

Рисунок 3 – Зависимость звукопоглощения от плотности посадки растений и частоты звука [3]

Замечено, что показатели шумозащиты тем выше, чем гуще и плотней крона, многочисленней листва и разнообразней состав посадок [ 4 ].

М.И. Рифата использовано растение «Вихус» или «Самшит», использование его в условиях России возможно, но этот вид занесён в Красную книгу. В этом случае схожим растением, используемым для декорирования в российских широтах можно считать Кизильник блестящий.

Кизильник блестящий является неприхотливым растением, которое хорошо себя чувствует практически во всех широтах Российской Федерации, при этом, помимо акустических свойств, Кизильник обладает рядом преимуществ так как его побеги, выращенные в контейнерах, легче и удобнее транспортировать, они меньше повреждаются по сравнению с саженцами с открытой или упакованной в мешковину корневой системой.

Применение «зеленых стен» не только в качестве метода повышения уровня эстетически урбанизированной территории, но и в качестве современного инструмента снижения уровня шума позволит создать более благоприятные условия для общественной и трудовой деятельности человека. Решение насущных вопросов методами, связанными с переходом на «зелёные технологии», а также с применением инновационных конструктивных решений позволяют сделать шаг в направлении снижения шумового воздействия человека в системе звукового ландшафта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тясто, А. А., Куимова, М. В. О влиянии шумового загрязнения окружающей среды на здоровье человека // Молодой ученый, 2015. — №10. — С. 98-99.
2. Гераймович, А., Шилкин, Н. Озеленение как инструмент экологических решений. // Здания высоких технологий, 2016.—№3. – 18 с.
3. Mostafa, Refat Ismail. Quiet environment: Acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form// Журнал «Frontiers of Architectural Research», 2013. – V.2. – № 2. – С.162-167.
4. Мельникова, Н. Защитные свойства деревьев. Часть 4. Шум. // « Питомник Савотеевых » URL: <https://www.drevo-spas.ru/v-mire-rastenij.html?id/384>.– (Дата обращения – 10.02.2020).

## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

## ENERGY STORAGE AS DEVICES FOR IMPROVING THE OPERATION OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

**В. И. Красовский, П. В. Яцко**

**V. Krasovsky, P. Yatsko**

Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,

г. Минск, Республика Беларусь

*PavellYatsko@yandex.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Использование возобновляемых источников энергии настоятельно требует отчетливого представления характера их работы в изменяющихся климатических условиях, а также развитость сложившейся инфраструктуры энергосистемы, характера потребителей, рационального использования вырабатываемой энергии, аккумулирования и поставки ее в требуемый момент времени.

The use of renewable energy sources urgently requires a clear presentation of the nature of its work in changing climatic conditions and development of the existing infrastructure of the power system, nature of consumers, rational use of energy output, storage and delivery in the required time as well.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, накопители энергии, аккумулирование энергии, электрические энергосистемы, электрическая сеть.

*Keywords:* renewable energy sources (RES), energy storage, energy storage, electric power systems, electric grid.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-393-396>

Анализируя мировую тенденцию по интеграции возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) в существующую сеть энергосистемы можно отметить, что целесообразность и масштаб использования технологий возобновляемых источников энергии определяется их экономической эффективностью и конкурентоспособностью по отношению к традиционным источникам энергии [1].

Для повышения эффективности технологий ВИЭ, а также эффективного использования ВИЭ в странах с 25–40% годовой долей выработки от ВИЭ по отношению к традиционным источникам энергии применяют ряд технических решений (интеграция малых объемов (10-15%) ВИЭ в сеть энергосистемы не вызывает трудностей) [2]. Из основных решений можно выделить применение аккумулирования (хранения и/или накопления) энергии.

По сути, аккумулирование само по себе не экономит энергию, а наоборот ведет к дополнительным потерям, но оно позволяет значительно облегчить управление потреблением энергии и соответственно, во многих случаях привести к экономии. Известно, что генерируемая электроэнергия большинства возобновляемых источников подвержена периодическим и случайным изменениям. При этом скорость потребления энергии также изменяется во времени как в течение года, так и в течении дня. Приведение в соответствие выработки энергии и потребности в ней во времени может осуществляться накопителями энергии (далее – НЭ).

Различного рода накопители энергии могут иметь большое значение для улучшения режима современных сложных электрических энергосистем (далее – ЭЭС). По мере развития ЭЭС, усложнения схем их сетей возникает потребность в новых эффективных устройствах, улучшающих режимы, которыми могут являться НЭ, особенно емкостные и электромагнитные, имеющие высокое быстродействие и способность к почти мгновенному реверсу мощности. Эти же свойства оказываются весьма существенными при улучшении статической и динамической устойчивости ЭЭС. При помощи НЭ могут сниматься кратковременные острые пики нагрузки, демпфироваться колебания при нерегулярных перетоках обменной мощности, а также в точках нагрузки. Большую роль НЭ могут играть при симметрировании несимметричных режимов ЭЭС и поддержании частоты и напряжения при их малых быстрых отклонениях.

Накопители энергии могут способствовать поддержанию организованной системы противоаварийного управления и этим содействовать предотвращению каскадных аварий, что является одной из главных проблем современной электроэнергетики. Они могут существенной составляющей входить в оперативный резерв ЭЭС, имея большое преимущество перед другими видами резерва, заключающегося в практически мгновенном введении его в работу.

Для выполнения различных функций, связанных с работой ЭЭС и с возобновляемыми источниками, мощность и энергоемкость НЭ должны быть неодинаковыми, также, как и его быстродействие. Можно сконструировать НЭ имеющий различные составляющие, обладающие большим или меньшим быстродействием в зависимости от его природы. Например, возможна комбинация емкостного или электромагнитного НЭ с одновременным подключением гидроаккумулирующего или механического (инерционного) НЭ, либо применить литий-ионные или ванадиевые окислительно-восстановительные батареи совместно с суперконденсаторами или супермаховиками. Основные типы аккумулирующих систем приведены на рисунке, а их параметры в таблице 1 и 2 [3-4].

На настоящее время, в большинстве случаев системы аккумулирования применяются для технологий ВИЭ, работающих на энергии ветра или солнца. При рассмотрении системы аккумулирования (хранения) энергии с ВИЭ (например, с ветрогенератором), как правило учитывают два обстоятельства. Одно из них заключается в том, что колебания энергии ветра присутствуют на разных скоростях ветра, что требует от системы хранения энергии выравнивания графика выдаваемой мощности в разных временных диапазонах. Для поддержания статических и динамических нагрузок используют разные системы накопления энергии. В системах накопления энергии, работающих в статическом режиме, преимущественно применяют литий-ионные либо ванадиевые окислительно-восстановительные батареи, поскольку они могут обладать большой емкостью для поддержания выдаваемой мощности в заданном диапазоне. Системы накопления энергии, работающие преимущественно в динамическом режиме, используют суперконденсаторы либо супермаховики. Ввиду того, что колебания энергии ветра делятся на кратковременные и долговременные составляющие, для эффективного применения аккумулирующих устройств можно использовать двухуровневые системы хранения (литий-ионные батареи и суперконденсаторы, ванадиевые редокс батареи и супермаховики, и т.д.).

Нужно отметить, что число циклов заряд-разряда у химических источников хранения энергии варьирует от 500 до более, чем 12000 циклов, однако при сравнении с технологией хранения на базе суперконденсаторов, число заряд-разряда последних составляет более 100000 циклов.

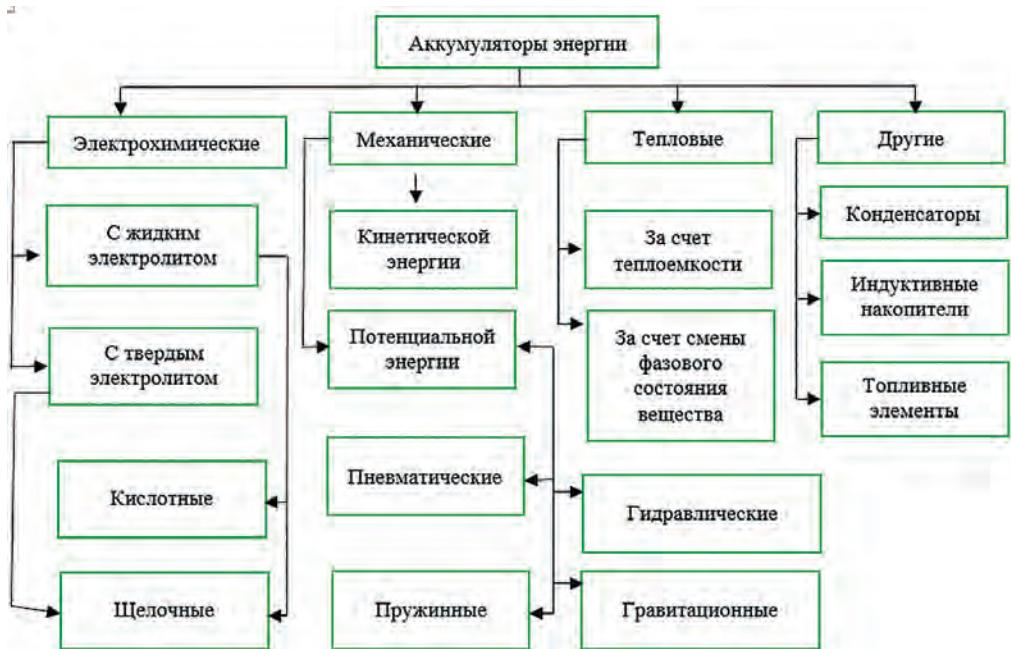


Рисунок – Типы аккумулирующих систем

Таблица 1 – Основные технические характеристики аккумуляторных технологий

| Тип                           | Литий-ионный          | Натрий-сернокислый   | Свинцово-кислотный   | Проточный                           | Воздушно-цинковый    |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Диапазон мощности             | от 1 кВт до 50 МВт    | от 0,5 кВт до 50 МВт | несколько МВт        | от нескольких кВт до нескольких МВт | до 10 МВт            |
| Энергетический диапазон       | До 10 МВт·ч           | До 350 МВт·ч         | До 10 МВт·ч          | 100 кВт·ч до нескольких МВт·ч       | до 40 МВт·ч          |
| Время разряда                 | 10 мин – 4 ч          | 6 ч – 7 ч            | Мин. >               | Несколько ч                         | 4 ч                  |
| Число циклов заряд-разряд     | 2000-10000            | 2000-5000            | 500-3000             | >                                   | 5000                 |
| Срок службы                   | 15-20 лет             | <15 лет              | 5-15 лет             | 10-20 лет                           | 15 лет               |
| Время реакции                 | Несколько мс          | Несколько мс         | Несколько мс         | Несколько мс                        | Несколько мс         |
| КПД                           | 90-98%                | 75-85%               | 75-85%               | 70-75%                              | 75%                  |
| Плотность энергии             | 120-180 Вт·ч/кг       | 100-120 Вт·ч/кг      | 25-35 Вт·ч/кг        | 10-25 Вт·ч/л                        | -                    |
| Капитальные затраты: энергия  | 390-1300 евро / кВт·ч | 400-600 евро / кВт·ч | 100-200 евро / кВт·ч | 100-400 евро / кВт·ч                | 160-250 евро / кВт·ч |
| Капитальные затраты: мощность | 150-1000 евро / кВт   | 3000-4000 евро / кВт | 100-500 евро / кВт   | 500-1300 евро / кВт                 | 1000 евро / кВт      |

Таблица 2 – Аккумулирующие системы и их характеристика

| Система   | Плотность энергии          |                            | Удельная стоимость, долл./МДж | Коэффициент отдачи энергии, %    |
|---|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|   | МДж/кг                     | МДж/л                      |                               |                                  |
| Тепловая с аккумулирование за счет процесса:<br>нагрева насыщенной и ненасыщенной жидкостью<br>нагрева твердым телом (чугун)<br>фазового перехода (пар при $p=15$ МПа)<br>сорбции | 0,2<br>0,05<br>2,2<br>0,25 | 0,2<br>0,4<br>0,02<br>0,29 | 0,01-0,35<br>5<br>0,1<br>0,5  | 70-90<br>50-90<br>60-70<br>70-80 |
| Электрическая:<br>конденсаторы<br>электромагниты  | -<br>-                     | $10^{-6}$<br>$10^{-3}$     | -<br>-                        | 70-80<br>90-95                   |
| Теплохимическая<br>Водородная при $p=15$ МПа  | 140                        | 1                          | 0,1-10                        | 40-60                            |
| Электрохимическая:<br>свинцово-кислотная<br>натрий-серная<br>литиево-титановая ( $Li/NiS_x$ )   | 0,1<br>0,65<br>0,48        | 0,29<br>350<br>-           | 10<br>10<br>10                | 70-80<br>70-80<br>70-80          |
| Механическая:<br>гидравлическая<br>инерционная<br>пневматическая (воздух при $p=2$ МПа)   | 0,001<br>0,05<br>0,02-2    | 0,001<br>0,15-0,40<br>2    | 13<br>20<br>3                 | 70-80<br>75-85<br>45-50          |

С учетом принятой мировым сообществом концепции по интеграции генерирующих объектов на основе ВИЭ с целью повышения уровня жизни населения, снижения негативного воздействия деятельности людей на окружающую среду и истощение запасов полезных ископаемых, используемых для углеводородного топлива, а также для выполнения решений, обеспечивающих экономический рост, сектор производства электроэнергии находится на пороге серьезной трансформации, вызванной в значительной степени все более широким использованием возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия. Хранение электроэнергии считается ключевой технологией, имеющей решающее значение для обеспечения этой трансформации. В данной статье представлен широкий взгляд на ценностное предложение для всех типов накопителей.

Проанализировав представленную информацию можно сделать вывод о том, что выбор оборудования накопителей энергии может зависеть от параметров электрической сети и/или возобновляемого источника генерации. Применяя накопители энергии можно аккумулировать электроэнергию, вырабатываемую от ВИЭ во время малых нагрузок, и генерировать в дневное время при пиковых нагрузках. Преимущество устройства накопителей энергии заключаются в возможности поддержания статических и динамических нагрузок электрической сети. Так же накопители энергии могут участвовать в накоплении электроэнергии из электросети в момент дефицита нагрузки потребителей. Также накопители энергии могут способствовать поддержанию организованной системы противоаварийного управления и этим содействовать предотвращению каскадных аварий, что является одной из главных проблем современной электроэнергетики.

Хранение является самым слабым звеном энергетической сферы, но является ключевым элементом для роста возобновляемых источников энергии. Когда источник энергии является прерывистым и расположен в изолированной области, которая не может быть подключена к распределительной сети, хранение становится критически важным. Эта потребность не столь очевидна, когда источник энергии подключен к сети — как это имеет место в случае с ветрогенераторами и фотоэлектрическими системами в промышленно развитых странах, — но хранение может стать неизбежным в будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. BloombergNEF [Electronic resources]. Access mode: <https://about.bnef.com/blog/when-the-going-gets-tough-for-asias-energy-transition/>.—Date of access: 02.03.2020.
2. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency. – Paris, 2014. – 238 с.
3. Арский, Ю. М. Экологическая экспертиза: Обзорная информация, выпуск №6 / Ю.М. Арский. – Москва: ВНИТИ, 2018. – 145 с.
4. Жарков, П. В. Перспективные технологии производства тепловой и электрической энергии/ П.В. Жарков, А. Ю. Маринченко и др. – Иркутск: ИРНИТУ, 2018. – 102 с.

## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СЕТИ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ ENERGY STORAGE, SMART GRID WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

***В. И. Красовский, П.В. Яцко***  
***V. Krasovsky, P. Yatsko***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*PavelYatsko@yandex.ru*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Возобновляемые источники энергии (далее – ВИЭ) становятся все более конкурентоспособными на энергетическом рынке. Вместе с ростом возобновляемых мощностей хранение (или накопление) электроэнергии считается в настоящее время ключевой технологией, обеспечивающей дальнейшее распространение ВИЭ. Повышение требований со стороны потребителей, надежность электроснабжения, экологичность и энергоэффективность требуют внедрения технологии интеллектуальных энергетических сетей (далее – ИЭС).

Renewable energy sources are becoming increasingly competitive in the energy market. Together with renewable capacities, storage (or accumulation) of electricity is currently considered as a key technology that ensures the further spread of RES. Increasing demands from consumers, reliability of power supply, environmental friendliness and energy efficiency require the introduction of the technology of smart energy grid.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии (ВИЭ), накопители энергии, аккумулирование энергии, электрические энергосистемы, интеллектуальные энергетические сети (ИЭС).