

## О ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА ПО СОГЛАШЕНИЮ СГТУ ИМЕНИ ГАГАРИНА Ю.А. И МИНОБРНАУКИ РФ

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 17 июня 2014 г. № 14.574.21.005 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» на этапе № 3 в период с 01 июля 2015 г. по 31 декабря 2015 г. выполнялись следующие работы:

1. Изготовление экспериментальных образцов сенсорных элементов для проведения стендовых испытаний в составе емкостных датчиков давления на основе нанокompозитных диэлектриков, адаптированных для проведения стендовых испытаний емкостных датчиков давления в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации.

2. Анализ результатов стендовых испытаний.

3. Корректировка лабораторного регламента изготовления экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов емкостных датчиков давления на основе нанокompозитных диэлектриков.

4. Проведение рекомендаций и предложений по использованию результатов ПНИ в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

5. Проведение технико-экономической оценки результатов ПНИ.

6. Проведение стендовых испытаний прототипов емкостных датчиков давления, созданных с использованием экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов, содержащих нанокompозитные диэлектрики, в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации (стендовые испытания на базе предприятия – индустриального партнера с определением чувствительности, пределов измерения, предельной величины суммарной погрешности, величины перегрузочного давления, электромагнитной совместимости, устойчивости к воздействию электромагнитных полей, устойчивости к температурным воздействиям).

7. Разработка проекта ТЗ на ОКР по разработке высокочувствительного датчика давления на основе нанокompозитных диэлектриков с широким диапазоном условий эксплуатации.

При этом получены следующие результаты:

Изготовлены экспериментальных образцов сенсорных элементов для проведения стендовых испытаний в составе емкостных датчиков давления на основе нанокompозитных диэлектриков, адаптированных для проведения стендовых испытаний емкостных датчиков давления в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации. В изготовлении экспериментальных образцов использовались дисперсии двух составов, отобранных в результате исследовательских испытаний экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов емкостных датчиков давления, проведенных на 2-ом этапе ПНИ:

№1 – нанокompозитный диэлектрик в виде ПТК-Fe (950 °C), обработанного катионным ПАВ, диспергированный в диоктилфталате;

№2 – нанокompозитный диэлектрик в виде ПТК-Fe (950 °C), обработанного катионным ПАВ, диспергированный в смеси диоктилфталата и ацетилацетоната железа (III).

Предприятием-индустриальным партнером проведены стендовые испытания прототипов емкостных датчиков давления, созданных с использованием экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов, содержащих нанокompозитные диэлектрики, в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации на испытательном стенде № 3 инв. № 1645506 ис. 01/3, оборудованном системой подачи сжатого воздуха под давлением, климатической камерой, а также генератором электромагнитных полей.

Анализ результатов стендовых испытаний показал, что протестированные образцы по своим техническим характеристикам соответствуют требованиям ТЗ: обеспечивают измерение давления в диапазоне от 0,2 до 40 кГс/см<sup>2</sup>; соответствуют требованиям электромагнитной совместимости; имеют пределы регистрируемого изменения емкости при максимальном изменении расстояния между электродами 25-38 пФ и предельной величине суммарной погрешности менее 1% от минимально измеряемой величины; сохраняют рабочие характеристики при воздействии внешних факторов (температуры, вибраций, перегрузочного давления, электромагнитных полей высокой интенсивности).

На основании результатов исследовательских и стендовых испытаний прототипов емкостных датчиков давления, созданных с использованием экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов, содержащих нанокompозитные диэлектрики, скорректирован лабораторный регламент изготовления экспериментальных образцов высокочувствительных сенсорных элементов емкостных датчиков давления на основе нанокompозитных диэлектриков.

Подготовлены рекомендации и предложения по использованию результатов ПНИ в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках, в частности при создании высокочувствительных датчиков измерения физических величин, чувствительность которых зависит от точности измерения емкости, сформированной подвижным и неподвижным электродами (датчики абсолютного и относительного давления, а также датчики перемещения и ускорения) и в образовательном процессе.

Проведена технико-экономическая оценка результатов ПНИ.

Предприятием-индустриальным партнером разработан проект ТЗ на ОКР по разработке высокочувствительного датчика давления на основе нанокompозитных диэлектриков с широким диапазоном условий эксплуатации.

По результатам исследований опубликовано и принято к опубликованию в очередных номерах 5 статей в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science, в том числе:

1. Gorokhovskii A.V., Goffman V.G., Gorshkov N.V., Tret'yachenko E.V., Telegina O.S., Sevryugin A.V. Electrophysical properties of ceramic articles based on potassium polytitanate nanopowder modified by iron compounds // *Glass Ceram.* 2015. V. 72. No 1-2. P. 54-56.

2. Goffman V.G., Gorokhovskiy A.V., Gorshkov N.V., Fedorov F.S., Tret'yachenko E.V., Sevryugin A.V. Data on electrical properties of nickel modified potassium polytitanates compacted powders // *Data in Brief.* 2015. V. 3. P. 193-198.

3. Kosobudskii I.D., Gvozdev G.A., Fedorov F.S., Nikitina L.V., Zhimalov A.B., Bondareva L.N., Gorina I.N. Mechanochemical activation of sand in the ag-2 centrifugal-planetary mill // *Glass and Ceramics* . 2015. V. 72. No 5-6. P. 199-202.

4. Гороховский А.В., Горшков Н.В., Бурмистров И.Н., Гоффман В.Г., Третьяченко Е.В., Севрюгин А.В., Федоров Ф.С., Ковынева Н.Н. Исследование дисперсий нанопорошков сегнетоэлектриков в диоктилфталате в качестве рабочих сред емкостных электронных компонентов // *Письма в ЖТФ (Technical Physics Letters)*. 2016. Т. 42. № 7. (принята в печать, № 8, 2016).

5. Гороховский А.В., Третьяченко Е.В., Гоффман В.Г., Горшков Н.В., Федоров Ф.С., Севрюгин А.В. Синтез и диэлектрические свойства керамики на основе сложных титанатов калия, имеющих структуру голландита // *Неорганические материалы (Inorganic materials)*. 2016. Т. 52. № 6 (принята в печать № 6, 2016).

Получен 1 патент РФ на изобретение № 2 565 688 от 06.11.2015 «Состав и способ получения полимерного протонпроводящего композиционного материала» / Гоффман В.Г., Гороховский А.В., Горшков Н.В., Слепцов В.В., Федоров Ф.С., Третьяченко Е.В. (свидетельство о государственной регистрации № 2014144455/071745 от 06.11.2014).

Подана в Роспатент еще 1 заявка на изобретение (свидетельство о государственной регистрации заявка № 2015125993 от 30.06.2015) на выдачу патента на изобретение «Жидкий композитный диэлектрик» / Гороховский А.В., Горшков Н.В., Бурмистров И.Н., Федоров Ф.С., Третьяченко Е.В., Севрюгин А.В., Викулова М.А., Ковалева Д.С.

Результаты ПНИ были представлены на обсуждение в виде докладов в ходе следующих научных конференций:

1. Федоров Ф.С., Шиндров А.А., Гороховский А.В., Гоффман В.Г., Слепцов В.В., Третьяченко Е.В. Электрофоретическое формирование покрытий на основе модифицированного полититаната калия // III Международная научно-практическая конференция «Теория и практика современных электрохимических производств», 17-19 ноября 2014 г., г. Санкт-Петербург.

2. Ф.С. Федоров, В.В. Колесниченко, И. Киселев, А.С. Варезников, И.Н. Бурмистров, А.В. Гороховский, В.В. Сысоев Исследование отклика газового сенсора на основе полититаната калия с помощью спектроскопии импеданса // Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014», 25-26 сентября 2014 г., г. Саратов.

3. Fedorov F.S., Varezhnikov A.S., Kolesnichenko V.V., Burmistrov I.N., Gorokhovskiy A.V., Sysoev V.V. A new gas-analytical device concept via implementation of impedance spectroscopy // Международная IEEE-Сибирская конференция по управлению и связи, SIBCON-2015, 21-23 мая 2015 г., г. Омск. Секция 8. Доклад 8-54.

4. Gorokhovskiy A.V., Tretyachenko E.V., Zimnyakov D.A., Goffman V.G., Vikulova M.A., Kovaleva D.S. Synthesis of heterostructured nanoparticles with regulated structure and properties based on layered potassium polytitanates // XXIV International Materials Research Congress 2015, 15-20 августа 2015 г., г. Канкун. Мексика.

Результаты, полученные при выполнении работ по ПНИ, были использованы исполнителями проекта при написании 2 диссертационных работ, успешно прошедших защиту на диссертационном совете Д 212.242.09 (смотри информацию на сайте <http://www.sstu.ru/aspirantu/dissertation/>):

1. Бурмистров И.Н. Разработка научных основ синтеза и модификации титанатов калия и технологии полимерматричных композитов на их основе / Диссертация на соискание ученой степени д.т.н., Саратов, СГТУ имени Гагарина Ю.А., 25.12.2015. (Автореферат: <http://www.sstu.ru/upload/iblock/95e/avtoreferat-burmistrov.pdf>)

2. Орозалиев Э.Э. Фотокаталитические покрытия на основе поливинилбутираля и модифицированного полититаната калия. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Саратов, СГТУ имени Гагарина Ю.А., 20.11.2015. (Автореферат: <http://www.sstu.ru/upload/iblock/ad7/avtoreferat-orozaliev.pdf>)

Анализ полученных результатов и выводов позволяет сделать заключение о том, что задачи проекта выполнены в полном объеме. Проведенные работы носят характер поискового научного исследования, связанного с изучением процессов синтеза ультрадисперсных нанопорошков и нанокompозитных дисперсий на их основе, а также поиском технических решений, обеспечивающих их использование при создании высокочувствительных сенсорных элементов емкостных датчиков давления, существенно превосходящих известные технические решения в этой области. Все экспериментальные результаты, полученные в ходе работ по проекту, являются принципиально новыми и не имеют аналогов, поскольку связаны с исследованием новых видов нанокompозитных материалов и устройств, использующих их в своем составе в качестве активных сред.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.