

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 3

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.577.21.0088

Тема: «Разработка специализированного нанотвердомера-профилометра и методов контроля физико-механических свойств внутренних поверхностей открытых и глухих каналов для применения в машиностроении и авиакосмической отрасли»

Приоритетное направление: Индустрия наносистем

Критическая технология: Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств

Период выполнения: 22.07.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 117.00 млн. руб.

Бюджетные средства 75.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 42.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Позитив"

Ключевые слова: Инструментальное индентирование, нанотвердометрия, механические свойства, сканирующая зондовая микроскопия, профилометрия, наноструктурированные материалы, тонкие пленки, функциональные покрытия, модуль Юнга, твердость, алмазные инденторы.

### 1. Цель проекта

1.1 Задачей реализуемого проекта является разработка экспериментального образца специализированного нанотвердомера-профилометра и методик контроля модуля упругости (Юнга), твердости и параметров шероховатости на внутренних поверхностях, на глубинах, существенно превышающих входной диаметр сквозных или глухих каналов; а также разработка программного обеспечения для управления измерительными процедурами и обработки экспериментальных данных.

1.2 Целью реализуемого проекта является обеспечение возможности контроля с нанометровым пространственным разрешением шероховатости, твердости и модуля упругости внутренних поверхностей открытых или глухих каналов в узлах и агрегатах изделий и механизмов, применяемых в машиностроительной и авиакосмической отраслях.

### 2. Основные результаты проекта

Разработаны электронные схемы и комплект эскизной конструкторской документации. Изготовлен экспериментальный образец специализированного нанотвердомера-профилометра (ЭОСНП). Изучены пути повышения информативности метода инструментального индентирования для учета влияния величины шероховатости на измеряемые значения твердости и модуля упругости. Получены соотношения, позволяющие вносить корректирующие поправки в рассчитанные значения, что позволит снизить величину неопределенности при выполнении измерений твердости.

Разработаны методики контроля модуля упругости (Юнга), твердости и параметров шероховатости на внутренних поверхностях с использованием ЭОСНП. Предложенный набор методик основывается на измерении твердости и модуля упругости методом инструментального индентирования, твердости методом склерометрии, модуля упругости методом силовой спектроскопии и параметров шероховатости методом полуконтактной сканирующей зондовой микроскопии. В результате исследований показано, что при существенном уровне шероховатости измеряемые значения твердости характеризуются существенной неопределенностью. Для обеспечения возможности проводить измерения на таких поверхностях предложено использовать метод количественного картографирования модуля упругости в рамках метода силовой спектроскопии. Кроме того, предложено в колебательном режиме работы датчика прибора измерять отношение квадрата значения модуля упругости к твердости. Метод определения отношения квадрата модуля упругости к твердости предполагает обработку экспериментальных данных о приложенной силе и сдвиге резонансной частоты в рамках единичного нагружения. Преимуществом метода является отсутствие зависимости получаемой величины от площади навалов, таким образом, снижается влияние шероховатости.



Разработана Программа и методики исследовательских испытаний экспериментального образца специализированного нанотвердомера-профилометра. Программа и методики доработаны с учетом предложенных методик работы с шероховатыми поверхностями. Проведены исследовательские испытания ЭОСНП.

Разработана архитектура программного обеспечения, написан основной исходный код. При проектировании ПО применялась объектно-ориентированная модель, функционо законченная группа операций выделена в отдельный программный блок. Проведено тестирование и отладка ПО. Подготовлен комплект программной документации.

Созданный экспериментальный образец не имеет мировых аналогов. Разработанная конструкция благодаря оригинальной компоновке датчика позволяет достичь миниатюрных поперечных размеров измерительной головки, не достижимых для других приборов. Параметры экспериментального образца, включая габаритные размеры измерительной головки прибора и функциональные возможности программного обеспечения, соответствуют требованиям Технического задания. Возможность комбинированной работы в режиме резонансных колебаний и в режиме приложения нагрузки позволяет реализовать в рамках предложенной миниатюрной конструкции набор методов, обеспечивающих измерение как механических свойств (твердость, модуль упругости (Юнга)), так и параметров наношероховатости поверхности, при минимальном усилии воздействия зондирующего острия на исследуемую поверхность. По результатам исследовательских испытаний ЭОСНП признан выдержавшим проверку по всем пунктам Программы и методик.

### **3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

По результатам исследований на этапе 3 и на основании ЭКД, разработанной на этапе 2 работ по ПНИ подана заявка на патент на полезную модель «Устройство для измерения физико-механических свойств материалов» (регистрационный номер в ФИПС 2015150228, входящий № 077329, дата подачи 24.11.2015).

### **4. Назначение и область применения результатов проекта**

4.1 Основная область применения результатов ПНИ: транспортное машиностроение (авиа-, авто-, судостроение, системы перекачки нефти и газа и т.д.). Разрабатываемые устройства будут применяться для целей контроля параметров металлов, сплавов, модификаторов и лигатур с повышенными конструкционными и функциональными свойствами, материалов с повышенной механической прочностью и химической стойкостью для различных видов транспорта, в том числе для авиационно-космических технологий, судо- и автомобилестроения.

4.2 Практическое внедрение результатов ПНИ планируется в виде контрольно-измерительной аппаратуры, адаптированной к применению на перечисленных выше объектах с целью диагностики их состояния как на стадиях внедрения новых технологических процессов различной обработки поверхностей (нанесение функциональных покрытий различного назначения – износостойких, антифрикционных, защитных), так и на стадиях эксплуатации с целью определения или прогнозирования их ресурса.

4.3 Контроль технологических процессов является одним из важнейших этапов отработки и внедрения новых технологий в реальном секторе экономики. В настоящее время не существует прямых методов контроля параметров рельефа и механических свойств на внутренних поверхностях каналов на достаточном удалении от входного отверстия. Как правило, оценка качества поверхностей проводится косвенным способом, либо не проводится вовсе, либо оценивается из средних параметров самого процесса модификации поверхности. Инструмент, позволяющий проводить прямые измерения, позволит получить существенно больше информации, что приведет к значительному прогрессу в развитии соответствующих технологий.

### **5. Эффекты от внедрения результатов проекта**

Эффект от внедрения результатов проекта проявляется через существенное повышение эффективности использования новых технологий модификации поверхностей за счет совершенствования методов диагностики их свойств, что приводит к увеличению срока службы и надежности эксплуатации узлов и агрегатов машин и механизмов в машиностроении и авиа-космической отраслях за счет обеспечения прямых методов контроля состояния рабочих поверхностей ответственных деталей.

### **6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта**

Наиболее вероятной формой коммерциализации полученных результатов является организация промышленного производства специализированных нанотвердомеров-профилометров с выводом на рынок нового контрольно-измерительного оборудования. Используя полученных в ходе выполнения ПНИ результатов данные приборы могут быть адаптированы к заданному технологическому процессу на конкретных видах изделий – узлов и агрегатов машин и механизмов в машиностроительной и авиа-космической отраслях.

Оценка необходимого количества приборов при оснащении предприятий, занятых в указанных сферах 50-100 шт. в год. При ориентировочной стоимости конечного измерительного оборудования в 2-3 млн.руб. перспективный объем производства продукции в стоимостном выражении по годам с 2017 по 2022 гг составляет 200-500 млн. Предполагаемые сроки окупаемости: 3-5 лет.

Необходимым условием для коммерциализации является выполнение опытно-конструкторской работы по теме «Создание

промышленного производства портативных измерительных приборов для контроля качества поверхностей открытых и глухих каналов для применения в машиностроении и авиакосмической отрасли».

#### 7. Наличие соисполнителей

Для выполнения работ привлекались соисполнители:

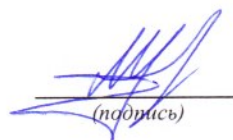
- 1) Общество с ограниченной ответственностью «АлмазЭнергоБур», привлекалось в 2014 г.
- 2) федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МИЭТ», привлекалось в 2014-2015 гг.

федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
"Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных  
материалов"

\_\_\_\_\_  
Директор  
(должность)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)      Бланк В.Д.  
(фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_  
Руководитель работ по проекту  
Заведующий отделом  
(должность)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)      Усеинов А.С.  
(фамилия, имя, отчество)

М.П.

