**Прикладные научные исследования и экспериментальные разработки в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»**

**Проект:** Разработка базовой линейки отечественных интеллектуальных сенсоров давления с целью импортозамещения при построении высокотехнологичных систем управления и автоматизации

**Соглашение с Министерством образования и науки Российской Федерации** № 14.578.21.0125 от 27.10.2015г. на период 2015 - 2017 гг.

**Руководитель проекта**: заведующий кафедрой магнетизма и магнитных наноматериалов ИЕН УрФУ, д. ф.-м.н., профессор Васьковский Владимир Олегович

**Цели и задачи проекта**

Разработка прототипа базовой линейки отечественных интеллектуальных сенсоров давления с целью импортозамещения при построении высокотехнологичных систем управления и автоматизации, в том числе:

1) разработка прототипов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала;

2) разработка прототипов высокотемпературных сенсоров избыточного давления;

3) разработка отечественной специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров с мостовой схемой получения сигнала, встраиваемой в конструкцию сенсоров абсолютного и избыточного давлений.

**Партнеры проекта**

АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова» - одно из крупнейших предприятий России в области разработки и изготовления систем управления и радиоэлектронной аппаратуры для ракетной и космической техники, а также для автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности, индустриальный партнер проекта.

ООО «ОКБ «ВИП» - малое инновационное предприятие, соисполнитель проекта ПНИЭР.

**Результаты исследовательской работы, полученные в 2015 г.**

**Выполненные работы**

1. Аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы в области разработки интеллектуальных сенсоров.

2 Сравнительная оценка эффективности возможных направлений исследований.

3. Анализ характеристик существующих сенсоров, сбор и анализ требований потребителей.

4. Разработка вариантов возможных решений задач, выбор и обоснование оптимального варианта решения задач.

5. Проведение патентных исследований.

6. Разработка частного технического задания на встроенное программное обеспечение сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

7. Разработка частного технического задания на алгоритмы характеризации сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

8. Разработка математической модели специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров абсолютного и избыточного давлений на языке Verilog.

9. Проведение оценочного математического моделирования специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров абсолютного и избыточного давлений.

10. Проведение теоретических исследований стойкости элементов конструкции сенсоров к воздействию высоких температур.

**Полученные результаты**

1. Выполнен аналитический обзор научно-технической литературы, нормативно-технической документации и других материалов в области разработки интеллектуальных сенсоров;

2. Проведены патентные исследования по ГОСТ Р 15.011-96, по результатам которых сформулированы выводы об актуальности ПНИЭР и возможности дальнейшей коммерциализации разработанных научно-технических результатов.

3. Выполнено исследование, обоснование и выбор методов и средств, направлений исследований и способов решения поставленных задач. Было определено, что наилучший результат будет достигнут комплексом методов, включающих как методы математического моделирования, так и натурные испытания.

4. Проведена сравнительная оценка вариантов возможных решений исследуемой проблемы с учетом результатов прогнозных исследований, проводившихся по аналогичной тематике. Прогнозные исследования, проводившиеся по аналогичным темам, показали, что разработка должна решать проблему нормализации выходного сигнала сенсора давления; повышение температуры эксплуатации датчиков давления, проблему измерения абсолютного давления.

5. Проведено исследование стойкости элементов конструкции сенсоров к воздействию высоких температур, позволившем сделать выводы о конструктивно-техническим решениям, которые должны обеспечивать стойкость высокотемпературных сенсоров к воздействию высоких температур.

6. Разработаны частные технические задания на встроенное программное обеспечение сенсоров и алгоритмы характризации сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

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

**Результаты исследовательской работы, полученные в 2016 г.**

**Выполненные работы**

1. Разработка математической модели сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

2. Проведение математического моделирования сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

3. Разработка эскизной конструкторской документации на изготовление экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

4. Разработка эскизной конструкторской документации на изготовление экспериментальных образцов высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

5. Разработка эскизной конструкторской документация на изготовление экспериментального образца узла герметизации сенсоров абсолютного давления.

6. Разработка программы и методик экспериментальных исследований экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

7. Разработка программы и методик экспериментальных исследований экспериментальных образцов высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

8. Разработка программы и методик экспериментальных исследований экспериментальных образцов узла герметизации сенсоров абсолютного давления.

9. Закупка материалов и комплектующих для изготовления экспериментальных образцов и проведения экспериментальных исследований.

10. Проведение маркетинговых исследований интеллектуальных сенсоров давления.

11. Разработка программной документации на встроенное программное обеспечение сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

12. Разработка встроенного программного обеспечения сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

13. Разработка алгоритмов характеризации сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

14. Разработка эскизной конструкторской документации на изготовление специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров с мостовой схемой получения сигнала.

15. Разработка программы и методик экспериментальных исследований экспериментальных образцов специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров с мостовой схемой получения сигнала

16. Разработка программы и методик испытаний встроенного программного обеспечения сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

17. Участие в выставках (конференциях) с целью освещения и популяризации результатов проекта.

**Полученные результаты**

1. Выполнено сравнение аналитического и численного подходов к моделированию сенсоров давления, использующих технологи. КНС. Сделан выбор в пользу компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов, которое отличается высокой оперативностью и позволяет эффективно использовать базы данных о свойствах конструкционных и функциональных материалов.

2. Проведено исследование тензомагниторезистивного эффекта. Показана возможность использования его как альтернативы тензорезистивному эффекту при разработке сенсоров давления.

3. Разработана обобщённая математическая модель сенсора давления, позволяющая проводить виртуальные эксперименты по изучению влияния характеристик материалов, параметров конструкции, дизайна тензочувствительных элементов и температуры на функциональные свойства указанных сенсоров. На примере двухмембранных сенсоров абсолютного и избыточного давлений, а также высокотемпературного сенсора продемонстрирована адекватность созданной модели.

4. Разработаны конструкции основных частей сенсоров давления, к которым относятся: узел преобразования давления в модификациях с одной или двумя титановыми мембранами и полупроводниковыми чувствительными элементами, сконфигурированными по мостовой схеме; коллекторный узел в полимерном и керамическом исполнениях; узел герметизации для сенсоров абсолютного давления. Представлена соответствующая эскизная конструкторская документация.

5. Созданы программы и методики испытаний экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературных сенсоров избыточного давления, а также узла герметизации.

6. Определён алгоритм характеризации сенсоров давления, который реализуется в форме расчётного полинома, учитывающего нелинейность преобразования величины давления в электрический сигнал и влиянии температуры на начальный сигнал, диапазон изменения и нелинейность выходного сигнала. Комплексные испытания показали, что применение разработанного алгоритма позволяет реализовать основную погрешность серийных сенсоров давления на уровне не более 0,1%.

7. Разработана эскизная конструкторская документация на специализированную микросхему, входящую в состав сенсоров избыточного и абсолютного давления и предназначенную для обработки сигналов с мостовой схемы тензорезистивного преобразователя на основе параметров характеризации.

8. Составлена программа и определены методики испытаний экспериментальных образцов специализированной микросхемы, включающие проверку энергопотребления и функционирования интерфейсов интегральной микросхемы.

9. Разработано программное обеспечение специализированной микросхемы, которое на основе параметров характеризации сенсора обеспечивает преобразование выходных напряжений тензорезистивных элементов в адекватную величину измеряемого гидростатического давления. Оно обеспечено программой и методиками испытаний.

10. В результате маркетинговых исследований сделаны рекомендации по номенклатуре и ценообразованию при производстве интеллектуальных сенсоров давления, спрогнозирован объём их продаж и разработан проект коммерческого предложения для «первых покупателей».

11. Проведена закупка материалов и комплектующих для изготовления экспериментальных образцов интеллектуальных сенсоров давления.

12. Результаты работы по созданию интеллектуальных сенсоров давления различного назначения представлены на трёх научных конференциях.

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

**Результаты исследовательской работы, полученные в 2017 г.**

**Выполненные работы**

1. Изготовление экспериментальных образцов сенсоров абсолютного давления с встроенной микросхемой обработки сигнала в количестве трех штук на каждое номинальное значение 100 кПа; 2,5 МПа; 20 МПа.

2. Изготовление экспериментальных образцов сенсоров избыточного давления с встроенной микросхемой обработки сигнала в количестве трех штук на каждое номинальное значение 100 кПа; 2,5 МПа; 40 МПа.

3. Изготовление экспериментальных образцов высокотемпературных сенсоров избыточного давления в количестве трех штук на каждое номинальное значение 100 кПа; 2,5 МПа; 40 МПа.

4. Изготовление экспериментальных образцов узла герметизации сенсоров абсолютного давления в количестве шести штук.

5. Изготовление экспериментального образца специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров с мостовой схемой получения сигнала.

6. Экспериментальные исследования экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

7. Экспериментальные исследования экспериментальных образцов высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

8. Экспериментальные исследования экспериментальных образцов узла герметизации сенсоров абсолютного давления.

9. Разработка технических требований и предложений по разработке, производству и эксплуатации интеллектуальных сенсоров давления с учетом технических возможностей индустриального партнера.

10. Разработка технического задания на проведение опытно-конструкторской работы «Разработка базовой линейки отечественных интеллектуальных сенсоров давления с целью импортозамещения при построении высокотехнологичных систем управления и автоматики».

11. Обобщение и оценка полученных результатов, полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР.

12. Приобретение материалов и комплектующих, оборудования.

13. Разработка технологической документации на изготовление экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

14. Разработка технологической документации на изготовление высокотемпературных сенсоров избыточного давления.

15. Разработка технологической документации на изготовление узла герметизации сенсоров абсолютного давления.

16. Испытания встроенного программного обеспечения сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

17. Экспериментальные исследования экспериментального образца специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров абсолютного и избыточного давлений с встроенной микросхемой обработки сигнала.

18. Дополнительные патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

19. Проведение технико-экономической оценки внедрения производства продукции на предприятии индустриального партнера.

20. Участие в выставках (конференциях) с целью освещения и популяризации результатов ПНИЭР.

**Полученные результаты**

1. Разработана технологическая документация на изготовление экспериментальных образцов сенсоров абсолютного и избыточного давления с встроенной микросхемой обработки сигнала, высокотемпературного сенсора избыточного давления и узла герметизации.

2. Изготовлены экспериментальные образцы сенсоров абсолютного давления с встроенной микросхемой обработки сигнала на номинальные давления 100 кПа, 2,5 МПа, 20 МПа в количестве 9 шт,, сенсоров избыточного давления с встроенной микросхемой обработки сигнала на номинальные давления 100 кПа, 2,5 МПа, 40 МПа в количестве 9 шт, высокотемпературных сенсоров избыточного давления на номинальные давления 100 кПа, 2,5 МПа, 40 МПа в количестве 9 шт., узла герметизации сенсоров абсолютного давления в количестве 6 шт., специализированной микросхемы для обработки сигналов сенсоров с мостовой электрической схемой.

3. Проведены испытания экспериментальных образцов продукции и встроенного программного обеспечения сенсоров, которые показали соответствие их характеристик требованиям технического задания.

4. Разработаны технические требования и предложения по производству и эксплуатации интеллектуальных сенсоров давления, а также техническое задание на проведении опытно-конструкторских работ по результатам ПНИЭР на предприятии АО «НПО автоматики» - индустриальном партнёре по проекту.

5. Выполнены обобщение и оценка результатов ПНИЭР в целом и показано, что цели и задачи данного научно-технического проекта выполнены в полном объёме, как в научно-технической составляющей, так и в части показателей результативности.

6. Проведены дополнительные патентные исследования, которые показали наличие новизны и охраноспособности технических решений «Интеллектуальный преобразователь», «Тензомагниторезистивная среда», «Устройство для получения многослойных плёнок», созданных в ходе ПНИЭР.

7. Дано технико-экономическое обоснование перспективности производства интеллектуальных сенсоров, разработанных в результате ПНИЭР, на предприятии АО «НПО автоматики».

*В целом по результатам проекта опубликовано 5 научных статей, индексируемых в международной базе данных Scopus, подано 2 заявки на изобретения и 1 заявка на полезную модель, сделаны доклады на 3-х международных научных конференциях.*

**Перспективы практического использования**

Наиболее важным результатом выполнения проекта является формирование научно-технического задела, технических решений для дальнейшего совершенствования элементной базы, пригодной для эксплуатации в жестких условиях, в том числе и в сферах ответственного назначения, таких как ракетно-космическая и авиационная техника, атомная промышленность, автомобилестроение, медицина.

Реализация проекта позволила существенно улучшить качественные характеристики существующих систем за счет повышения эффективности и надежности используемых в них электро-радио изделий, а также дополнительно решить ряд задач, которые не были решены с использованием оборудования предыдущего поколения.

На предприятии АО «НПО автоматики» - индустриальном партнёре УрФУ начаты опытно-конструкторские работы, направленные на подготовку производства сенсоров и датчиков давления, разработанных по проекту.