

Острая настройка ДГР в резонанс требует на сегодняшний день более универсальных решений, позволяющих осуществлять как компенсацию емкостных токов, так и быстродействие устройств автоматической настройки.

### **Список использованных источников**

1. Рыжкова Е. Н., Аарон Л. В. В. Об особенностях переходных процессов в компенсированных сетях //Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2015. – №. 3. – С. 42-47.
2. Патент на изобретение 2779147 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство защиты от дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю/ Е.Н. Рыжкова, В.Е. Васин; М. Д. Харабурова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022114842; приоритет 01.06.2022.
3. Патент на изобретение 2779881 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Устройство ограничения дуговых перенапряжений в сетях с компенсацией емкостных токов замыканиях на землю/ В.Е. Васин, Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, Панферова Н.Ю; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2022111892; приоритет 29.04.2022
4. Патент на изобретение 2803647 Российская Федерация: МПК H02H 9/08 (2006.01) /Способ выявления расстройки компенсации в режиме замыкания на землю для управления защитным резистором в компенсированных сетях/ Е.Н.Рыжкова, М.Д. Харабурова, З.Р.Закиров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ". - № 2023113641; приоритет 25.05.2023

УДК 620.9

**Н.А. Ходас<sup>1</sup>, А.К. Ходас<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный экономический университет  
Минск, Беларусь

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ**

*Аннотация.* Политика достижения целей углеродной нейтральности предполагают, что доля возобновляемых источников энергии в энергобалансе всех

стран мира будет постоянно повышаться. Для сохранения гибкости управления энергосистемами уже сейчас необходимо уделять внимание разработке новых технологий хранения энергии.

**N.A. Khodos<sup>1</sup>, A.K. Hodas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>Belarusian State University of Economics  
Minsk, Belarus

## **INNOVATIVE TRENDS IN ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES**

***Abstract.** The policy of achieving carbon neutrality goals assumes that the share of renewable energy sources in the energy balance of all countries of the world will constantly increase. In order to maintain the flexibility of energy system management, it is already necessary to pay attention to the development of new energy storage technologies.*

К 2060 году планируется увеличение общего объема потребления электроэнергии в мире до 15 триллионов кВт·ч, при этом в общей установленной мощности более половины будет приходиться на возобновляемые источники энергии. Технологии возобновляемых источников энергии более эффективны и экономичны по сравнению с традиционными, поэтому в будущем инновационные решения для долгосрочного хранения энергии позволят возобновляемой энергии доминировать над традиционными источниками энергии. По прогнозам ученых к 2060 году общая мощность систем хранения электроэнергии должна составить 1250 ГВт.

Современные системы накопления энергии имеют множество форм и технических решений, среди которых физические, термальные, электрохимические, водородные хранилища. В настоящее время в мире большое количество источников экологически чистой энергии подключаются к сети, а инфраструктура электроэнергетики становится лучше приспособленной для удовлетворения меняющихся потребностей людей. Более того, крупномасштабное хранение возобновляемой энергии с использованием аккумуляторных систем хранения энергии повышает общую устойчивость энергетических систем и ускоряет переход к экологически чистой энергии.

Традиционно системы производства и хранения энергии имеют централизованную архитектуру, что увеличивает риски сбоев в энергосистеме в периоды высокого спроса на энергию и может нарушить цепочку поставок энергии. Распределенные системы хранения решают эту проблему, позволяя отдельным предприятиям производить энергию на месте, сохранять ее для личных нужд, а также продавать излишки энергии в сеть. Различные варианты для

распределенного хранения энергии (например, электромобили, микросети, виртуальные электростанции) позволяют уменьшить производство энергии из угля, нефти и газа и больше полагаться на возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели на крыше и небольшие ветряные турбины.

Общеизвестно, что литий-ионные аккумуляторы обладают такими преимуществами, как портативность, быстрая перезарядка, низкие эксплуатационные расходы и универсальность. Литий-ионные системы хранения, относящиеся к электрохимическим формам, на сегодняшний день являются одним из наиболее растущих сегментов в этой области. Большинство пилотных проектов в настоящее время реализованы с использованием литий-ионных батарей, устанавливаемых вблизи солнечных и ветровых электростанций. Однако они чрезвычайно огнеопасны, чувствительны к высоким температурам, требуют защиты от перезаряда или полной разрядки и подвержены старению.

Поэтому актуальна модификация литий-ионных аккумуляторов, в первую очередь, для увеличения их производительности и срока эксплуатации. Для достижения этой цели традиционные литий-кобальтовые электроды заменяют более легкие и энергоемкие материалы, такие как литий-полимер, литий-воздух, лититанат и литий-сера, а также организуют переработку использованных батарей в рамках экономики замкнутого цикла.

Литиевые батареи не являются экологически чистыми, и это побуждает компании-производители искать альтернативные материалы, которые будут использоваться в аккумуляторах следующего поколения. Например, воздушно-цинковые батареи являются жизнеспособной альтернативой литию, учитывая большие разведанные залежи цинка, присущую цинку стабильность и низкую токсичность.

Еще одна альтернатива литиевым батареям – натриево-серные батареи, которые имеют более длительный срок службы, большее количество циклов зарядки/разрядки, высокую плотность энергии и изготовлены из относительно недорогих материалов. Другие перспективные и многообещающие химические элементы для аккумуляторов – это алюминий-ионные батареи, магниевые-ионные батареи, никель-цинковые батареи и батареи на основе кремния.

Такие устройства, как суперконденсаторы, маховики и сверхпроводящие магнитные накопители, существуют уже очень давно. Современные аккумуляторные технологии в потенциале обеспечивают высокую плотность мощности за более короткие

промежутки времени. Несмотря на то, что они быстро разряжаются, они улучшают качество и надежность электросети в переходные периоды (например, после нарушения работы системы, изменения нагрузки и переключения линии).

Современные аккумуляторные технологии также предотвращают обрушение электросетей из-за нестабильности напряжения. Инновационная интеграция SDES в приложения топливных элементов позволяет улучшить цикл зарядки-разрядки электромобилей. Крупные мегаполисы и небольшие города подключая свои системы хранения энергии к SDES улучшают общие циклы хранения и зарядки энергии.

Проточные окислительно-восстановительные батареи используются в качестве топливных элементов или аккумуляторных батарей. Они состоят из двух соединенных между собой резервуаров, содержащих жидкий электролит и противоположно заряженные электроды, в которых ионы переходят из одного резервуара в другой через мембрану. Проточные окислительно-восстановительные батареи имеют более длительный срок службы, чем литиевые, поскольку протекание тока из одного резервуара в другой не разрушает мембрану.

Благодаря гибкой конструкции системы и простоте масштабирования проточные окислительно-восстановительные батареи имеют большой потенциал для интеграции в системы возобновляемых источников энергии в коммунальных предприятиях. Инновации в этой области сосредоточены на разработке новых окислительно-восстановительных процессов, которые являются не только экономически эффективными, но и обеспечивают большую плотность энергии.

Обычные жидкие электролиты обладают рядом недостатков: очень горючи, имеют низкое удержание заряда, неэффективно работают при экстремальных температурах. В твердотельных батареях легковоспламеняющийся жидкий электролит заменяется твердым соединением, которое облегчает миграцию ионов. Стартапы предлагают использовать электролиты на основе полимеров и органических соединений, которые обладают высокой ионной проводимостью.

Твердые электролиты позволяют использовать высоковольтные материалы с высокой емкостью для производства аккумуляторов, что обеспечивает большую плотность энергии, портативность и длительный срок хранения. Поскольку твердотельные аккумуляторы обеспечивают лучшее соотношение мощности к весу, они являются идеальным выбором для использования в электромобилях.

Среди систем хранения нельзя рассматривать только крупные проекты. Установки преобразования водорода и системы преобразования тепла также могут выступать в качестве распределенных хранилищ энергии.

Водород обладает самой высокой теплотворной способностью на массу среди всех химических видов топлива, а также является регенеративным и экологически чистым источником энергии. Область применения водорода варьируется от использования в автомобилях в качестве чистого топлива до портативного источника питания для зданий.

Физически водород хранится в виде газа или жидкости. Для хранения газа обычно требуются резервуары под высоким давлением, а для хранения жидкости требуются криогенные температуры. В настоящее время, чтобы экономично хранить водород, разрабатываются инновационные процессы и инновационные резервуары для хранения. Последние тенденции в хранении водорода связаны с адсорбцией водорода на твердых поверхностях и посредством химических реакций.

Процесс хранения тепловой энергии (как сезонный, так и краткосрочный) заключается в подаче тепла в систему хранения для использования в более позднее время. Обычно тепловые компании хранят горячую или холодную воду в изолированных резервуарах, чтобы использовать ее в случае увеличения спроса для управления пиковыми нагрузками в централизованном теплоснабжении и централизованном охлаждении.

Инновационные разработки последних лет демонстрируют использование новых сред (например, расплавленных солей, эвтектиков и материалов с фазовым переходом) для хранения тепловой энергии. Наиболее распространенным современным применением хранения тепловой энергии являются солнечные тепловые системы, которые решают проблему прерывистой возобновляемой энергии и обеспечивают доступ к накопленной солнечной энергии в ночное время.

В заключении необходимо констатировать, что внедрение систем хранения, основанных на различных физических принципах, должно предваряться технико-экономической оценкой по множеству параметров, таких как мощность, емкость, инерционность в части отдачи мощности и ее накопления. В настоящее время существуют значительные экономические издержки, связанные с установкой инфраструктуры хранения энергии, а долгосрочное владение данной инфраструктурой приводит к постепенному обесцениванию

имеющихся активов. Одним из способов решения данной проблемы является услуга хранения энергии, которая позволяет предприятиям получить надежное электроснабжение при нулевых инвестициях в активы и низких затратах на внедрение, то есть обеспечивает максимальную гибкость при принятии экономических решений в условиях меняющейся рыночной конъюнктуры. Кроме того, хранение энергии как услуга помогает коммунальным предприятиям управлять перегрузками, сезонным пиковым спросом и устранять сбои сетевой инфраструктуры, а потребители энергии, живущие в отдаленных районах, со слабым подключением к сети или вообще без нее получают выгоду от повышения гибкости и эффективности сети. Развитие систем хранения напрямую зависит от развития возобновляемых источников энергии и, в определенной мере, с общим развитием энергосистемы, в рамках которой строятся крупные энергетические связи между регионами.

#### **Список использованных источников**

1. Мухаметова, Л.Р., Ахметова, И.Г., Стриелковски, В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т.21. – №4. – С. 33 - 40.

УДК 551.508.7

**Е.А. Шаповалова**

Тюменский индустриальный университет  
Тюмень, Россия

#### **ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АДДИТИВНЫХ И РАДИО ТЕХНОЛОГИЙ**

*Аннотация.* Предлагается альтернативный способ измерения показателей почвы биоразлагаемыми датчиками, который выгоден для предприятия, а также безопасней в эксплуатации.

**E.A. Shapovalova**

Tyumen Industrial University  
Tyumen, Russia

#### **REMOTE MONITORING OF SOIL HUMIDITY USING ADDITIVE AND RADIO TECHNOLOGIES**