

## Разработка физико-технических принципов создания гибридных накопителей энергии для энергосистем различного уровня

Вараксин Алексей Юрьевич, член-корреспондент РАН  
Деньщиков Константин Константинович, доктор технических наук  
Объединенный институт высоких температур РАН, (г. Москва)

*Рассмотрены некоторые вопросы создания универсальных (гибридных) накопителей электроэнергии на основе современных устройств силовой электроники и суперконденсаторов нового поколения.*

**Ключевые слова:** универсальный (гибридный) преобразователь электроэнергии, статические преобразователи, суперконденсаторы, повышение качества электроснабжения, выдача активной мощности.

Стратегической целью инновационной и научно-технической политики в энергетике является создание устойчивой национальной инновационной системы в сфере энергетики для обеспечения российского топливно-энергетического комплекса высокоэффективными отечественными технологиями и оборудованием, научно-техническими и инновационными решениями в объемах, необходимых для поддержания энергетической безопасности страны.

Сегодня энергетический комплекс РФ имеет целый ряд проблем, обусловленных, в частности, дефицитом энергогенерирующих и сетевых мощностей в ряде регионов страны; неоптимальной структурой генерирующих мощностей с выраженным недостатком полупиковых и пиковых маневренных электростанций; снижением надежности электроснабжения вследствие высокого износа основных производственных фондов и отсутствия необходимых инвестиций для их масштабного и своевременного обновления; недостаточной пропускной способностью электрических сетей и высокими потерями в них.

В то же время, современная наука и новые технологические достижения дают возможность создать условия для прорыва объектов энергетики России на качественно новый уровень.

Принципиально новое качество достигается за счет включения в имеющиеся и создаваемые системы активных элементов, изменяющих свои характеристики под воздействием внешнего управления. Данное воздействие осуществляется адаптивными системами управления, которые реагируют на текущее состояние энергосистем и объектов, оптимизируя их состояние в нормальном режиме, а также предотвращая аварийные ситуации или локализуя их (в случае возникновения). По этой причине прорывные научно-технические энергосистемы, использующие указанные принципы, названы межотраслевыми системами с активно-адаптивными сетями (Smart Grids). Многие типы активных устройств, как в России, так и за рубежом уже созданы и опробованы, но их широкое применение сдерживается из-за отсутствия идеологии системного применения.

Одной из ключевых составляющих интеллектуальных (активно-адаптивных) электроэнергетических сетей являются системы обеспечения качества электроснабжения, физико-технические основы которых будут разработаны в рамках настоящей работы.

Впервые в мире в рамках настоящей работы будет разработана технологическая платформа для интеллектуальных (активно-адаптивных) электроэнергетических систем, позволяющая создать основу для производства большого номенклатурного ряда устройств для энергосистем различного уровня, обеспечивающих высокое каче-

ство электроснабжения в широком диапазоне мощностей, рабочего напряжения и продолжительности работы. В основе предлагаемого инновационного решения является совместное использование различных накопителей энергии (кратковременных и долговременных) и устройств силовой электроники, обеспечивающих маневренность всей системы в условиях различных воздействий, а также обеспечить резервное питание конечных и ответственных потребителей.

Инновационность подхода заключается в совместном использовании имеющегося задела в области разработки и создания наборных суперконденсаторов нового поколения с уникальными электроэнергетическими характеристиками; гибридных накопителей энергии на базе долговременных накопительных систем — аккумуляторов [1, 2] и кратковременных накопительных систем — батарей суперконденсаторов [3]; высоковольтных транзисторных вентилялей и различных устройств сопряжения с сетью.

**Универсальный (гибридный) преобразователь электроэнергии.** Создаваемый в рамках настоящей работы гибридный (сочетающий в себе устройства силовой электроники и накопители энергии) накопитель энергии по своим функциональным возможностям (регулирование и стабилизация напряжения сети, компенсация гармонических искажений, симметрирование напряжения сети, резервирование питания) не имеет аналогов в мире [4].

Универсальный (гибридный) накопитель энергии состоит из преобразователя напряжения (ПН), накопителя энергии (НЭ) и системы управления (СУ). Преобразователь напряжения, в качестве которого выступает статический компенсатор реактивной мощности, осуществляет функции регулятора напряжения сети, симметрирования напряжения сети, активной фильтрации гармонических составляющих напряжения и тока, а также функции выпрямителя и инвертора для обслуживания накопителя энергии. Накопитель энергии, в качестве которого выступает батарея суперконденсаторов, предназначен для кратковременной выдачи активной мощности в случае исчезновения напряжения сети. Система управления осуществляет управление и защиту ПН и НЭ.

**Новое поколение суперконденсаторов для батарей накопителей универсального (гибридного) преобразователя электроэнергии.** Накопители аномального количества энергии - суперконденсаторы на двойном электрическом слое Гельмгольца обладают следующими уникальными характеристиками:

- плотность электрической емкости до 260 Ф/г;
- плотность электрической энергии до 50 Дж/см<sup>3</sup>;
- внутреннее сопротивление до 0,0001 Ом;
- время заряда и разряда в диапазоне 0,025-5,0 сек.;
- малый ток утечки (возможность хранения заряда в течение сотен часов).

Экспериментальные исследования разработанного в ОИВТ РАН суперконденсатора нового поколения [3–5] показали:

- впервые в мировой практике обосновано и экспериментально подтверждено использование нетоксичного органического электролита на основе чистой ионной жидкости для использования в наноструктурированных наборных суперконденсаторах;

- на основании проведенных исследований был разработан и изготовлен опытный промышленный образец наноструктурированного наборного суперконденсатора с нетоксичным органическим электролитом на основе чистой ионной жидкости;

- удельная запасенная энергия такого суперконденсатора более чем в 10 раз выше аналогичного параметра существующих наборных суперконденсаторов с электролитом на основе водного раствора гидроксида калия;

- батарея из разработанных суперконденсаторов для системы накопления энергии гибридного автобуса весит в 3 раза меньше, чем аналогичная батарея из существующих наборных суперконденсаторов;

- разработанный суперконденсатор будет положен в основу разработки модельного ряда наноструктурированных наборных суперконденсаторов нового поколения.

**Преимущества универсального (гибридного) накопителя энергии.** Ключевыми преимуществами создаваемого гибридного накопителя энергии являются [4]: 1) модульность; 2) многофункциональность; 3) невысокая стоимость за счет применения оптимальных схемотехнических решений и максимально возможного использования отечествен-

ной элементной базы; 4) возможность гибкой подстройки технических характеристик гибридного накопителя энергии под индивидуальные требования заказчика; 5) дешевизна в обслуживании и меньшие габариты по сравнению с имеющимся оборудованием, выполняющим лишь отдельные функции и закупаемом у различных производителей.

Разрабатываемый гибридный накопитель энергии является лишь одним из устройств в планируемом широком модельном ряде активно-адаптивных устройств (различной мощности, рабочего напряжения и продолжительности работы), применяемых при решении целого спектра задач (повышение качества энергоснабжения и надежности, покрытие пиковых нагрузок, резервный источник электропитания, интеграция с генерирующим оборудованием распределенной энергетики и др.) в энергосистемах различного уровня, что предопределяет актуальность их развития для современной энергетики РФ и их глобальную конкурентоспособность.

Опыт разработки гибридного накопителя энергии, приобретаемый в рамках настоящей работы, позволит в дальнейшем создать научно-технический задел для производства большого номенклатурного ряда устройств, в основе работы которых лежит инновационная идея совместного использования различных накопителей энергии (кратковременных и долговременных) и устройств силовой электроники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.604.21.0178, уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI60417X0178).

#### Литература:

1. Сон Э.Е., Деньщиков К.К., Жук А.З., Новиков А.Н., Новиков Н.Л. Гибридная система накопления энергии // Энергоэксперт. 2017. № 4. С. 47—53.
2. Деньщиков К.К., Жук А.З., Фортон В.Е., Шейндлин А.Е. Гибридный накопитель электроэнергии // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 2. С. 2—10.
3. Деньщиков К.К., Жук А.З., Герасимов А.Ф., Голиков М.В. Суперконденсаторы в современной энергетике // Известия РАН. Энергетика. 2011. № 5. С. 125—131.
4. Варакин А.Ю., Деньщиков К.К. Гибридный накопитель энергии с использованием статических компенсаторов реактивной мощности и суперконденсаторов для обеспечения качества электроснабжения потребителей нефтегазовой индустрии // Евразийское научное объединение. 2017. Т. 1. № 12(34). С. 40—41.
5. Деньщиков К.К., Жук А.З., Чайка М.Ю., Шубзда Б. Композитная углеродная лента для электродов суперконденсаторов // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2015. № 21. С. 207—215.