

**Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

**Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)**  
14.604.21.0126

**Название проекта**

Разработка научных основ создания литий-ионного аккумулятора на основе новых отечественных электродных функциональных материалов

**Тематическое направление**

Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

**Исполнитель**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

**Цели и задачи исследования**

Цель исследования - создание литий-ионного аккумулятора с улучшенными энергетическими и эксплуатационными показателями на основе новых отечественных материалов для портативных накопителей энергии военного и гражданского применения.

Основными задачами проекта являются синтез новых функциональных материалов для положительного и отрицательного электродов литий-ионного аккумулятора, а также разработка лабораторного макета литий-ионного аккумулятора на основе новой электрохимической системы.

**Актуальность и новизна исследования**

Актуальность. Отсутствие отечественных материалов для производства литий-ионных аккумуляторов является серьёзным сдерживающим фактором для технологического развития России. Освоение отечественного производства новых катодных и анодных материалов, а также новых технологий изготовления электродов будет способствовать налаживанию отечественного производства литий-ионных аккумуляторов с улучшенными показателями по удельной энергоёмкости, скорости заряда-разряда, ресурсу, безопасности, стабильности разрядного напряжения и работоспособности при пониженных температурах. Новизна. Все существующие производства в России ориентированы на выпуск литий-ионных аккумуляторов традиционной электрохимической системы (кобальтат лития - графит). Такие аккумуляторы имеют напряжение 3.6 В и энергоёмкость не выше 160 Втч/кг. Недостатком таких аккумуляторов является неспособность работы при форсированных зарядах без потери ёмкости, нестабильное разрядное напряжение и высокий риск воспламенения из-за высокого зарядного напряжения, а также использование импортных материалов и комплектующих. Новые электродные материалы на основе наноструктурированных феррофосфата лития, тройного оксида лития, нанотитаната лития и кремниевых композитов позволят выйти на новый уровень литий-ионных аккумуляторов как по удельным, так и по эксплуатационным характеристикам. Такие аккумуляторы будут характеризоваться удельной энергоёмкостью до 230 Втч/кг, а также способностью работать при пониженных температурах (до минус 40 оС), а также высоким ресурсом (до 2000 циклов).

## Описание исследования

Необходимость выполнения данного исследования диктуется возросшими требованиями к перезаряжаемым источникам тока, иными словами, характеристики современных источников тока уже недостаточны для эффективного питания современных электронных приборов. Кроме того, в настоящее время появляются новые области применения аккумуляторов, требующие повышенных мощностных и емкостных характеристик. Здесь следует упомянуть, в первую очередь, интеллектуальные электросети (smart grids), как кардинальный путь повышения энергоэффективности стационарной энергетики. Развитие интеллектуальных энергосетей сдерживается именно отсутствием достаточно эффективных накопителей электроэнергии, способных выдерживать кратковременные повышенные токи нагрузки, и имеющих достаточно длительный циклический ресурс. Современная высокотехнологичная медицинская техника нуждается в миниатюрных источниках питания повышенной энергоёмкости, но ограниченного циклического ресурса. Развитие современного высокоинтеллектуального вооружения и военной техники также требует создания перезаряжаемых источников тока с улучшенными емкостными и эксплуатационными характеристиками. Удельная энергия любого аккумулятора определяется удельной ёмкостью активных веществ положительного и отрицательного электродов, напряжением аккумулятора и эффективностью конструкции. Практическая энергоёмкость аккумулятора всегда меньше теоретической величины за счет массы вспомогательных деталей (подложки электродов, сепаратор, электролит, корпус аккумулятора, токовыводы, добавки в активные массы), а также потери части напряжения из-за внутреннего сопротивления аккумулятора. Как правило, практическая удельная энергия в номинальном режиме разряда составляет примерно половину от теоретического значения. Традиционная электрохимическая система литий-ионного аккумулятора, выпускаемая с 1991 г (кобальтат лития – графит), по показателю удельной энергоёмкости приближаются к своему теоретическому пределу. Таким образом, дальнейшее совершенствование литий-ионных аккумуляторов возможно только при создании аккумуляторов на новых электрохимических системах, т.е. с новыми более энергоёмкими материалами положительного и отрицательного электродов. Кроме того, целесообразно проводить работы в двух направлениях – разработка литий-ионных аккумуляторов обладающих повышенной емкостью и аккумуляторов, способных работать при высоких мощностных нагрузках. Перспективными материалами положительного электрода являются тройной литированный оксид состава  $\text{LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ , обладающий высоким разрядным напряжением и повышенной разрядной ёмкостью, а также допированные никелем феррофосфаты лития, в частности, материал состава  $\text{LiFe}_{0.9}\text{Ni}_{0.1}\text{PO}_4$ , способные работать при повышенных плотностях тока. Перспективными материалами отрицательного электрода являются нанотитанаты лития ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ), способные выдерживать высокие токи разряда и кремнийсодержащие композиты (Si/C), обладающие высокой емкостью.

## Результаты исследования

В результате проведения прикладной научно-исследовательской работы были разработаны методы синтеза новых функциональных материалов для положительного (на основе допированного феррофосфата лития и тройного литированного оксида) и отрицательного (на основе нанотитаната лития и

кремнийсодержащего композита) электродов литий-ионного аккумулятора. Все синтезированные материалы были охарактеризованы с помощью физико-химических и электрохимических методов исследования. На основе разработанной эскизной конструкторской документации были изготовлены экспериментальные образцы аккумуляторов номинальной ёмкостью 1 Ач двух новых электрохимических систем: «допированный феррофосфат лития-нанотитанат лития» и «тройной литированный оксид-кремнийсодержащий композит». Были проведены циклические испытания, которые показали, что аккумуляторы системы «допированный феррофосфат лития-нанотитанат лития» характеризуются устойчивым циклированием при напряжении 1.8 В и низкой деградацией, не превышающей 0.02% за цикл. Аккумуляторы системы «тройной литированный оксид-кремнийсодержащий композит» характеризуются высоким напряжением (около 3.6 В), однако деградация составляет от 0.025 до 0.05 % за цикл. Установлено, что удельная энергоёмкость аккумуляторов системы «допированный феррофосфат лития-нанотитанат лития» составила около 110 Втч/кг. Удельная энергоёмкость аккумуляторов системы «тройной литированный оксид-кремнийсодержащий композит» составила около 230 Втч/кг. Циклические испытания экспериментальных образцов литий-ионных аккумуляторов при пониженных температурах показали, что при температуре минус 40 °С разрядная ёмкость составляет около 25% от номинального значения. Общее количество циклов заряда-разряда при токе циклирования 1С составило 1000 циклов для аккумулятора системы «допированный феррофосфат лития-нанотитанат лития» и 500 циклов для аккумулятора системы «тройной литированный оксид-кремнийсодержащий композит». Разработанные литий-ионные аккумуляторы на основе «тройной литированный оксид-кремнийсодержащий композит» характеризуются удельной энергоёмкостью превышающей удельную энергоёмкость большинства коммерческих литий-ионных аккумуляторов. Литий-ионные аккумуляторы системы «допированный феррофосфат лития-нанотитанат лития» при достаточно скромных показателях удельной энергоёмкости (из-за низкого разрядного напряжения) характеризуются высокими значениями удельной мощности, достигающие значений 1 кВт/кг.

### **Практическая значимость исследования**

Результаты работы будут востребованы в ОАО «Чеченнефтехимпром» (индустриальный партнер), которое в августе 2016 в г. Грозный запустило в промышленную эксплуатацию первую очередь завода по производству литий-ионных аккумуляторов общей мощностью 30 МВтч в год. На заводе запланировано создание высокотехнологичного производства наноматериалов по патентованной российской технологии мощностью 200 тонн в год, производство систем сохранения электрической энергии, накопителей электроэнергии, батарей для электромобилей и нужд МО и МЧС, бытовой техники, а также открытие научной лаборатории для внедрения новых разработок.