

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0153 от 26 сентября 2017 г. Тема проекта: Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию модулей гибридных накопителей электроэнергии для мультиплицирования при построении сетевых гибридных накопителей энергии мегаваттного диапазона.

В ходе проведения прикладных научных исследований на этапе 1 по Соглашению о предоставлении субсидии от «26» сентября 2017 г. № 14.574.21.0153 по теме «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию модулей гибридных накопителей электроэнергии для мультиплицирования при построении сетевых гибридных накопителей энергии мегаваттного диапазона» получены следующие научно-технические результаты:

1) Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ. Обзор показал, что на данный момент большинство сетевых накопителей выполняются на базе аккумуляторных батарей, однако благодаря объединению литий-ионной технологий и технологии суперконденсаторов можно получить выдающиеся энергетические характеристики, снизить стоимость и продлить срок эксплуатации накопителей. Проведенный аналитический обзор подтвердил актуальность научно-технической проблемы и необходимость проведения ПНИ.

2) Проведены патентные исследования в соответствии ГОСТ Р 15.011-96. Регламент при поиске не изменялся. Количество охранных документов, отобранных для рассмотрения в патентных исследованиях: 20 шт. Глубина поиска составила 10 лет. Патентные исследования позволили выявить технический уровень разработки и основные тенденции в этой области.

3) Анализ возможных методов накопления энергии для использования в накопителях мегаваттного диапазона. Были рассмотрены следующие

технологии: гидроаккумулирующие электростанции, пневмоаккумулирующие установки, маховичные и электрохимические накопители. Среди электрохимических накопителей рассматривались: свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, серно-натриевые, проточные и литий-ионные батареи, топливные элементы и суперконденсаторы. Были рассмотрены достоинства и недостатки каждой из технологий, проведено сравнение их экономических, удельных энергетических и электрических характеристик. Наиболее гибким и универсальным решением является использование гибридных накопителей электроэнергии, совмещающих достоинства различных технологий. Несмотря на относительно высокую стоимость, гибридная система с литий-ионными батареями и суперконденсаторами может обеспечить необходимую надежность, эффективность и экономичность.

4) Проведен анализ современных технологий и путей развития свинцовых и литий-ионных аккумуляторов с различными электрохимическими схемами.

Технологии свинцовых батарей достаточно хорошо развиты и могут успешно применяться в гибридных накопителях энергии большой мощности. Производители предлагают ряд разнообразных устройств, отличающихся эксплуатационными характеристиками, среди которых есть как обслуживаемые, с жидким электролитом, так и необслуживаемые, герметизированные, с гелевым электролитом. Свинцово-кислотные аккумуляторы обладают удельной энергоемкостью 30-50 кВтч/кг, стоимостью на уровне 120-300 долларов США за кВтч, достигают КПД до 80% и достигают срока службы до 1000-1500 циклов.

Литий-ионные батареи имеют значительно более высокие удельную мощность и энергоемкость (до 190 Втч/кг), характеризуются высоким разрядным напряжением (3,4-4 В и более, в зависимости от используемых электродных материалов), очень низким саморазрядом (менее 3% в месяц) и длительным сроком службы (более 1000 циклов). В зависимости от материалов и конструкции эти аккумуляторы могут работать в интервале

температур от -40 до $+80$ °С и разряжаться токами более 100Сн. При этом с развитием новых технологий происходит постоянное снижение их стоимости.

5) Проведен анализ современных технологий и путей развития двойнослойных и псевдоемкостных суперконденсаторов и выбор оптимальных структур для использования в накопителях энергии мегаваттного диапазона. Поскольку суперконденсаторы непосредственно хранит электрическую энергию, процесс зарядки и разрядки происходит очень быстро и эффективно. Типичный КПД суперконденсаторов составляет около 95%, а также они имеют длительный срок службы, который может достигать 200 000 циклов. Удельная энергоемкость суперконденсаторов, напротив, очень низкая (до 5 Втч/кг).

6) Разработаны критерии эффективности применения аккумуляторов в гибридных накопителях и выбор оптимальных структур для использования в гибридных накопителях энергии мегаваттного диапазона. На выбор оптимальной конструкции могут влиять удельные и массогабаритные показатели, такие как удельная энергоемкость и удельная мощность аккумуляторов, время реакции и скорости заряда/разряда. На эффективность применения выбранного типа аккумуляторов в составе гибридных сетевых накопителей влияют КПД цикла заряд/разряд и частичных циклов, скорость саморазряда в заряженном состоянии, а также допустимый уровень разряда аккумуляторов. Важным критерием является надежность как самих аккумуляторных батарей, так и всей системы в целом. Исходя из оценки необходимой мощности, энергоемкости, длительности автономной работы, системного КПД, удельной стоимости, и срока службы элементов, можно провести оценку экономической эффективности использования выбранного типа аккумуляторов в составе гибридных сетевых накопителей электроэнергии мегаваттного диапазона мощности и рентабельности проекта.

7) проведено обоснование метода гибридизации при создании накопителей на основе аккумуляторов, суперконденсаторов и статических

преобразователей для разработки оптимальных схем построения накопителей энергии различных применений. Был представлен обзор схем гибридизации электрических накопителей, обсуждались преимущества каждой схемы и их недостатки. Несмотря на относительно высокую стоимость силовых преобразователей, параллельная активная гибридная схема является наиболее предпочтительной для применения в качестве ГНЭ для энергетических систем из-за высокой гибкости управления.

8) Разработана имитационная компьютерная модель гибридного сетевого накопителя энергии, обеспечивающая моделирование работы электрохимических накопителей энергии с различными электрохимическими схемами, моделирование работы суперконденсаторов различных конструкций, моделирование работы системы управления, контроля и балансировки элементов накопителей энергии, моделирование работы статического преобразователя при параллельной работе с сетью бесконечной мощности, моделирование работы статического преобразователя при параллельной работе в локальной, изолированной электросети с плавающим графиком нагрузки, моделирование работы статического преобразователя при работе на автономную нагрузку.

9) Проведены предварительные расчетные исследования. Моделировались режимы параллельной работы с сетью бесконечной мощности, параллельной работы в локальной, изолированной электросети с плавающим графиком нагрузки, работы на автономную нагрузку. Результаты расчетов показали адекватность разработанных моделей и алгоритмов управления. При изменении нагрузки сети происходит перераспределение потоков мощности между модулями аккумуляторов и суперконденсаторов. Примененные решения требуют продолжения разработки на последующих этапах ПНИ.

10) Разработаны уточненные технических требований на макет ГНЭ. Технические требования описывают применение макета ГНЭ, а также

содержат требования к исполнению, составу, компонентам, программному обеспечению, надежности, безопасности и пр.

11) Разработаны уточненные технические требования на экспериментальный стенд для исследования ГНЭ. Технические требования описывают применение экспериментального стенда для исследования ГНЭ, а также содержат требования к элементам стенда, средствам измерения, условиям и режимам эксплуатации, безопасности и пр.

12) Разработаны предварительные алгоритмы работы ГНЭ. Управление разделением потоков мощности между модулем аккумуляторных батарей и модулем суперконденсаторов выполняется с использованием низкочастотного фильтра и блока ограничения скорости изменения. Таким образом, модуль аккумуляторных батарей участвует в обеспечении медленно изменяющейся мощности, а модуль суперконденсаторов воспринимает быстрые высокочастотные изменения. Благодаря этому методу должно обеспечиваться увеличение срока службы аккумуляторных батарей и снижение стоимости эксплуатации ГНЭ.

13) Обоснована и выбрана схемы построения экспериментального стенда для исследования ГНЭ и его компонентов. Разработанная схема обеспечивает испытания модуля аккумуляторов и его системы контроля и балансировки, испытания модуля суперконденсаторов и его системы контроля и управления, испытания двунаправленных статических преобразователей, моделирование возможных возмущений на объектах испытания, автоматизированную систему проведения экспериментальных исследований, непрерывную регистрацию параметров работы испытуемых объектов.

14) Подготовлена и опубликована научная статья Khripach N., Parkin B., Petrichenko D. A Review of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage System Schemes for Power Systems Applications. Internal Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET). Vol. 8, Issue 10, October 2017, pp. 699-707. ISSN Print: 0976-6340 and ISSN Online: 0976-6359, в зарубежном научном

журнале Internal Journal of Mechanical Engineering & Technology (IJMET), который индексируется в базе данных Scopus.

15) Было принято участие в двух мероприятиях по демонстрации и популяризации результатов исследований, а именно:

- в Международной научно-практической конференции "Интеллектуальные технологии и техника в производстве и промышленности". Конференция проходила 18 октября 2017 г. на территории Центра развития научного сотрудничества, г. Омск;

- в Международной научно-практической конференции "Технические науки на службе созидания и прогресса". Конференция проходила 1 декабря 2017 г. на территории НИЦ АЭТЕРНА, г. Самара.

16) Подана заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Программное обеспечение для моделирования работы сетевого гибридного накопителя энергии на базе электрохимических аккумуляторов и суперконденсаторов».

Прикладные научные исследования на этапе 1 по теме «Разработка и экспериментальная апробация научно-технических решений по созданию модулей гибридных накопителей электроэнергии для мультиплицирования при построении сетевых гибридных накопителей энергии мегаваттного диапазона» по Соглашению о предоставлении субсидии от «26» сентября 2017 г. № 14.574.21.0153 соответствуют техническому заданию, плану-графику исполнения обязательств, выполнены в полном объеме и в установленные сроки. Задачи, поставленные на отчетном этапе, решены в полном объеме. Цель этапа достигнута.