредоточены на разработке технологий, позволяющих хранить воздух под еще большим давлением, что увеличивает общую энергоемкость систем.

- **Интеграция с возобновляемыми источниками.** Оптимизация CAES-систем для более эффективного интегрирования с солнечными и ветровыми электростанциями поможет улучшить стабильность и надежность энергосистем.

### **2.3. Фазовые переходы и термические аккумуляторы**

- **Технологии фазовых переходов.** Исследования материалов с определенными фазовыми переходами, такими как парафиновые вещества и гидраты, могут привести к созданию более эффективных тепловых аккумуляторов, которые могут использоваться для управления энергией в зданиях и промышленных процессах.

- **Системы хранения тепла.** Разработка инновационных систем хранения тепла, включая использование новых материалов и технологий для повышения эффективности и снижения потерь энергии, будет ключевым направлением исследований.

## **3. Интеграция и умные сети**

### **3.1. Умные сети (Smart Grids)**

- **Интеграция хранения и распределения.** Исследования будут сосредоточены на разработке технологий, которые позволяют эффективно интегрировать системы хранения энергии в умные сети для оптимизации распределения и потребления энергии.

- **Аналитика и управление данными.** Использование больших данных и искусственного интеллекта для управления и оптимизации сетей хранения и передачи энергии позволит повысить общую эффективность и надежность энергетических систем.

### **3.2. Гибридные системы хранения**

- **Комбинирование технологий.** Разработка гибридных систем, которые комбинируют различные методы хранения энергии, такие как аккумуляторы и системы сжатого воздуха, позволит создать более гибкие и эффективные решения для управления энергией.

- **Интеграция с возобновляемыми источниками.** Исследования направлены на создание интегрированных систем, которые могут эффективно использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, в сочетании с различными технологиями хранения.

#### **4. Экологические и устойчивые решения**

##### **4.1. Экотехнологии и материалы**

- **Экологически чистые материалы.** Исследования будут сосредоточены на разработке и применении экологически чистых и биоразлагаемых материалов для аккумуляторов и систем хранения энергии, чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

- **Рециклинг и повторное использование.** Разработка эффективных технологий рециклинга и повторного использования материалов из старых аккумуляторов и других систем хранения будет способствовать снижению экологических последствий и повышению устойчивости.

##### **4.2. Устойчивое проектирование**

- **Проектирование на основе жизненного цикла.** Исследования в области проектирования систем хранения энергии с учетом полного жизненного цикла продуктов помогут улучшить их экологические характеристики и экономическую эффективность.

- **Анализ жизненного цикла.** Оценка воздействия технологий хранения энергии на окружающую среду на всех этапах их использования, от производства до утилизации, будет ключевым направлением для достижения целей устойчивого развития.



Будущие направления исследований и внедрения технологий хранения и передачи энергии будут определяться необходимостью повышения эффективности, снижения затрат и минимизации воздействия на окружающую среду. Разработка новых материалов, инновационных технологий, интеграция с умными сетями и экологические решения будут играть ключевую роль в формировании устойчивых и эффективных энергетических систем будущего. Эти направления исследований и внедрения помогут обеспечить надежность, безопасность и устойчивость энергетических систем в условиях глобальных вызовов и изменений.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие ключевые проблемы связаны с текущими технологиями хранения энергии, и как они влияют на эффективность и стоимость?
2. Какие преимущества и недостатки имеют свинцово-кислотные аккумуляторы по сравнению с литий-ионными аккумуляторами?
3. Как суперконденсаторы отличаются от традиционных аккумуляторов в плане хранения и передачи энергии?
4. Какие основные характеристики твердотельных аккумуляторов делают их перспективными для будущих технологий хранения энергии?
5. В чем заключаются основные отличия натрий-ионных аккумуляторов от литий-ионных, и какие их преимущества?
6. Как гидроаккумулирующие станции могут способствовать улучшению стабильности и надежности энергосистем?
7. Какие инновационные подходы используются для повышения эффективности тепловых аккумуляторов и их применения в различных сферах?
8. В чем заключаются основные преимущества и вызовы использования водородных технологий для хранения энергии?

**9.** Как воздушные насосные станции работают и какие преимущества они могут предложить по сравнению с другими методами хранения энергии?

**10.** Какие новые направления исследований в области хранения энергии направлены на повышение устойчивости и минимизацию экологического воздействия?