

УДК 621

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ДАТЧИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Кernasовский Ю.М.<sup>1</sup>, Моспанов А.Н.<sup>1</sup>, Таратын И.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрены ключевые задачи и приоритеты научных и прикладных исследований по направлению разработки технологий для датчиков нового поколения.

**Ключевые слова:** датчик, сенсорная техника, микроэлектромеханические системы, импортозамещение.

## DEVELOPMENT OF NEW DESIGNS AND TECHNOLOGIES FOR NEW GENERATION SENSORS

Kernasowski Y.<sup>1</sup>, Mospanov A.<sup>1</sup>, Taratyn I.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>JSC «Minsk Research Institute of Radio Materials»

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Annotation.** The key tasks and priorities of scientific and applied research in the direction of developing technologies for new generation sensors are considered.

**Key words:** sensor, sensor technology, microelectromechanical systems, import substitution.

Адрес для переписки: Таратын И.А., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь  
e-mail: mnt@bntu.by

Актуальность развития данного направления в Республике Беларусь обусловлена, прежде всего, ситуацией в мире, которая характеризуется ограничениями, накладываемыми на доступ к наукоемкой продукции, санкциями, стремлением государств самостоятельно развивать высокотехнологичные производства и обеспечивать импортозамещение критических электронных компонентов.

В нашей стране потребителями датчиков являются структурообразующие предприятия автомобилестроения, машиностроительного комплекса, различных отраслей народного хозяйства, включая организации жилищно-коммунального хозяйства и др., для которых вопрос импортозамещения в настоящее время стоит весьма остро. Подтверждением этому являются совместные совещания представителей Министерства промышленности Республики Беларусь и Минпромторга России по вопросам импортозамещения электронных комплектующих, которые состоялись в текущем году. В совещаниях принимал участие и наш институт.

Поэтому важнейшей задачей является практическая реализация результатов научно-технической деятельности, скорейшее освоение производства критических компонентов сенсорной техники в интересах белорусских и российских предприятий.

Рабочей группой инновационно-промышленного кластера «Микро-, опто- и СВЧ-электроника» определены задачи и перечень основных НИОКР, которые необходимы для развития данного направления и организации производства датчиков нового поколения.

### Задачи:

– развитие критических технологий МЭМС;

– разработка и изготовление чувствительных мэмс элементов и датчиков;

– разработка и изготовление систем на основе датчиков;

– совершенствование материально-технической базы для выполнения исследований и разработок;

– разработка и освоение производства импортозамещающей номенклатуры сенсорной техники.

### Приоритеты научных исследований:

– технологии сборки 2-d, 3-d для многофункциональных МЭМС;

– создание новых типов интегральных микроэлектромеханических чувствительных элементов на основе сегнетоэлектриков;

– разработка интегральных газовых сенсоров с низким энергопотреблением и высокой избирательностью контролируемых газов;

– технологии высокоточных датчиков угла наклона навигационного уровня с использованием мэмс технологий;

– оптические сенсоры.

НИОКР выполняются в рамках ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии», «Материаловедение, новые материалы и технологии»; «Фотоника и электроника для инноваций», ГП «Наукоемкие технологии и техника» и за счет собственных средств. Работы являются комплексными, выполняются совместно с организациями Министерства образования и НАН Беларуси, входящими в состав кластера.

### Примеры совместных НИОКР:

– НИР «Исследование и разработка методов формирования интегральных сенсоров на основе сегнетоэлектрических нанокompозитов группы перовскита» (МНИИРМ);

– НИР «Разработка структурированных и многослойных метаматериалов и метаповерхностей для гибридных микроэлектронных сенсорных систем» (МНИИРМ);

– НИР «Моделирование и расчет характеристик датчика угла наклона навигационного уровня» (БНТУ, МНИИРМ);

– НИР «Разработка научных основ, конструкции и технологии изготовления маломощной мультисенсорной системы для детектирования составов газов» (БГУИР, БНТУ, МНИИРМ);

– НИР «Технология сварки стекло-кремний, стекло-металл с использованием процесса анодной сварки» (БНТУ, МНИИРМ); задание формируется;

– НИР «Разработка многопараметрических оптических сенсоров изображений» (ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», БГУ);

– ОКР «Разработать семейство датчиков на основе кремниевых лавинных фотодиодов и фотоумножителей с системами регистрации и обработки оптических излучений малой интенсивности» (ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ);

– ОКР «Разработка системы контроля нагрузки на ось автомобиля» (МНИИРМ);

– НИР «Разработка и создание встречно-штыревой структуры в качестве коллектора тока для микросуперконденсатора» (БГУИР, МНИИРМ);

– ОКР «Создание пленочных высокочувствительных селективных газовых сенсоров высокого быстродействия на основе тонкопленочных углеродных наноструктур» (НИИ ЯП БГУ, БГУ).

При выполнении исследований будут активно использоваться возможности отраслевых лабораторий, созданных и укомплектованных современным оборудованием, в том числе оборудованием ОАО Планар, входящего в состав Кластера.

«Отраслевая научно-исследовательская лаборатория инновационных приборов МЭМС-технологий», которая организована на кафедре «Микро- и нанотехника» БНТУ. Лаборатория является базой не только для подготовки высококвалифицированных специалистов по направлению «микромеханические системы», но и выполнения НИР в области МЭМС.

«Отраслевая лаборатория разработки критических технологий производства МЭМС и СВЧ электронных компонентов в интересах гражданского и оборонного сектора экономики Республики Беларусь», которая организована в ОАО «Минский НИИ Радиоматериалов» в 2021 году.

В рамках отраслевой лаборатории МЭМС и СВЧ будут сформированы 9 участков:

- участок деионизованной воды;
- участок химической обработки;
- участок сборки;
- участок контрольно-измерительный;
- участок напыления металлических слоев и травления;
- участок испытаний;

– участок ионного легирования и отжига, участок нанесения диэлектриков;

– участок фотолитографии.

В 2022 году за счет средств инновационного фонда Мингорисполкома приобретено 11 единиц оборудования, в том числе камера микроклиматическая. Камера микроклиматическая предназначена для создания в ОАО «МИНСКИЙ НИИ РАДИОМАТЕРИАЛОВ» новых чистых помещений площадью 300 м<sup>2</sup> в соответствии с требованиями микроэлектронного производства.

Процесс освоения критических технологий МЭМС и формирования соответствующей отрасли выстраивается по следующей схеме: подготовка высококвалифицированных специалистов, выполнение исследований – БНТУ, исследования, разработка и изготовление опытных партий и мелких серий МЭМС и датчиков – МНИИРМ, освоение массового производства МЭМС – ОАО «ИНТЕГРАЛ».

Принимая во внимание необходимость создания импортозамещающей продукции, к важнейшим результатам следует отнести следующие изделия:

**1. В соответствии с требованиями ОАО «МАЗ» доработана Система мониторинга концентрации метана в критичных точках автомобиля.** Ближайший аналог компании TEQ SA (Тек, Швейцария). Система повышает безопасность и надежность автомобильной техники и увеличивает ее экспортный потенциал.

Система обеспечивает мониторинг концентрации CH<sub>4</sub> в моторном отсеке, в местах установки газовых баллонов, отсеке предпусковых жидкостных подогревателей двигателя и у редукторов газовых баллонов транспортного средства.

Конструкция датчиков CH<sub>4</sub>, имеет устройство нагрева и охлаждения обеспечивающее работу датчиков при температуре окружающей среды до плюс 95 °С.

Унифицированная аппаратная часть и стандартные протоколы обмена позволяет менять конфигурацию системы без доработки ПО и блока мониторинга.

Система введена в КД на автобусы МАЗ 203946, 206946, 203948, 206948. Заключен договор с ОАО «МАЗ» от 14.06.2022 № 516/97257 на поставку двух систем мониторинга метана. В соответствии с запросом ОАО «МАЗ» (письмо от 05.07.2022 № 516-8-7/7927) о поставке 889 штук таких систем ведется подготовка серийного производства. Объем реализации в 2023 году может составить около 2 100 000 рублей.

**2. «Индукционный датчик конечного положения (ИДКПТ).** Разработан по техническим требованиям ОАО «МТЗ».

Предназначен для бесконтактной коммутации исполнительных устройств в составе электронных систем управления тракторов «Беларус».

Надежность и долговечность датчика обеспечивается за счет применения новых схемотехнических решений и материалов корпуса, а также расширенного температурного диапазона (– 40...+ 85°С).

Получено заключение ОАО «МТЗ» № 7231 о допуске датчиков конечного положения на серийное производство. Поставка ведется в соответствии с запросами ОАО «МТЗ».

**3. Бесконтактные индуктивные выключатели ВИБ М12 и ВИБ М18.** Разработаны по требованиям ОАО Станкозавод «Красный борец» на базе конструктивных решений датчика ИДКПТ. Поставляются по договору с ОАО Станкозавод «Красный борец» от 31.05.2022 № 03-2022/80.

**4. Дифференциальный зонд (ДЗ) с магнитным сердечником.** Предназначен для контроля дефектности круглого стального проката. (трещины шириной более 0,1 мм и длиной более 11,5 мм). Решает проблему регулярной замены дорогостоящего импортного комплектующего стоимостью 6 тыс. евро на ОАО «БМЗ».

Датчик обеспечит стабильную работу трубопрокатного цеха при отсутствии оригинальных импортных запчастей (Корпорация Fluke, США). Потребность ОАО «БМЗ» – 20 штук в год. Заключен договор от 22.08.2022 № 22013598 с ОАО

«БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» на поставку первой партии (4 штуки) датчиков на сумму 63 595,06 рублей.

Дальнейшее развитие разработки – замена двух микрокатушек на микроминиатюрные преобразователи Холла белорусского производителя. Это позволит расширить область применения для контроля дефектности различных металлических конструкций.

**5. Датчик угла наклона ДУН-15-1.** Датчик угла наклона ДУН-15-1 (рис. 1) предназначен для определения угла наклона транспортных средств (тангаж, крен). Датчик определяет положение объекта в пространстве относительно двух координатных осей и передает информацию по CAN протоколу стандарта SAE J1939.

Потребители – ОАО «МАЗ», ОАО «БЕЛАЗ», ОАО «МТЗ» и др.

Получено разрешение ОАО «БЕЛАЗ» (Протокол от 09.09.2022) на применение датчика угла наклона ДУН-15-1. в конструкции карьерных самосвалов и спецтехнике ОАО «БЕЛАЗ».



## МИНСКИЙ НИИ РАДИОМАТЕРИАЛОВ

### Датчик угла наклона ДУН-15-1

**Датчик угла наклона** для определения угла наклона транспортных средств (тангаж, крен). Датчик определяет положение объекта в пространстве относительно двух координатных осей и передает информацию по CAN протоколу стандарта SAE J1939.

Потребители – МАЗ, ОАО «БЕЛАЗ», МТЗ и др.

Получено разрешение ОАО «БЕЛАЗ» (Протокол от 09.09.2022г.) на применение датчика угла наклона ДУН-15-1 в конструкции карьерных самосвалов и спецтехнике **ОАО «БЕЛАЗ».**

#### Технические характеристики:

Диапазон углов наклона, град, не менее	±15
Количество осей чувствительности	2
Погрешность измерения угла наклона в диапазоне рабочих температур (с термокомпенсацией), град, не более	±0.25
Напряжение питания, В	от 18 до 36
Рабочий диапазон температур, С	-40...+70
Габаритные размеры, мм, не более	87x58x30
Тип выходного интерфейса	CAN 2.0 А/В
Скорость выходного интерфейса, кбит/с	250
Масса, г	450



Рисунок 1 – Описание датчика угла наклона ДУН-15-1

## Автоматизированный метеорологический комплекс

### Аналог финской фирмы Vaisala.

Области применения:

- военная техника (ОАО «ВОЛАТАВТО»), ОАО «Агат - электромеханический завод», БСВТ, ОАО «Пеленг»),
- системы точного земледелия,
- гидрометеослужбы и пр.

#### Характеристики:

- диапазон измерения скорости ветра, м/с – от 0 до 50.
- точность измерения при скорости ветра от 0 до 40 м/с - ±3%.
- диапазон измерения давления, гПа – от 300 до 1100.
- точность измерения давления, гПа - ±0,5.
- диапазон измерения температуры, °С - от -40 до +60.
- точность измерения температуры, °С - ±0,5.
- диапазон измерения влажности, % - от 0 до 100.
- точность измерения влажности от 0 до 90, % - ±3.
- точность измерения влажности от 90 до 100, % - ±5.



Рисунок 2 – Описание автоматизированного метеорологического комплекса

**6. Автоматизированный метеорологический комплекс.** Комплекс (рис. 2) разработан для ряда предприятий Республики Беларусь. В настоящее время выполняется сертификация разработанного в институте автоматизированного метеорологического комплекса (аналог финской фирмы Vaisala). Метеокомплекс обеспечивает контроль параметров атмосферы: давления, температуры, влажности воздуха, скорости ветра (до 50 м/с) и направления ветра с обработкой текущей информации. В данный комплекс возможна интеграция других

датчиков (например, детектирования гамма-излучения, выносные датчики температуры и влажности почвы и др.). Области применения: военная техника (ОАО «ВОЛАТАВТО», ОАО «Агат – электромеханический завод», БСВТ), гидрометеослужбы, системы точного земледелия и пр.

Выполняемые НИОКР в полной мере соответствуют тенденциям развития данного направления в мире и будут способствовать созданию востребованной предприятиями Республики Беларусь и Российской Федерации продукции.

УДК 621

## ПРОБЛЕМЫ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МИКРОМЕХАНИКЕ

Чижи́к С.А.<sup>1,2</sup>, Чи́кунов В.В.<sup>2</sup>, Лапи́цкая В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В работе представлены диагностическое оборудование и оригинальные методики для количественной оценки данных факторов с использованием метода сканирующей зондовой микроскопии. Рассмотрены примеры использования предложенных подходов.

**Ключевые слова:** микромеханика, контактное взаимодействие, микроэлектромеханические системы, сканирующая зондовая микроскопия.

## PROBLEMS OF CONTACT INTERACTION IN MICROMECHANICS

Chizhik S.<sup>1,2</sup>, Chikunov V.<sup>2</sup>, Lapitskaya V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>A.V. Luikov heat and mass transfer institute of the Academy of sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

**Annotation.** The paper presents diagnostic equipment and original methods for the quantitative assessment of these factors using the method of scanning probe microscopy. Examples of using the proposed approaches are considered.

**Key words:** micromechanics, contact, microelectromechanical systems, scanning probe microscopy.

Адрес для переписки: Чижи́к С.А., пр. Независимости, 65, Минск 220013, Республика Беларусь  
e-mail: mnt@bntu.by

Проектирование и эксплуатация микроэлектромеханических систем (МЭМС) сопряжены с необходимостью учета специфики физико-механического поведения материалов и рабочих поверхностей на микронном масштабном уровне. В качестве основных факторов влияющих на формирование площади фактического контакта и адгезионного сцепления подвижных поверхностей можно определить капиллярные силы, силы межмолекулярного взаимодействия, упругие свойства материала и шероховатость. Силы, которыми можно пренебречь при эксплуатации машин на макроуровне, оказываются критически значимыми для МЭМС, приводящими к разрушению микроконструкций.

В работе представлены диагностическое оборудование и оригинальные методики для количественной оценки данных факторов с использованием метода сканирующей зондовой микроскопии. Изображения топографии и фазового контраста позволяют получить информацию о структуре, пространственной геометрической и материаловедческой неоднородности материала

поверхностных слоев микроизделий. С помощью методик статической и динамической силовой спектроскопии определяются локальные упругие свойства и поверхностная энергия контактирующих материалов, в том числе, и молекулярнотонких покрытий. Разработаны методы осциллирующей трибологии для экспериментальной оценки характеристик трения и изнашивания поверхностей при эксплуатации микромашин. Также обсуждаются компьютерные модели контактного взаимодействия шероховатых поверхностей МЭМС с учетом внешней нагрузки, упругих свойств материалов, молекулярных и капиллярных сил. При этом представлены возможности 3D-визуализации зоны фактического контакта.

Рассмотрены примеры использования предложенных подходов к проектированию сочленения в системах магнитной записи (магнитный диск – магнитная головка), рабочих поверхностей в микропинцетах и при решении задачи подбора материалов для реализации технологии «печатания» микро- и наноструктур.