

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

УДК 531.7; 620.17.08

ВГК ОКП 39 7290 7

№ Госрегистрации _____

Инв. № 250

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«31» декабря 2019 г.

М.П.

ОТЧЕТ

О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАЗРАБОТКАХ

«Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» по теме: «Изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов приборов iPoRTH. Оценка результатов исследований»
(заключительный)

Этап третий

Соглашение о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г.
№ 14.577.21.0274

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»
Приоритетное направление «Индустрия наносистем»

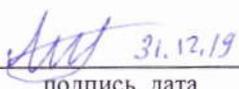
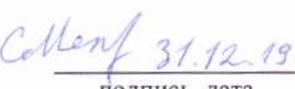
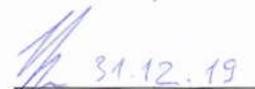
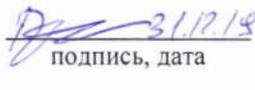
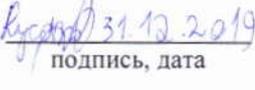
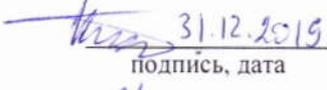
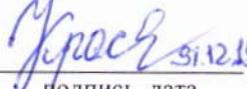
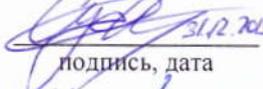
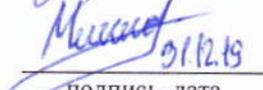
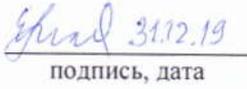
Часть 1

Руководитель работ,
Заведующий отделом исследования
физико-механических свойств
ФГБНУ ТИСНУМ, к.ф.-м.н.

 / А.С. Усеинов

г. Москва, г. Троицк 2019 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

| | | |
|--|---|--|
| Руководитель работы, Зав. отделом, канд. физ.-мат. наук |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | А.С. Усеинов (реферат, введение, заключение, разделы 1, 4-15, приложения А-Ж) |
| Исполнители работы: | | |
| Вед. науч. сотр., доктор физ.-мат. наук |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | В.Н. Решетов (разделы 11,12, 14-15, приложения А, Д, Е, Ж) |
| Науч. сотр., канд. физ.-мат. наук |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | И.И. Маслеников (разделы 8- 9, 14-15, приложение Б, Е, Ж) |
| Мл. науч. сотр. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | С.Л. Мелекесова (разделы 10- 12, 14, приложение А, В, Д, Ж) |
| Вед. инженер |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | Э.В. Мелекесов (разделы 1, 4, 10) |
| Науч. сотр. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | В.Ф. Кулибаба (разделы 1, 4, 13) |
| Науч. сотр., канд. физ.-мат. наук. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | В.В. Соловьев (разделы 4-11, 14, приложения А-В, Г, Ж) |
| Науч. сотр., канд. физ.-мат. наук |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | К.С. Кравчук (разделы 9, 14, приложение Б, Ж) |
| Мл. науч. сотр. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | С.В. Прокудин (разделы 4, 13) |
| Мл. науч. сотр. |  <u>31.12.2019</u> подпись, дата | А.А. Русаков (разделы 4, 6, приложение Б, В) |
| Мл. науч. сотр. |  <u>31.12.2019</u> подпись, дата | И.В. Красногоров (раздел 5, приложение Г) |
| Инженер 1 кат. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | Н.В. Красногорова (разделы 4, 13) |
| Инженер |  <u>31.12.2019</u> подпись, дата | Е.В. Сумароко (разделы 1, 13) |
| Инженер |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | М.Э. Мелекесов (разделы 1, 10) |
| Мл. науч. Сотр. |  <u>31.12.19</u> подпись, дата | Е.В. Gladikh (разделы 5, 7, 10, 15, приложение В, Г, Е) |

Мл. науч. сотр.,
канд. физ.-мат. наук.


31.12.19
подпись, дата

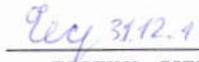
С.А. Тарелкин (раздел 8,
приложение Б)

Ст. науч. сотр.,
канд. физ.-мат. наук.


31.12.19
подпись, дата

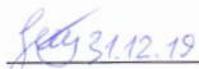
А.Н. Кириченко (раздел 9,
приложение Б)

Стажер-исследователь


31.12.19
подпись, дата

А.П. Федоткин (разделы 7, 10)

Стажер-исследователь


31.12.19
подпись, дата

И.В. Лактионов (разделы 7,
10)

Соисполнитель:
ООО «РЭА-Т»
(Разделы 2-3, приложения Б, Г)

Генеральный директор


31.12.19
подпись, дата

С.Е. Федосеев

Технический директор


31.12.19
подпись, дата

М.А. Галкин

Инженер


31.12.19
подпись, дата

М.Н. Куклев

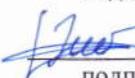
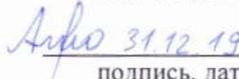
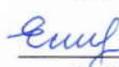
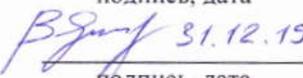
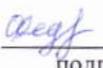
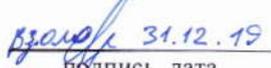
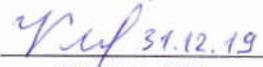
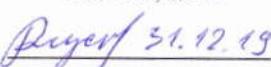
Нормоконтролер


31.12.19
подпись, дата

Ю.В. Орешников

Индустриальный партнёр:

ОАО «Тяжпрессмаш»
(разделы 16-26, приложения Б, В)

| | | |
|---------------------------|---|----------------|
| Зам. гл. инженера |  31.12.19 подпись, дата | В.В. Абрамян |
| Главный металлург |  31.12.19 подпись, дата | С.М. Хориков |
| Зам. гл. металлурга |  31.12.19 подпись, дата | А.Ю. Дунаев |
| Начальник цеха №2 |  31.12.19 подпись, дата | О.П. Агафонов |
| Зам. гл. инженера |  31.12.19 подпись, дата | Н.П. Петров |
| Главный энергетик |  31.12.19 подпись, дата | И.В. Кучер |
| Начальник цеха №11 |  31.12.19 подпись, дата | В.А. Трухачев |
| Инженер-конструктор КС |  31.12.19 подпись, дата | Е.И. Федотов |
| Начальник бюро КС |  31.12.19 подпись, дата | А.С. Мишин |
| Главный сварщик |  31.12.19 подпись, дата | А.Ю. Головин |
| Начальник ГНСП |  31.12.19 подпись, дата | Т.А. Безрукова |
| Начальник бюро ОГТ |  31.12.19 подпись, дата | В.И. Золотов |
| Инженер-конструктор КС |  31.12.19 подпись, дата | С.И. Клишова |
| Начальник бюро КС |  31.12.19 подпись, дата | А.И. Гудилин |
| Инженер-конструктор ОГМех |  31.12.19 подпись, дата | В.А. Русаков |

РЕФЕРАТ

Отчет 575 с., 152 рис., 25 табл., 8 прил., 2 части, 51 источников.

Ключевые слова: ТВЕРДОМЕР, ТВЕРДОСТЬ, МОДУЛЬ УПРУГОСТИ, ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ, ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ, ШЕРОХОВАТОСТЬ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИНДЕНТИРОВАНИЕ, КОНФОКАЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ.

Объект прикладных исследований: экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера, использующего принципы инструментального индентирования, и методики автоматизированного измерения механических свойств и характеристик высоты формы и шероховатости рельефа поверхности. Портативный роботизированный твердомер – instrumented Portable Robotic Tester for Hardness, далее называемый – «экспериментальный образец iPoRTH» или «iPoRTH». Второй задачей проводимого исследования являлась разработка и изготовление экспериментального образца модуля оперативного контроля механических свойств материалов, осуществляющего измерения методом инструментального индентирования путем вдавливания в образец алмазного индентора в форме пирамиды Берковича.

Основная цель ПНИЭР: обеспечение возможности оперативного роботизированного контроля рельефа поверхности, твердости, модуля упругости, предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения широкого круга конструкционных материалов и функциональных покрытий при помощи портативного (вес измерительного блока до 15 кг) и автономного (время работы без подзарядки до 10 часов или 300 измерений) прибора, работающего в автоматическом режиме и позволяющего проводить измерения на крупногабаритных элементах узлов и агрегатов изделий и механизмов, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях, в том числе на габаритных заготовках, трубопроводах, элементах конструкции атомных и тепловых электростанций, а также функциональных металлических и композиционных гетерофазных

конструкционных материалов нового поколения и деталей сложной формы, в том числе, полученных с использованием аддитивных технологий.

Основными задачами, решенными в ходе выполнения работ по проекту, были: изготовление экспериментальных образцов iPoRTH, разработка радиоэлектронного обеспечения iPoRTH, написание и испытание программного обеспечения, необходимого для функционирования iPoRTH в автоматическом режиме измерения, апробация экспериментальных образцов на широком классе материалов.

Результаты работ и их новизна.

Разработано и протестировано программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи, обеспечивающее в автоматическом режиме передачу данных, полученных модулем оперативного контроля блоку сбора и обработки данных.

На данном итоговом этапе работ по ПНИЭР были проведены исследовательские испытания изготовленных экспериментальных образцов iPoRTH в лабораторных и полевых условиях, путем которых проведена верификация предложенных алгоритмом и методики автоматического измерения твердости, модуля упругости и предела текучести, а также коэффициента и показателя деформационного упрочнения. Всесторонний анализ полученных данных позволил произвести корректировку технической документации и измерительных методик, что позволило улучшить эксплуатационные характеристики разработанного оборудования.

Было испытано пользовательское программное обеспечение экспериментального образца iPoRTH, предназначенное для администрирования результатов измерений. Были апробированы методики, реализующие автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости (в лабораторных и полевых условиях). Проведены экспериментальные исследования с целью разработки методики измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности и методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном

электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии. Было разработано руководство по эксплуатации и откорректирована ЭКД на экспериментальный образец iPoRTH в целом. Проведена оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР, эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем. Был разработан проект технического задания на проведение ОКР по созданию промышленного образца iPoRTH, включающего модуль оперативного контроля как независимо функционирующее автономное устройство.

Принципиальная новизна результатов ПНИЭР обеспечивается отсутствием в настоящее время на рынке портативных приборов, позволяющих в автономном режиме выполнять измерения механических свойств по методу инструментального индентирования. Кроме того, новым является предложенный комплексный подход к характеристике в полевых условиях механических свойств по результатам вдавливания сферических и пирамидальных наконечников в поверхность контролируемого изделия.

Область применения: контроль механических свойств крупных объектов в полевых условиях. Задача контроля механической прочности объектов в полевых условиях является особенно актуальной с точки зрения обеспечения надежности работы охлаждающих контуров АЭС и предотвращения техногенных катастроф на промышленных трубопроводах. Одним из основных факторов, ограничивающих время работы АЭС, является охрупчивание корпуса реактора и усталостное и коррозионное разрушение трубопроводов первого охлаждающего контура. Проведение регламентного контроля состояния объекта, принятие решения о продлении срока эксплуатации возможно только при использовании неразрушающего контроля охлаждающих контуров. Данная задача решается за счет использования портативных устройств, позволяющих проводить индентационные испытания подобных объектов.

Практическое внедрение результатов ПНИЭР предполагается вести через создание линейки новых контрольно-измерительных приборов. Разрабатываемые приборы, включая получаемые технические решения и методики, алгоритмы измерений и программное обеспечение, могут быть использованы компаниями, занятыми в области металлообработки и металлопроката, производителями автоматизированных производственных линий в области общего машиностроения, на трубопроводах, а также на объектах атомных и тепловых электростанций. Особый интерес для массового внедрения представляет модуль оперативного контроля механических свойств изделий методом инструментального индентирования. Данный модуль в силу своей компактности и широких метрологических возможностей может стать рабочим инструментом всех, кто занимается металлообработкой и контролем свойств металлоконструкций. Предложенные решения приведут к повышению производительности труда в отраслях общего машиностроения, а также к повышению уровня роботизации производства. Комплексный подход к характеристике механических свойств, реализуемый в разрабатываемых измерительных модулях iPoRTH, позволит существенно повысить точность и достоверность оценки ресурса материалов и конструкций, подверженных деградации и старению в процессе эксплуатации.

Не менее значимой является задача контроля механических свойств крупногабаритных бесшовных изделий, выпускаемых ОАО «Тяжпрессмап», в том числе методом непрерывного центробежного литья. Оперативный контроль индентационной твердости и определение характера деформационного разрушения изделий, изготавливаемых методомковки и быстрого охлаждения, актуально для крайне широкого круга производственных процессов.

Значимость работы. Основное внимание при выполнении ПНИЭР направлено на проведение комплексной диагностики механических характеристик материалов как через измерение диаграммы напряжение –

пластическая деформация путем индентирования сферическим шариком, так и через измерение индентационной твердости с помощью пирамидальных инденторов. Использование такого подхода позволяет не только фиксировать изменения механических свойств, вызванные ионизирующим излучением и нейтронными потоками, но и фиксировать факт усталостного разупрочнения материала, а также рост внутренних напряжений в элементах конструкций и трубопроводах высоко давления. Особенно актуальны такого рода измерения для изделий, полученных с использованием аддитивных технологий, поскольку внутренние напряжения и объемная структура таких изделий могут зависеть от режимов работы лазерного оборудования, алгоритма формирования детали и ее формы. Возможность локального измерения механических свойств конечных изделий позволяет не только оптимизировать технологию производства, но и внедрить систему автоматизированного контроля готовых изделий с использованием разрабатываемого роботизированного портативного измерительного оборудования и модуля оперативного контроля.

Прогнозное предположение о развитии объекта.

Данный 3 этап является заключительным этапом ПНИЭР. По результатам проведенной оценки и обобщения результатов работы сформулированы предложения по доработке ЭКД для расширения функциональных возможностей разработанного прибора. На основании анализа полученных в ПНИЭР результатов подготовлен проект ТЗ на ОКР для разработки промышленного производства приборов данного типа, что является необходимым этапом для их внедрения в промышленности.

Настоящий отчет состоит из двух частей: основной и приложений.

Информация о ходе выполнения ПНИЭР и основных результатах, полученных при выполнении проекта, размещена в Интернет на веб-сайте ФГБНУ ТИСНУМ по адресу <http://www.tisnum.ru/fcp.html>.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 17 |
| 1 Изготовление экспериментальных образцов iPoRTH | 19 |
| 2 Разработка встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи | 30 |
| 2.1 Основные принципы работы беспроводных сетей на основе интерфейса Bluetooth..... | 31 |
| 2.2 Скачки частоты..... | 32 |
| 2.3 Динамическая регулировка ширины полосы | 35 |
| 2.4 Логическая структура сетей Bluetooth | 35 |
| 2.5 Установление и поддержка соединения Bluetooth..... | 36 |
| 3 Разработка Программы и методик испытаний встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи | 38 |
| 4 Проведение испытаний встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи..... | 45 |
| 4.1 Проверка разделения программного обеспечения на метрологически значимую и не значимую части | 45 |
| 4.2 Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения | 46 |
| 4.2.1 Прошивка модуля беспроводной цифровой связи..... | 46 |
| 4.2.2 Блок управления модулем беспроводной цифровой связи..... | 46 |
| 4.3 Проверка структуры программного обеспечения..... | 47 |
| 4.3.1 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя..... | 47 |
| 4.3.2 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через беспроводной интерфейс связи..... | 47 |
| 4.4 Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерения | 49 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.1 | Оценка влияния блока управления передачей данных на метрологические характеристики средств измерений | 49 |
| 4.5 | Проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня..... | 51 |
| 5 | Разработка пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений | 52 |
| 5.1 | Обзор существующих решений для администрирования результатов измерений | 52 |
| 5.1.1 | WordPress..... | 55 |
| 5.1.2 | Joomla! | 56 |
| 5.1.3 | MODX..... | 57 |
| 5.2 | Использованные в разработке пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений методы..... | 58 |
| 5.2.1 | Среда разработки Qt..... | 58 |
| 5.2.2 | Модуль QtCore..... | 59 |
| 5.2.3 | Модуль QtGui..... | 60 |
| 5.2.4 | Модуль QtMultimedia..... | 60 |
| 5.2.5 | Модуль QtMultimediaWidgets..... | 60 |
| 5.2.6 | Модуль QtNetwork..... | 60 |
| 5.2.7 | Библиотека OpenCV | 60 |
| 6 | Разработка Программы и методик испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений | 63 |
| 7 | Проведение испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений..... | 69 |

| | | |
|------|---|-----|
| 7.1 | Проверка документации | 69 |
| 7.2 | Проверка разделения программного обеспечения на метрологически значимую и не значимую части | 69 |
| 7.3 | Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения | 70 |
| 7.4 | Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя | 70 |
| 7.5 | Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерения | 73 |
| 7.6 | Проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня..... | 74 |
| 8 | Проведение экспериментальных исследований с целью разработки методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии..... | 76 |
| 9 | Проведение экспериментальных исследований с целью разработки методики измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности | 95 |
| 10 | Исследовательские испытания экспериментальных образцов iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях | 117 |
| 11 | Корректировка технической документации на экспериментальный образец iPoRTH и измерительных методик по результатам испытаний | 129 |
| 11.1 | Корректировка технической документации | 129 |
| 11.2 | Корректировка измерительной методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном электрическом сопротивлении..... | 131 |
| 12 | Разработка руководства по эксплуатации экспериментального образца iPoRTH | 135 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 13 | Проведение оценки полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР, оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем | 136 |
| 14 | Разработка проекта технического задания на проведение ОКР | 153 |
| 15 | Патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96..... | 156 |
| 16 | Разработка Программы и методик проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях | 157 |
| 17 | Модернизация стенда для термической обработки образцов труб.. | 160 |
| 18 | Изготовление модельных тестовых образцов полых литых заготовок, их механическая и термическая обработка с целью модификации их свойств | 163 |
| 19 | Проведение оценки РИД, полученных при выполнении ПНИЭР ... | 167 |
| 20 | Изготовление образцов термически обработанных труб..... | 184 |
| 21 | Разработка Программы и методик проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях..... | 187 |
| 22 | Исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях | 190 |
| 23 | Проведение маркетинговых исследований..... | 197 |
| 23.1 | Описание продукта..... | 197 |
| 23.2 | Характеристика конкурентов | 199 |
| 23.2.1 | Портативные твердомеры..... | 199 |
| 23.2.2 | Инструментальные тестеры, измеряющие диаграмму напряжения – деформация методом индентирования | 204 |
| 23.3 | Исследование рынка..... | 208 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 23.3.1 | Рынок портативных твердомеров | 208 |
| 23.3.2 | Рынок инденторов, измеряющих диаграмму напряжения – деформация | 211 |
| 24 | Разработка рекомендаций по возможности использования результатов ПНИЭР в реальном секторе экономики и оценка потребности промышленности в портативном роботизированном твердомере | 216 |
| 24.1 | Производство труб: виды труб и технологии производства..... | 217 |
| 24.2 | Крупнейший трубопрокатный завод ЧТПЗ | 218 |
| 24.3 | Основные виды и категории труб, производимых в России | 219 |
| 24.4 | Технологии производства труб | 221 |
| 24.5 | Выводы применения и оценка потребности в трубном производстве | 223 |
| 24.6 | Применение в сфере нефте – и газопровода..... | 224 |
| 24.7 | Выводы применения и оценка потребности в сфере обслуживании трубопровода..... | 228 |
| 24.8 | Машиностроение и металлообработка..... | 228 |
| 24.9 | Применение iPoRTH | 230 |
| 24.10 | Выводы применения и оценка потребности в отрасли машиностроения и металлообработки..... | 231 |
| 24.11 | Авиационная промышленность | 231 |
| 24.12 | Применение в авиационной промышленности | 233 |
| 24.13 | Автомобилестроение..... | 235 |
| 24.14 | Применение | 236 |
| 24.15 | Выводы применения и оценка потребности в автомобилестроении | 237 |
| 24.16 | Инструментальное производство..... | 238 |
| 24.17 | Применение iPoRTH в инструментальном производстве | 239 |
| 24.18 | Выводы применения и оценка потребности в инструментальном производстве..... | 240 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 24.19 | Выводы о возможности использования результатов ПНИЭР в реальных секторах экономики и оценка потребности промышленности в портативном роботизированном твердомере | 240 |
| 25 | Приобретение оборудования / комплектующих / материалов, необходимых для выполнения ПНИЭР | 242 |
| 26 | Монтаж/пуско-наладочные работы на оборудовании, необходимом для выполнения ПНИЭР | 246 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 250 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 257 |

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЭС – атомная электростанция

iPoRTH – портативный роботизированный твердомер, использующий принципы инструментального индентирования (instrumented Portable Robotic Tester for Hardness).

АСМ – атомно-силовой микроскоп

ПГ – план-график

ПНИЭР – прикладное научное исследование и экспериментальная разработка

АВІ – автоматизированное индентирование сферическим наконечником (Automated Ball Indentation),

ПО – программное обеспечение

ISO – International Organization for Standardization (Международная организация по стандартизации)

ASTM - American Society for Testing and Materials

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

ПК – персональный компьютер

ОС – обратная связь

ЭКД – эскизная конструкторская документация

ТЗ – техническое задание

РИД (РНТД) — результаты интеллектуальной (научно-технической) деятельности, а именно: программы для электронных вычислительных машин, базы данных, изобретения, полезные модели, промышленные образцы, селекционные достижения, топологии интегральных микросхем, секреты производства (ноу-хау), исключительные права на которые сохраняются за университетом

ГР СИ – Государственный реестр средств измерений

ВВЕДЕНИЕ

Ключевые слова: ТВЕРДОМЕР, ТВЕРДОСТЬ, МОДУЛЬ УПРУГОСТИ, ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ, ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ, ШЕРОХОВАТОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИНДЕНТИРОВАНИЕ КОНФОКАЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ.

На данном итоговом этапе работ по ПНИЭР «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» планировалось осуществить работы, показывающие полноту решения поставленных перед ПНИЭР задач и подтверждающие возможность использования разработанных технических решений при контроле механических свойств машиностроительных изделий в условиях их производства и последующей эксплуатации.

Особое внимание было уделено исследовательским испытаниям изготовленных экспериментальных образцов iPoRTH в полевых и производственных условиях. Был проведен всесторонний анализ результатов исследовательских испытаний, осуществленных на предыдущих этапах работ, и произведена корректировка ЭКД, призванная улучшить эксплуатационные характеристики индентационного модуля iPoRTH и повысить технологичность его изготовления.

Всестороннему тестированию было подвергнуто ПО, предназначенное для осуществления измерений, передачи, администрирования и хранения данных, а также обработки полученной информации о механических свойствах тестируемых материалов.

Важной частью работы было тестирование методик измерения и подготовка руководства по эксплуатации для модуля оперативного контроля и индентационного модуля iPoRTH.

Работа велась в тесном сотрудничестве с индустриальным партнером и с подготовленными им образцами термически упроченных крупногабаритных изделий. Все работы, предусмотренные ТЗ на ПНИЭР, выполнены в полном объеме и с надлежащим качеством.

Детальное описание проделанных работ и достигнутых результатов приведено в соответствующих разделах отчета. Полученный в ходе выполнения ПНИЭР эксплуатационный опыт и проведенное маркетинговое исследование говорят о перспективности дальнейших работ по созданию промышленных образцов оборудования для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях, и внесения разработанных приборов в государственный реестр средств измерения.

1 Изготовление экспериментальных образцов iPoRTH

Модуль измерительный индентационный состоит из следующих деталей: двигатель шаговый, держатели валов, пластина верхняя, пружина сжатия, пластина подвижная 2, муфта, винт трапецеидальный, гайка трапецеидального винта, стакан, вал направляющий, пластина подвижная 1, втулки фланцевые, пружины сжатия, корпус-основание, датчик, стенка боковая с электрическими разъемами, крышка. К этому списку следует добавить элементы входящий в контакт с образцом: опорное кольцо, наконечник – индентор, а также ряд других вспомогательных элементов. Изображение отдельных деталей конструкции представлено на рисунке 1.

Можно отметить, что датчик также является составным изделием и принципиально делится на датчики перемещения и нагрузки. Датчик перемещения соединяется с опорным кольцом – данный элемент приходит при индентировании в контакт с образцом первым. Для регистрации перемещения используются емкостной датчик, который образуется при помощи фиксации стеклотекстолитовых пластин на корпус датчика. Данные элементы зелёного цвета видны на боковом виде датчика, представленном на изображении 1б. Подвижная часть датчика перемещения соединяется с жёстким корпусом при помощи упругих элементов – мембран, которые видны при взгляде на датчик со стороны нижнего торца. Соответствующее изображение представлено на рисунке 1д. Направляющие валы, изображённые на рисунке 1а закрепляются в верхней и нижних пластинах для обеспечения плоскопараллельности движения датчиков при индентировании. Их крепление к подвижным пластинам обеспечивается за счёт фланцевых втулок, пример которых представлен на рисунке 1г. Движение вала осуществляется при помощи шагового двигателя, изображённого на рисунке 1в.

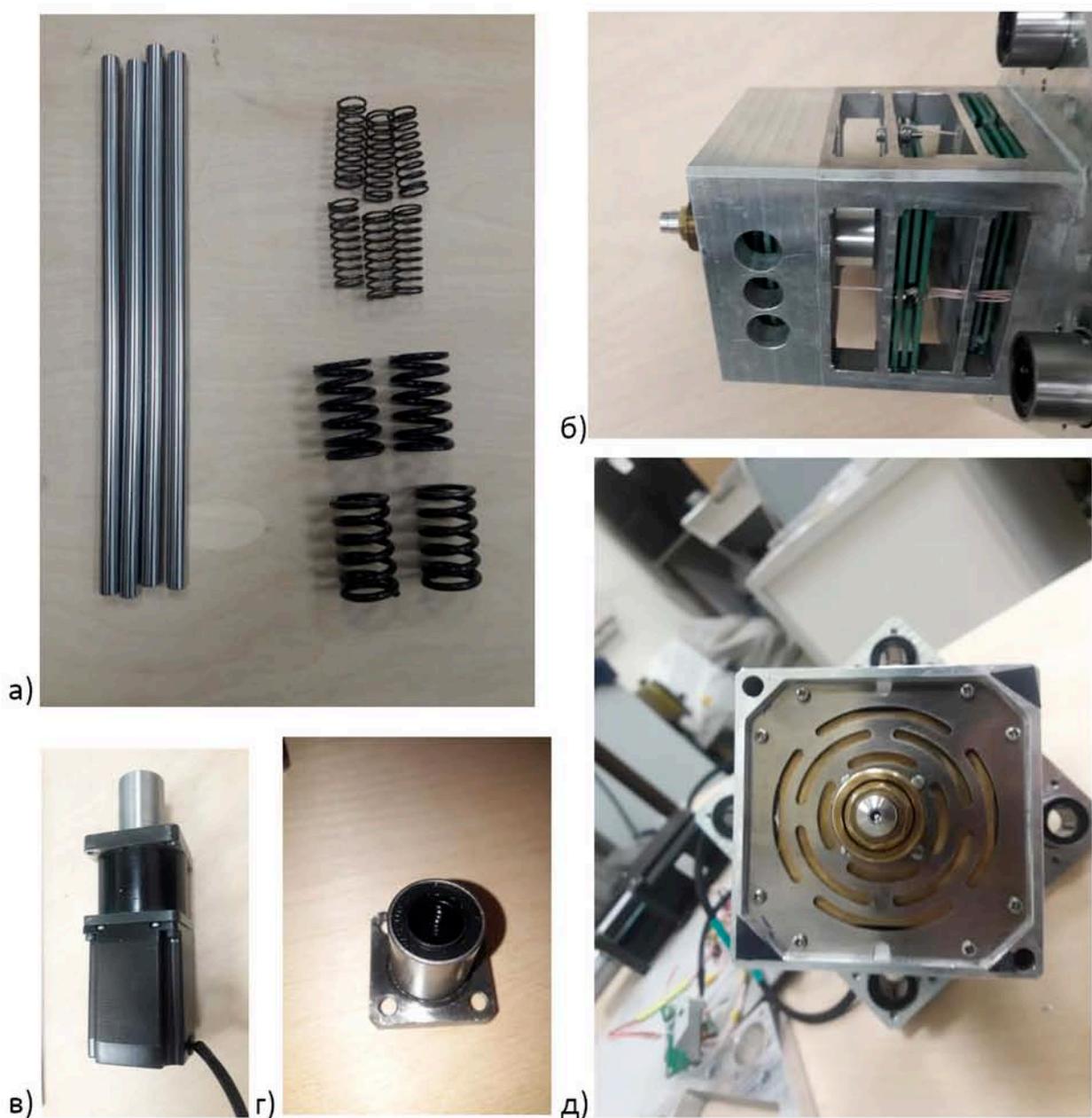


Рисунок 1 – а) валы направляющие, пружины сжатия б) датчик (вид сбоку) в) двигатель шаговый г) втулка фланцевая д) датчик (вид со стороны нижнего торца)

Мембраны датчика перемещения изготавливаются при помощи электроэрозионной резки. Направляющие валы поставляются с втулками фланцевыми, и в паре с ними образуют линейный подшипник. Для изготовления корпуса датчика был использован фрезерный станок.

Направляющие валы соединяются с нижней пластиной (рис. 2б) и защитной крышкой (рис. 2ф), на них надеваются пружины сжатия, соответствующее изображение представлено на рисунке 2в. Защитная крышка предохраняет конструкцию от попадания пыли, а также служит

ограничивающих элементов на случай нештатной ситуации – проведения нагружения при отсутствующей поверхности.

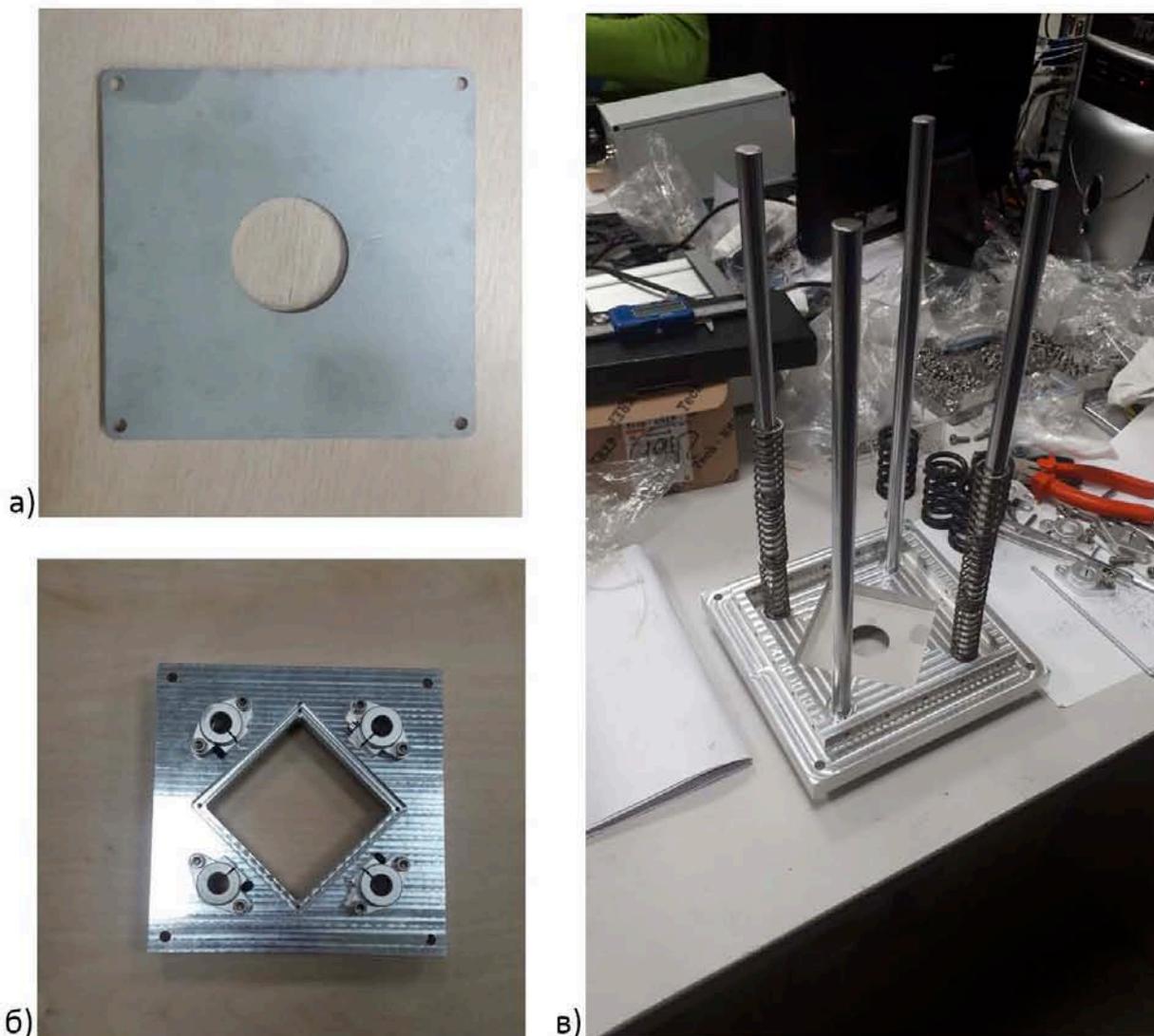


Рисунок 2 – а) крышка защитная б) пластина нижняя в) направляющие валы, соединённые с нижней пластиной и защитной крышкой

На следующем этапе сборки датчик и стакан закрепляются на подвижной пластине, соответствующее изображение представлено на рисунке 3. Кабели каналов силы и перемещения выводятся через подвижную пластину для последующего дальнейшего подключения. В пластину устанавливаются фланцевые втулки.

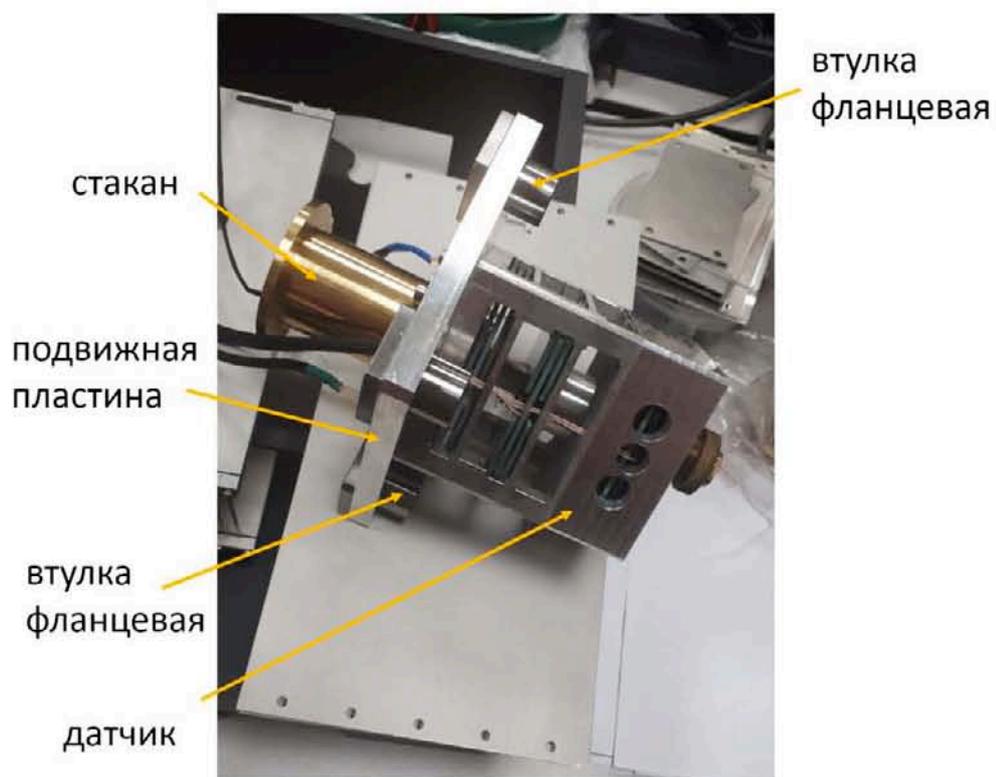


Рисунок 3 – Датчик и стакан в сборе с подвижной пластиной

Полученная конструкция закрепляется на направляющих валах, соединённых с нижней пластиной на предыдущем этапе сборки. Соответствующее изображение представлено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Этап сборки конструкции с подписями установленных элементов

Заготовки, представленные на рисунках 4 и 5 соединяются вместе через гайку трапецеидального винта, указанную в составе сборки на рисунке 6.

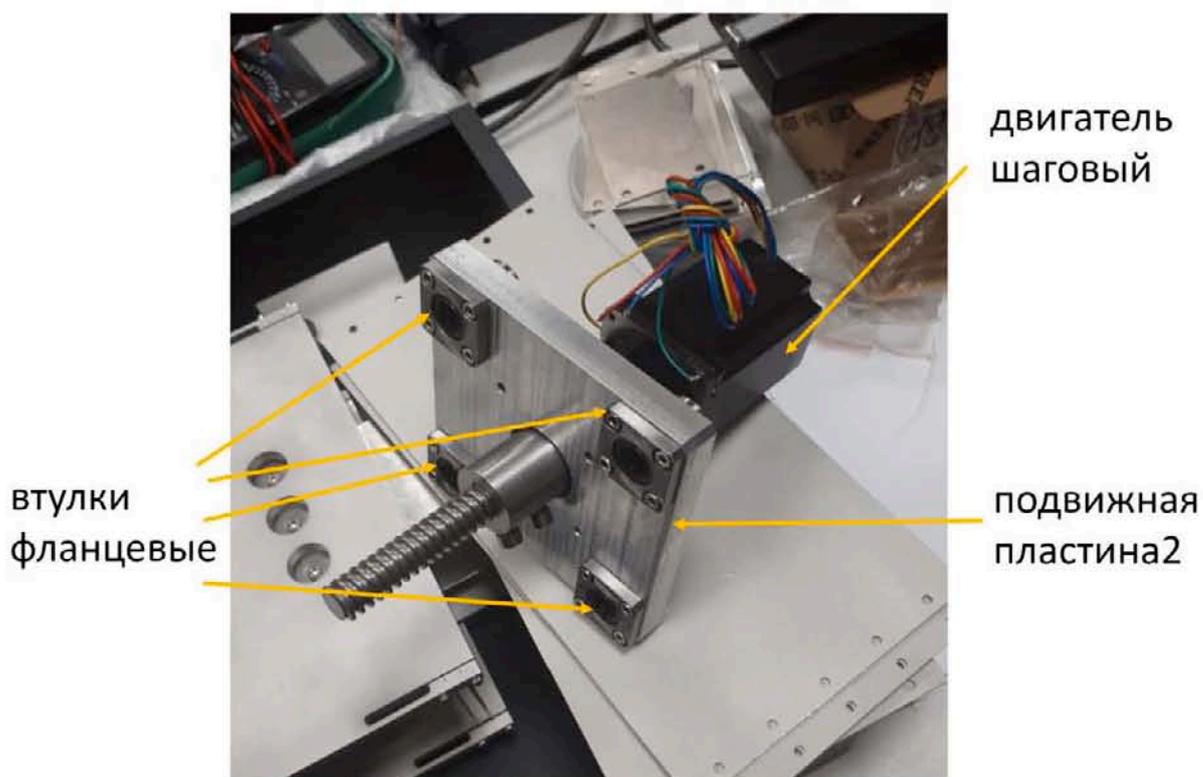


Рисунок 5 – Сборка шагового двигателя с подвижной пластиной 2



Рисунок 6 – Соединение элементов через гайку трапецеидального винта

На сборку перед закреплением в корпус прибора на направляющие валы устанавливаются пружины сжатия (изображены на рис. 7). После выполнения данной операции производится установка верхней пластины на направляющие валы. По завершении установки фиксируют верхние держатели вала, а также производят установку боковых стенок. Изображение сборки по завершению данного этапа представлено на рисунке 8.

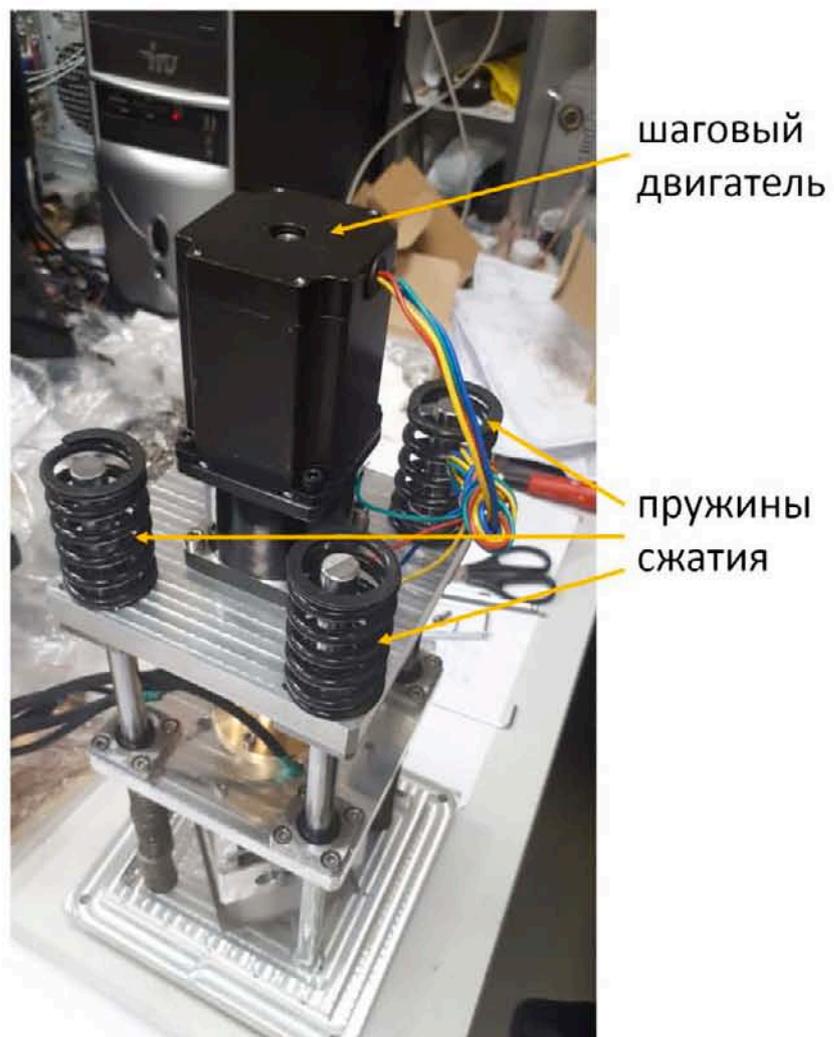


Рисунок 7 – Установка пружин сжатия на направляющие валы

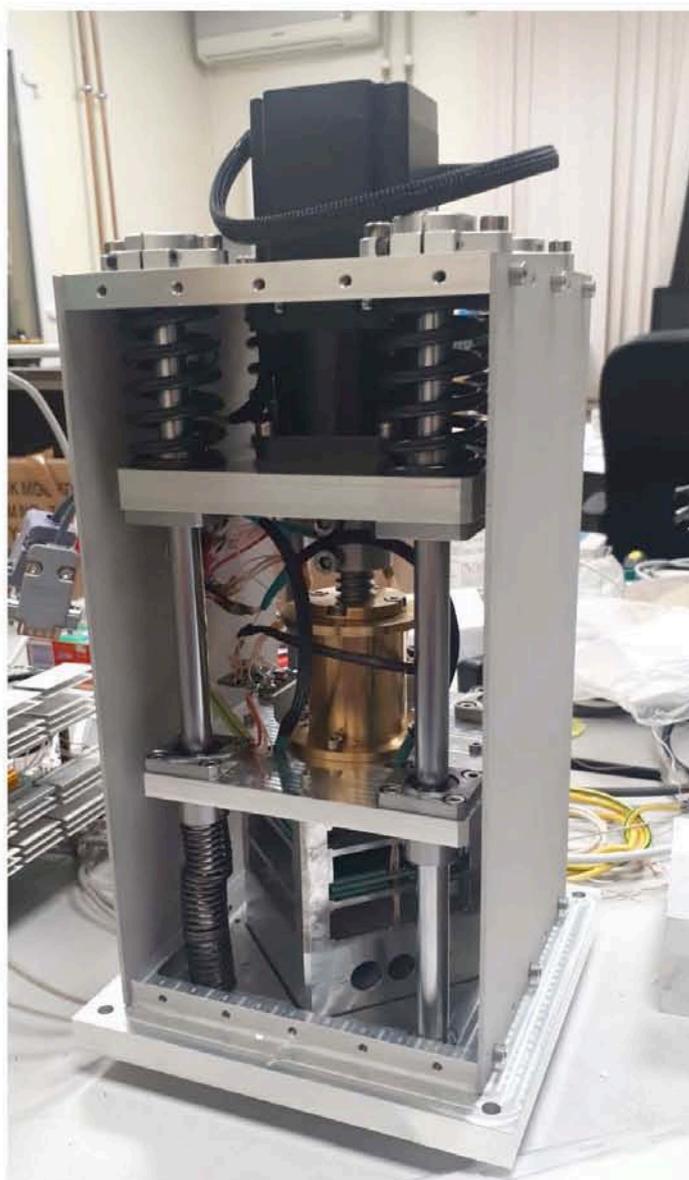


Рисунок 8 – Сборка конструкции после установки верхней пластины и боковых стенок

На боковых стенках производится высверливаются отверстия для установки разъемов подключения датчика (сигналы силы и перемещения), также дополнительно устанавливается разъем для подключения шагового двигателя. Боковая стенка с установленными разъемами изображена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Боковая стенка с установленными разъёмами для подключения датчика и шагового двигателя

Внешний вид изделия после закрепления стенок с разъёмами представлен на рисунке 10. После установки двух боковых стенок экспериментальный образец модуля индентационного iPoRTN считается собранным и готовым к калибровочным работам и лабораторным испытаниям совместно с радиоэлектронным оборудованием.



Рисунок 10 – Зависимость $Z(t)$, отсчитанная от точки контакта

Изготовление измерительных модулей оперативного контроля, входящих в состав экспериментальных образцов iPoRTH, в целом оказалось схожим с изготовлением макета МИОК, произведенном на предыдущем этапе.

Изготовление и сборка всех экспериментальных образцов iPoRTH осуществлялась по такой же схеме и была успешно осуществлена, инженерным составом команды исполнителей ПНИР. Конструкторский надзор продемонстрировал полноту подготовленной документации и возможность сборки экспериментальных образцов iPoRTH персоналом с инженерным образованием.

Проверка функциональных возможностей и факта достижения заявленных технических характеристик продемонстрировала правильность выбранных технических решений и работоспособность экспериментальных образцов iPoRTH.

Результаты и выводы раздела

Изготовление и сборка экспериментальных образцов iPoRTH была осуществлена в полном соответствии с эскизной конструкторской

документацией и продемонстрировала высокий уровень технологичности принятых решений и удобство работы с экспериментальным образцом iPoRTH при сборке и потенциальном ремонте. Собранные экспериментальные образцы iPoRTH продемонстрировали полноту функциональных возможностей прибора и пригодность его к эксплуатации лабораторных, цеховых и полевых условиях.

Акт изготовления приведен в Приложении В.

2 Разработка встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи

Работы раздела 2 выполнены соисполнителем работ, Обществом с ограниченной ответственностью «РЭА-Т».

Очень часто в едином центре по сбору данных происходит обработка данных с большого количества удаленных объектов. Такими объектами могут быть измерительные приборы, например, контролирующие целостность груза и скорость его перемещения по дороге или осуществляющие сейсмический мониторинг, измеряющие твердость.

Желательно, чтобы такие системы работали независимо от пользователя и не препятствовали тому, чтобы он осуществлял свою основную деятельность. Автоматический сбор и обработка данных, предоставляемых различными измерительными приборами, объединёнными в единую систему, должен быть реализован параллельно простому и доступному пользовательскому интерфейсу программы, не требующему от пользователя специального IT образования.

В едином дата центре может происходить обработка данных с большого количества удаленных объектов. Такими объектами могут быть как данные, полученные с использованием измерительных приборов, так и результаты интеллектуальной деятельности человека.

Сегодня концепция Интернет вещей (ИВ) быстро набирает популярность. Концепция и термин для неё впервые сформулированы в 1999 году Кевином Эптоном – основателем исследовательской группы Auto-ID при Массачусетском технологическом институте – на презентации для руководства Procter & Gamble. В презентации рассказывалось о том, как система управления логистическими цепями в корпорации может быть видоизменена всеобъемлющим внедрением радиочастотных меток.

Роб Ван Краненбург: «ИВ — концепция пространства, в котором все из аналогового и цифрового миров может быть совмещено – это переопределит наши отношения с объектами, а также свойства и суть самих

объектов». С точки зрения ИВ, по одному из определений: «вещь – любой реальный или виртуальный объект, который существует и перемещается в пространстве и времени и может быть однозначно определен». Одной из особенностей интернета является его жесткая регламентированность по части протоколов передачи данных и удивительная гибкость по части организации интернет сайтов и систем удаленного доступа. Таким образом, являясь универсальной и многофункциональной средой, интернет открывает огромные возможности для формирования уникальных систем сбора, хранения и администрирования данных. При этом, почти наверняка, полной унификации и монополизации в этой области никогда не произойдет, и актуальность конкретных разработок, работающих в режиме реального времени, будет только возрастать.

2.1 Основные принципы работы беспроводных сетей на основе интерфейса Bluetooth

Модуль беспроводной цифровой связи работает с использованием интерфейса Bluetooth. Bluetooth — современный беспроводной интерфейс, работающий в диапазоне 2,400-2,485 ГГц. Это нелицензируемый диапазон радиоволн, то есть нет необходимости получать разрешение на использование передатчиков, работающих в этом диапазоне. Это удобно, но создаёт дополнительные проблемы, поскольку в этом диапазоне работают сразу много устройств. Возможно возникновение помех, что усложняет создание надёжного канала связи. Мощность передатчиков всех устройств ограничена, поэтому, несмотря на большое количество передатчиков, в данной конкретной точке пространства взаимодействуют поля только нескольких из них. Это делает проблему помех проще, но не решает полностью.

Чтобы обеспечить максимальную развязку различных передатчиков, данные в протоколе Bluetooth передаются не на одной частоте, а на одном из 79 каналов. В некоторых других протоколах (например, Wi-Fi) каждый

главный передатчик (точка доступа) забирает себе один из каналов и постоянно работает на нём. Устройства, которые хотят подключиться к этой точке доступа, настраиваются на данный канал и ведут работу на нём. Каналы частично перекрываются. Надёжность связи обеспечивается малым количеством точек доступа на заданной территории, а также их стационарностью. В случае с Bluetooth на стационарность рассчитывать не представляется возможным, поскольку передатчики расположены, как правило, в портативных устройствах (смартфонах, головных телефонах и пр.). С этим связано большее количество каналов.

Настройку сетей Wi-Fi осуществляет системный администратор, действующий на заданной территории. Он в ручном режиме может обеспечить развязку точек доступа по каналам, поскольку он знает, какая точка доступа на каком канале работает. В случае Bluetooth из-за отсутствия какой-либо централизации необходимо использовать метод, который обеспечивал бы надёжную связь без априорного знания о распределении устройств по каналам. Для этого используются две основные технологии, описанные ниже.

2.2 Скачки частоты

Первый метод обеспечения надёжности связи — скачки частоты. Также он называется «псевдослучайная подстройка частоты» (ПППЧ). Метод основан на постоянной (каждые 625 мкс) смене канала приёмником и передатчиком после посылки каждого пакета. Каналы меняются случайным образом, что сильно уменьшает вероятность возникновения коллизии в канале передачи. Даже если коллизия возникнет (а она возникнет обязательно), ошибка возникнет только при передаче одного пакета. Его можно будет послать заново. В случае подхода с фиксированными каналами коллизии бы носили систематический характер.

Главная проблема передачи данных со скачками частоты — приёмник и передатчик должны договориться о том, на каких каналах они должны

вести передачу. Можно, конечно, в каждом пакете передавать информацию о том, какой канал будет следующим. Это, однако, приведёт к тому, что любой единичный сбой передачи разорвёт цепочку переходов — приёмник, не получив очередную частоту, не будет знать, где искать следующий пакет. С целью преодоления этой проблемы используется так называемый генератор псевдослучайных чисел. Генератор истинно случайных чисел — сложное устройство (программа), поскольку добиться случайности, в которой не будет просматриваться определённых закономерностей — непросто. Однако генератор истинно случайных чисел для реализации скачков частоты не поможет. Генератор псевдослучайных чисел (ГСЧ) — основной тип ГСЧ в программировании. Он отличается тем, что последовательность генерируемых чисел каждый раз повторяется, хотя она и отвечает требованиям равномерности распределения и иным, которые предъявляются к ГСЧ. Приведём пример, объясняющий это. Пусть функция-генератор называется `rand()` и возвращает числа в диапазоне от 0 до 16383. Тогда последовательные вызовы функции `rand()` будут возвращать новое псевдослучайное число:

```
int x;  
int n[5];  
for(x=0;x<5;x++)  
n[x]=rand();
```

После первого вызова программы в массиве `n` будут лежать какие-либо числа. Например: 17, 1003,10004,178, 13874. Если программу вызвать ещё раз, то в массиве будут располагаться те же числа: 17, 1003,10004,178, 13874. Если бы, однако, ГСЧ в компьютерных всегда работали таким образом, это бы приводило к систематическим помехам при передаче данных (в случае скачков по каналам), а также к повторяющимся ситуациям в компьютерных играх. Этого, однако, не происходит. Объясняется это тем, что кроме вызова генератора существует ещё одна функция — инициализация генератора. В случае языков Си и Си++, на которых написано ПО в рамках данного соглашения, такая функция называется `srand()`. У неё

один параметр, который служит так называемым «семенем» (seed) генератора. По умолчанию генератор инициализируется семенем «0», что и приводит к одинаковой последовательности при последовательных запусках программы. Если бы в качестве семени использовалось, скажем число 31337, то последовательность была бы другая. Например:

```
int x;  
int n[5];  
srand(31337);  
for(x=0;x<5;x++)  
n[x]=rand();
```

Теперь в массиве n будут другие числа: 879, 9999, 2748, 7481. При последующих запусках последовательность также будет сохраняться: 879, 9999, 2748, 7481. Теперь чтобы получить при разных запусках разные последовательности, необходимо получить одно-единственное случайное число — семя ГСЧ. После этого числа будут уже сгенерированы на его основании. Классическим методом получения одного случайного числа является текущее время. Естественно, данное число вовсе не случайно, однако оно очень хорошо подходит для инициализации ГСЧ. Такой метод приводит к интересным последствиям: два ГСЧ, инициализированные в пределах секунды, будут давать одинаковые последовательности чисел. Но можно и не инициализировать их одновременно. Можно взять текущее время и инициализировать первый генератор. Потом подать семя второму генератору. После этого второй генератор начнёт генерировать ту же последовательность, что и первый. Именно это используется в технологии Bluetooth.

Мы передаём каким-либо образом сгенерированное семя по широкополосному каналу связи (который фиксирован) дочерним устройствам, после чего по сигналу запускаем свои генераторы они будут выдавать одни и те же числа одновременно. Эти числа могут быть специальным образом преобразованы, чтобы представлять собой номер канала (например, при помощи остатка от деления: $x\%80$).

2.3 Динамическая регулировка ширины полосы

Чем больше передатчиков расположено на одной территории, тем чаще будут происходить коллизии, несмотря на скачки частоты. Коллизия в канале приводит к необходимости повторно посылать пакет. Это накладные расходы, которые ведут к потере скорости передачи. Чтобы уменьшить количество коллизий и увеличить скорость передачи используется технология, называемая AFH — Adaptive Frequency Hopping. Основное предназначение данной технологии — сокращение накладных расходов, связанных с ухудшением связи на отдельных каналах. Если система передачи определяет, что на каком-либо канале происходят слишком частые потери пакетов, данный канал исключается из списка доступных каналов. Через некоторое время передатчик пытается восстановить передачу на забракованном канале. Если сбои передачи пропали — канал возвращается в список доступных. В первую очередь это, конечно, может помочь в случае, когда на какой-либо частоте на данной территории существует систематическая помеха (работа постороннего оборудования и подобное).

2.4 Логическая структура сетей Bluetooth

Структурной единицей сетей Bluetooth является так называемая пиконет. Приставка «пико» указывает на небольшой размер сети. Все сети Bluetooth расположены на ограниченной территории в связи с малыми мощностями передатчиков (как правило, в условиях прямой видимости), поэтому размер сети небольшой. Конкретно — пиконеты состоят из одного задатчика (master) и нескольких подчинённых узлов (slave). Количество подчинённых узлов не может быть больше семи. Каждому узлу выдаётся логический адрес внутри пиконет. На этот адрес отводится три бита. Три же бита могут принимать только восемь различных значений. Что, за вычетом одного широковещательного адреса, и даёт семь возможных адресов. Именно из-за этого количество узлов в сети ограничено семью. Особенность

структуры с задатчиком заключается в том, что только задатчик может инициировать соединение или очередную операцию передачи данных. Подчинённые узлы лишь отвечают на запросы задатчика. Исключения составляют именно широковещательные запросы, на которые подчинённые узлы не отвечают вовсе, чтобы не создавать коллизию на линии. В этом случае для обеспечения надёжности связи задатчик передаёт пакет несколько раз. Все узлы пиконета следуют одной и той же последовательности скачков частоты, что позволяет им держать связь друг с другом. Частным — и наиболее распространённым — вариантом соединения является соединение двух устройств. Следует отметить, что подчинённые узлы пиконета могут общаться друг с другом только через задатчик. Однако каждый из подчинённых узлов может являться задатчиком для другой пиконеты, которую он организовал. То есть, устройство может быть подчинённым в одной пиконете и одновременно задатчиком в другой. Это называется распределённая сеть (scatternet).

2.5 Установление и поддержка соединения Bluetooth

Установление, поддержка и разрыв соединения осуществляется при помощи технологии, называемой LMP — Link Management Protocol.

Прежде, чем перейти к обмену данными по скачущим частотам, устройства должны договориться о том, как они будут это делать. С этого и начинается создание соединения по Bluetooth. Задатчик переходит в режим опроса, в котором он транслирует короткие пакеты по 32 каналам из 80. Устройства, которые в этот момент желают подключиться к задатчику, отвечают на запрос при помощи FHS-пакета, т.к. сами в это время проверяют наличие пакетов по всем каналам. FHS-пакет содержит в себе идентификатор устройства, тактовую частоту и другие сведения, позволяющие с ним общаться. Если задатчик хочет соединиться с ответившим устройством, он переходит в режим запроса, который отличается тем, что ищутся не все устройства, а уже конкретное устройство, о котором уже кое-что известно, а

именно его уникальный идентификатор и настройки тактовой частоты. В этом случае также происходит поиск устройства только по сокращённому набору из 32 каналов (которые разбиты на две подгруппы по 16 каналов, которые чередуются). В запросах содержится код доступа к каналу, который обеспечивает инициализацию ГСЧ, позволяющую производить скачки частоты у приёмника и передатчика синхронным образом. Когда искомое устройство получает код доступа к каналу, оно подтверждает его получение FHS-пакетом. После этого обмен данными может быть осуществлён уже на полном диапазоне частот. Задатчик посылает запрос POLL в соответствии с посланным кодом доступа. Если подчинённому устройству удалось получить пакет, оно отвечает на него любым пакетом. После этого можно начинать обмен данными.

Результаты и выводы раздела

В ходе работ по проекту была проведена разработка встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи, входящего в состав портативного роботизированного твердомера iPoRTH. Для того, чтобы разрабатываемое программное обеспечение отвечало современным требованиям, предъявляемым к подобного рода системам, предварительно был проведен анализ существующих в мире научно-технических концепций и подходов по соответствующей проблематике; выбор подходящей программной платформы для наиболее оптимального решения поставленных задач и способа обмена данными между устройствами распределенной измерительной системы.

ПО модуля беспроводной цифровой связи разработано в соответствии с п. 3.39, ТЗ и п. 3.2 ПГ.

Соответствующая программная документация в составе:

- Описание программы RU.iPoRTH.00001-01 13 03,
- Текст программы RU.iPoRTH.00001-01 12 03,
- Руководство оператора RU. iPoRTH.00001-01 34 03

приведена в Приложении Г.

3 Разработка Программы и методик испытаний встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи

Работы раздела 3 выполнены соисполнителем работ, Обществом с ограниченной ответственностью «РЭА-Т».

Общие положения разрабатываемой методики включают в себя:

- наименование объекта испытаний, цель испытаний, условия предъявления объекта испытаний на испытания;
- Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний (Место проведения испытаний, Требования к средствам проведения испытаний, Требования к условиям проведения испытаний, Требования к подготовке объекта к испытаниям).

Требования безопасности при проведении испытаний регламентируются ГОСТ 12.3.019-80.

Программа испытаний должна включать в себя процедуры, необходимые для подтверждения работоспособности разработанного программного обеспечения, а также его соответствие пунктам ТЗ, в которых заявлены требования к ПО, а именно:

4.3.1.2.15 Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи предназначено для обмена данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных.

4.3.1.3.14 Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи должно быть написано с применением языков программирования С и ассемблер.

4.3.1.3.15 Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи должно быть построено без использования предустановленных операционных систем.

4.3.1.3.17 Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи должно обеспечивать возможность приема и передачи данных по интерфейсу Bluetooth версии не ниже 4.2.

Раздел 5 «Режимы испытаний» включает в себя описание порядка испытаний, ограничений и других указаний, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний, а также условия перерыва, аннулирования и возобновления испытаний.

В разделе 6 приведено описание методов испытаний ПО. В процессе составления методики испытания программного обеспечения необходимо определить перечень исследуемых характеристик и параметров, исходных данных и критериев, которым должны удовлетворять результаты, полученные испытываемым ПО.

В методике аттестации:

- приводится перечень исследуемых характеристик, свойств и параметров ПО, а также критерии, позволяющие производить оценку характеристик аттестуемого ПО;
- определяются и описываются методы аттестации, которые должны обеспечить проверку всех основных функций аттестуемого ПО, а также его соответствие требованиям к ПО;
- описывается последовательность действий при проведении процедуры аттестации ПО.

Поскольку разработка ПО проводится в рамках Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный

идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274), то испытаниям подлежит только метрологически значимая часть ПО.

К метрологически значимой части ПО относятся:

- программы и программные модули, принимающие участие в обработке (расчетах) результатов измерений или влияющие на них;
- программы и программные модули, осуществляющие представление измерительной информации, ее хранение и передачу, идентификацию и обновление (загрузку) ПО, защиту ПО и данных;
- параметры ПО СИ, участвующие в вычислениях и влияющие на результат измерений;
- компоненты защищенного интерфейса для обмена данными между метрологически значимыми и незначимыми частями ПО.

Проверка структуры программного обеспечения производится через установление отсутствия недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО и данные, осуществляемого через интерфейс пользователя и интерфейс связи, проверку правильности взаимодействия между метрологически значимой и незначимой частями ПО.

В ходе разработки ПМ необходимыми методами проверки ПО были признаны следующие пункты:

1. Проверка документации
2. Проверка разделения программного обеспечения
3. Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения
4. Проверка структуры программного обеспечения
5. Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений
6. Проверка защиты программного обеспечения и определение ее уровня

К характеристикам ПО относятся:

- идентификационные данные (признаки): **наименование ПО, номер версии** метрологически значимой части ПО, **контрольная сумма** метрологически значимой части ПО;

- степень влияния на метрологические характеристики (МХ);

- уровень защиты от непреднамеренных и преднамеренных изменений.

- степень соответствия ПО сопровождающей документации (проверяется перечень всех команд интерфейса пользователя вместе с изложением способа их организации (пункты меню, кнопки, поля ввода и т.д.), описание их назначения и воздействия на функции прибора и/или данные);

- разделение на метрологически значимую и незначимую части;

- наличие или отсутствие защищенных интерфейсов;

- другие характеристики, согласованные между Заказчиком аттестации и ее Исполнителем.

Идентификация ПО в данной методике осуществляется при помощи:

- интерфейса пользователя;
- интерфейса связи (на экране персонального компьютера, подключенного к прибору).

На основе анализа документации и проведения функциональных проверок определяют реализованные методы идентификации ПО. В разрабатываемой методике идентификация ПО предполагается с использованием специальных аппаратно-программных средств (программатор-внутрисхемный отладчик PICKit 4).

Проведением функциональных проверок всех команд интерфейса пользователя ПО СИ убеждаются в их соответствии описанным в документации. Проверяется однозначное назначение каждой команды для инициирования функции или изменения данных в соответствии с представленной документацией

С помощью функциональных проверок убеждаются, что команды и данные, введенные через интерфейс пользователя ПО, не оказывают влияние на достоверность результатов измерений. При этом проверяют:

- возможность обнаружения программным обеспечением СИ неправильно введенных через интерфейс пользователя данных (например, данных, превышающих установленные ограничения) и выдачу соответствующего предупреждения;
- невозможность изменения значений параметров ПО СИ, участвующих в вычислениях и влияющих на результат измерений, с помощью команд и данных, вводимых через интерфейс пользователя во время проведения измерений;
- невозможность искажения значений измеренных данных, хранящихся в памяти СИ, с помощью команд и данных, вводимых через интерфейс пользователя.

Для функциональных проверок разрабатываемого встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи было решено использовать сравнительные испытания с использованием моделей исходных данных. Этот метод позволяет оценивать наличие ошибок при формировании пакетов данных, при их передаче по каналу связи и при их приеме. Проверка производится при помощи сравнения контрольных сумм данных (хэшей). При проверке пересылки данных из модуля беспроводной цифровой связи в блок вычислительный сбора и обработки данных хэши можно наблюдать в главном окне программы. При проверке пересылки данных из блока вычислительного сбора и обработки данных в модуль беспроводной цифровой связи существует два метода проверки: косвенный и прямой:

Косвенный метод основывается на том, что ПО модуля беспроводной цифровой связи не отвечает на запросы с несовпадающим хэшем. Поэтому при отображении сообщения о наличии ответа на стороне блока вычислительного сбора и обработки данных можно однозначно судить об

отсутствии ошибки передачи данных. В то же время отображение сообщения об ошибке при передаче может свидетельствовать не только об ошибке передачи, но и, к примеру, о внезапном выключении питания МИОК, что не имеет отношения к испытаниям модуля беспроводной цифровой связи.

Прямой метод основывается на сравнении значений хэшей во внутренних переменных встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи. Это требует работы модуля с подключённым внутрисхемным отладчиком (например, РІСКіт 4), поскольку модуль беспроводной цифровой связи со стороны МИОК не имеет пользовательского интерфейса. При применении данного метода требуется прервать выполнение прошивки после выполнения проверяемой команды, а потом проверить внутрисхемным отладчиком значения переменных, содержащих предполагаемую и вычисленную контрольные суммы. В случае совпадения контрольных сумм следует считать, что передача данных произошла без ошибок. Минусом данного метода является отступление работы встроенного ПО от рабочего режима из-за приостановки выполнения. В связи с этим было принято решение использовать косвенный метод проверки за исключением случаев возникновения ошибок. При возникновении ошибок необходимо прямым методом проверить, была ли ошибка связана с процессом передачи данных или нет.

Метод моделей исходных данных является разновидностью метода генерации «эталонных» данных, когда эти данные не генерируются специально разработанной программой, а программно задаются на входе тестируемого ПО. Модели исходных данных выбираются таким образом, чтобы они максимально соответствовали частной измерительной задаче, решаемой тестируемыми алгоритмами. При этом модели исходных данных должны охватывать как можно больший диапазон возможных значений, поступающих на обработку.

В модели исходных данных могут быть включены:

- данные, полностью перекрывающие диапазон возможных значений,

- данные, близкие к наибольшим и наименьшим значениям, а также ряд промежуточных значений;
- особые значения входных переменных - точки резкого возрастания или разрыва производных, нулевые, единичные и предельно малые численные значения переменных и т.п.

Если значения некоторой переменной зависят от значения другой переменной, то тестирование проводят при особых сочетаниях этих переменных, таких, как равенство обеих переменных, малое и предельно большое их различие, нулевые и единичные значения и т.п.

Поскольку стандартные регламенты испытаний ПО для средств измерений включают в себя проверку уровня защиты программного обеспечения, в Программе и методиках прописан соответствующий пункт (проверка наличия/отсутствия защиты ПО). Однако, разрабатываемое ПО принадлежит экспериментальному образцу портативного роботизированного твердомера. При выполнении работ по ПНИЭР не предполагается разработки защиты для программного обеспечения.

В разделе 7 разрабатываемой Программы и методик испытаний встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи указаны требования к отчетности после проведенных по ПМ испытаний.

Результаты и выводы раздела

Программа и методики испытаний встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи RU.iPoRTH.00001-01 51 03, приведенные в Приложении Б, были разработаны в соответствии с П 3.40 ТЗ и п. 3.3 ШГ.

4 Проведение испытаний встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи

В соответствии с Программой и методиками испытаний встроенного ПО блока беспроводной цифровой связи была проведена проверка документации. В ходе проверки установлено, что программная документация соответствует разработанному программному обеспечению.

Было проверено наличие перечня всех команд интерфейса пользователя. В ходе проверки установлено, что в документации приведены все имеющиеся команды, изложен способ их организации (кнопки, поля ввода, пункты меню и т.д.), описание их назначения и воздействия на функции прибора и данные.

4.1 Проверка разделения программного обеспечения на метрологически значимую и не значимую части

ПО состоит из трёх блоков — блок управления модулем беспроводной цифровой связи, блок управления передачей данных, и блок управления беспроводной цифровой связью.

Блок управления модулем беспроводной цифровой связи занимается, в том числе, приёмом измеренных значений из модуля беспроводной цифровой связи, таким образом, он относится к метрологически значимой части программы.

Блок беспроводной цифровой связи занимается отправкой измеренных значений в блок вычислительный сбора и обработки данных, таким образом, он тоже относится к метрологически значимой части ПО.

Блок управления передачей данных формирует пакеты данных, предназначенные для отправки блоком беспроводной цифровой связи, таким образом, он тоже относится к метрологически значимой части ПО.

4.2 Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения

4.2.1 Прошивка модуля беспроводной цифровой связи

В соответствии с исходным кодом программы, у прошивки должны быть следующие идентификационные признаки:

Наименование ПО: SI-MBCS.hex;

Номер версии ПО: 1.0;

Контрольная сумма (CRC32): 0x BBB2EFA2;

Размер файла: 736171 байт.

Проверка размера, наименования и контрольной суммой прошивки были произведены непосредственно перед прошиванием модуля беспроводной цифровой связи. Идентификационные данные совпали. Номер версии был проверен путём отправки запущенному микроконтроллеру команды, которая сообщает номер версии прошивки. Номер версии совпал.

4.2.2 Блок управления модулем беспроводной цифровой связи

В соответствии с исходным кодом программы, у исполняемого файла должны быть следующие идентификационные признаки:

Наименование ПО: mbcс.exe;

Номер версии ПО: 1.0;

Контрольная сумма (CRC32): 0x663AB377;

Размер файла: 161280 байт.

Перед испытаниями была произведена проверка файла mbcс.exe. Проверка показала, что контрольная сумма, размер файла и наименование ПО совпадают с необходимым. Номер версии был проверен после запуска ПО в диалоговом окне «О проекте mbcс...». Номер версии совпал с необходимым.

Было проверено, что встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи написано с применением языков программирования С, а также совместимо с компилятором версии XC32.

4.3 Проверка структуры программного обеспечения

4.3.1 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя

С целью проверки недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя, были произведены нажатия управляющих кнопок в интерфейсе во время произведения измерений. Проверка показала:

а) Нажатие кнопок настройки параметров измерений не функционирует, что соответствует руководству оператора, при этом процесс измерения не нарушается и не прерывается, поскольку не происходит передача данных в блок беспроводной цифровой связи. Приём данных из блока беспроводной цифровой связи происходит штатно.

б) Нажатие кнопки запуска измерений произвести также не удалось, поскольку она блокируется до окончания текущего измерения. Таким образом, влияние на метрологически значимую часть ПО отсутствует.

Таким образом, недопустимое влияние на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя, отсутствует.

4.3.2 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через беспроводной интерфейс связи

Соединение модуля беспроводной цифровой связи с блоком вычислительным сбора и обработки данных осуществляется посредством интерфейса Bluetooth.

Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс связи, осуществлялась при помощи сверки контрольных сумм пакетов. Контрольные суммы вычисляются в соответствии со стандартным алгоритмом CRC-16. Алгоритм представляет собой циклический избыточный код (cyclic redundancy code). Алгоритм основан на последовательном побитовом просмотре сообщения (или файла) с окном просмотра в 16 бит. После сдвига на каждый бит вычисляется остаток от деления полинома, расположенного в окне на полином алгоритма (который в данном случае равен $x^{16}+x^{15}+x^2+x^1$). В качестве начального значения окна используется значение 0xFFFF. Остаток от деления вычисляется путём вычисления функции XOR (исключающее или) между окном и только что выдвинутым из окна битом. Когда сообщение заканчивается, в окне будет находиться результат вычисления контрольной суммы.

Передающая сторона после формирования сообщения вычисляет его контрольную сумму в соответствии с алгоритмом, описанным выше. При передаче контрольная сумма дописывается в конец сообщения, и они передаются совместно. Принимающая сторона использует тот же алгоритм вычисления контрольной суммы, что и передающая, поэтому если принимающая сторона вычислит контрольную сумму принятого пакета, то в случае отсутствия ошибок будет неизбежно получено то же значение, что и на передающей стороне. Принимающая сторона вычисляет значение контрольной суммы пакета без учёта дополнительно принятой контрольной суммы (в интерфейсе пользователя это называется «вычисленный хэш») и сравнивает его с тем значением, что было передано передающей стороной (в интерфейсе пользователя это называется «ожидаемый хэш»). Если значения хэшей совпали, принимающая сторона делает заключение, что ошибок при передаче данных не произошло. Если же значения хэшей не совпадают, то пакет игнорируется и выдаётся сообщение об ошибке.

Для оценки правильности передачи данных использовалась функция «Тестовый запрос» с установленным флажком «Режим тестирования». В данном режиме блок вычислительный сбора и обработки данных передаёт в модуль беспроводной цифровой связи пакеты различной длины и содержимого, а блок беспроводной цифровой связи возвращает их обратно. Список пакетов и их содержимое, использованное при тестировании, приведены в таблице 1. После того, как все пакеты пересланы, передача пакетов начинается с начала, с п.1 – и далее по кругу.

Таблица 1. Список пакетов передаваемых по кнопке «Тестовый запрос»

| № п/п | Длина пакета | Содержимое пакета |
|-------|--------------|---|
| 1 | 256 | Паттерн 0x00000000 |
| 2 | 256 | Паттерн 0xFFFFFFFF |
| 3 | 256 | Паттерн 0x55AA55AA |
| 4 | 256 | Паттерн 0xDEADBEEF |
| 5 | 256 | Псевдослучайные числа, ГСЧ: srand(), seed=0 |
| 6 | 1024 | Паттерн 0x00000000 |
| 7 | 1024 | Паттерн 0xFFFFFFFF |
| 8 | 1024 | Паттерн 0x55AA55AA |
| 9 | 1024 | Паттерн 0xDEADBEEF |
| 10 | 1024 | Псевдослучайные числа, ГСЧ: srand(), seed=0 |
| 11 | 65536 | Паттерн 0x00000000 |
| 12 | 65536 | Паттерн 0xFFFFFFFF |
| 13 | 65536 | Паттерн 0x55AA55AA |
| 14 | 65536 | Паттерн 0xDEADBEEF |
| 15 | 65536 | Псевдослучайные числа, ГСЧ: srand(), seed=0 |

Во время испытаний ошибок не возникло, таким образом, недопустимое влияние на метрологически значимую часть ПО отсутствует.

4.4 Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерения

4.4.1 Оценка влияния блока управления передачей данных на метрологические характеристики средств измерений

Суть проверки заключалась в сличении данных, присутствующих в памяти микроконтроллера, с данными, которые оказались приняты в блок

вычислительный сбора и обработки данных после завершения процесса измерения. Смысл тестирования заключался в проверке того, что программный блок управления передачей данных верно разбивает данные на пакеты, а принимающая сторона верно собирает данные из присланных пакетов.

Данные передаются из модуля беспроводной цифровой связи в блок вычислительный сбора и обработки данных пакетами. Размер пакета составляет 246 байт, из них данными заняты 240 байт. Остальное место занимают служебные сведения, включая контрольную сумму.

В модуль беспроводной цифровой связи были заранее загружены модели исходных данных, после чего была проведена проверка правильности их загрузки. Получение их из модуля осуществляется при нажатии кнопки «Получить данные» при установленном флажке «Режим тестирования». В этом случае вместо реальных измеренных данных модуль беспроводной цифровой связи передаёт модели данных в соответствии с таблицей 2. Модели были разработаны в соответствии с методом модельных данных, описанном в п. 3.3. После того, как все модели переданы, модуль начинает передавать данные циклически, начиная с п. 1.

Таблица 2. Модели данных для испытания блока управления передачей данных

| №п/п | Состав модельных данных |
|------|--|
| 1 | Данные, близкие к минимальным измеряемым значениям: измеряемый сигнал (с учётом шума) постоянен и близок к минимальному допустимому значению. |
| 2 | Данные, близкие к максимальным измеряемым значениям: измеряемый сигнал (с учётом шума) постоянен и близок к минимальному допустимому значению. |
| 3 | Данные, покрывающие весь диапазон возможных значений: измеряемый сигнал представляет собой синусоиду, размах которой покрывает диапазон возможных значений; $f=1$ кГц. |
| 4 | Промежуточные значения: данные, полученных во время одного из фактических измерений; в этом случае во время тестирования измерения не проводятся, всё время передаётся одна и та же модель, которая была загружена в модуль до начала испытаний. |

Особые значения входных переменных, такие как точки резкого возрастания или разрыва производных и т.п. в модели включены не были, поскольку такие значения не наблюдаются в процессе измерений.

В данном случае в окне интерфейса пользователя вместо хэша отдельных пакетов выдаётся хэш всей модели данных. Поскольку перед началом испытаний была проведена проверка моделей данных, загруженных в модуль беспроводной цифровой связи, на отсутствие ошибок, из этого следует, что совпадение ожидаемого и полученного хэша с необходимостью влечёт отсутствие ошибок при формировании пакетов, их передаче и последующем сохранении в блоке вычислительном сбора и обработки данных.

Во время испытаний ошибок не возникло, таким образом, влияние ПО на метрологические характеристики средств измерения отсутствует.

4.5 Проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня.

Поскольку данное программное обеспечение предназначено для работы исключительно в составе экспериментального образца, защита программного обеспечения не разрабатывалась. В связи с этим, проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня не проводилось.

Результаты и выводы раздела

Испытания встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи было проведено в соответствии с разработанной Программой и методиками испытаний (Приложение Б). Проведенные испытания соответствуют пункту 3.41 ТЗ и п. 3.4 ПГ, а объект испытаний удовлетворяет требованиям пп. 4.3.1.2.15, 4.3.1.3.14, 4.3.1.3.15, 4.3.1.3.17 ТЗ. Акт и протокол испытаний приведены в приложении В.

5 Разработка пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений

5.1 Обзор существующих решений для администрирования результатов измерений

При проведении научных исследований очень важным является налаживание системы доступа к данным, полученным в ходе экспериментов, а также результатам обработки измерений. Для широкого класса задач в качестве структур, в которые могут быть организованы данные, применяются базы данных. Для практического использования баз данных крайне важным оказывается наличие web-доступа. То, каким образом он может быть организован, описано ниже.

Создание, редактирование, организация структуры веб-сайта осуществляются посредством специального программного обеспечения – системы управления контентом (содержимым) – CMS (Content Management System). Любую CMS можно разделить на два хранилища. Первое – это хранилище данных, представляющее собой базу данных с содержимым веб-страниц и пользовательскими настройками. Второе – элементы визуализации, предоставляющие пользователю удобно отформатированный интерфейсный доступ к содержимому веб-сайта. Для разработки базы данных под конкретные задачи и реализации ее интерфейсного управления важно выбрать нужную CMS.

Для разработки веб-приложений, в частности, динамических веб-сайтов, интенсивно применяется скриптовый язык общего назначения PHP, в настоящее время поддерживаемый подавляющим большинством хостинг-провайдеров. В отличие от Perl или C, скрипт PHP содержит HTML с встроенным кодом (вместо рутинного вывода HTML-кода командами языка). Код PHP отделяется специальными начальным и конечным тегами `<?php` и `?>`, которые позволяют "переключаться" в "PHP-режим" и выходить из него.

PHP имеет ряд особенностей. Он отличается от JavaScript тем, что PHP-скрипты выполняются на сервере и генерируют HTML, посылаемый клиенту. При таком способе организации данных существует возможность обработки PHP процессором HTML файлов. Так что клиенты не могут знать, получают ли они обычный HTML-файл или результат выполнения скрипта.

Логика работы любой Content Management System базируется на следующих ключевых моментах:

1. ПО для управления контентом должно обеспечивать удобное создание новых и редактирование старых материалов проекта, а также организовывать структурирование этих материалов. Обычно для этого в CMS используются удобные визуальные редакторы, позволяющие оформлять текст будущих статей в полном соответствии с конечным внешним видом веб-страницы, что исключает необходимость наличия у пользователя навыков работы с HTML или CSS.

2. Все материалы проекта сайт должен хранить в базе данных. Это требование иногда может нарушаться (в таком случае данные хранятся в файлах).

3. При каждом обращении к веб-серверу запрошенные пользователями страницы должны создаваться динамически, с добавлением информации из базы данных. Большое количество посетителей создает трудности для работы web-сервера, сократить которые удастся благодаря кэшированию. Кэширование подразумевает хранение созданных веб-страниц на сервере в виде готовых файлов, которые предполагается только открывать, но не создавать заново, что существенно снижает нагрузку на процессор и занятый объем оперативной памяти.

Существуют CMS с открытым исходным кодом (доступные для просмотра, изучения, редактирования и создания на их основе нового ПО), а также проприетарные (защищенные создателями, либо правообладателями, код которых закрыт). Примерами открытых систем управления сайта

являются Joomla, Drupal, Wordpress, проприетарных – Microsoft SharePoint Server, Site Sapiens ECMP, UlterSuite CMS.

На Интернет-ресурсе iTrack размещается информация, позволяющая построить актуальный на данный момент рейтинг CMS. Пример такого рейтинга показан на рис. 11.

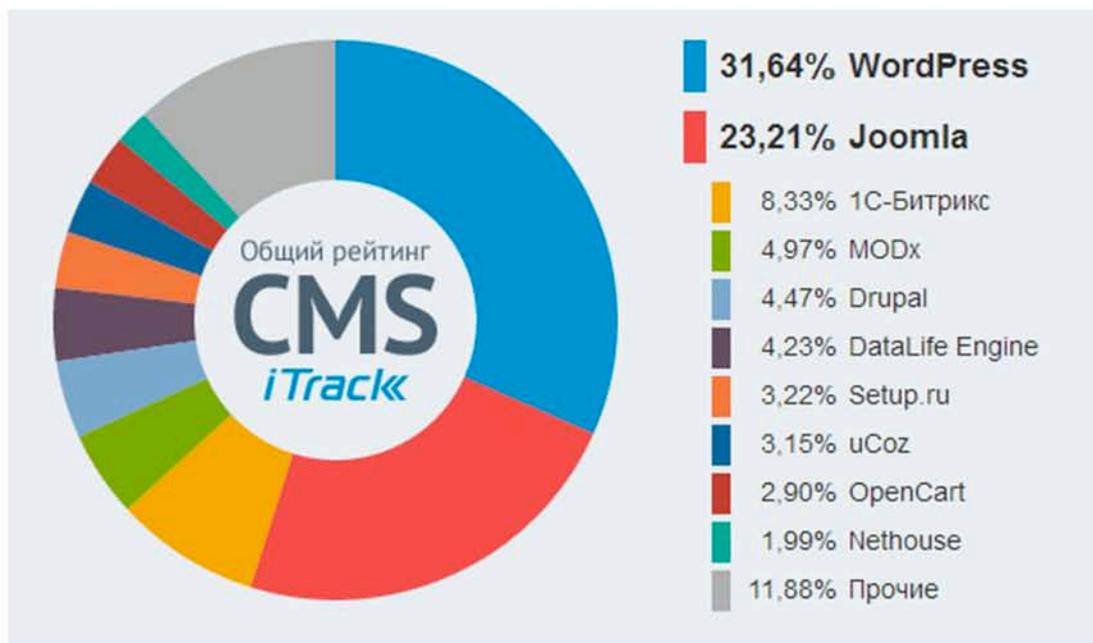


Рисунок 11 – Общий рейтинг CMS

Близкие данные были получены в русскоязычном сегменте Интернета компанией Яндекс (рис. 12).

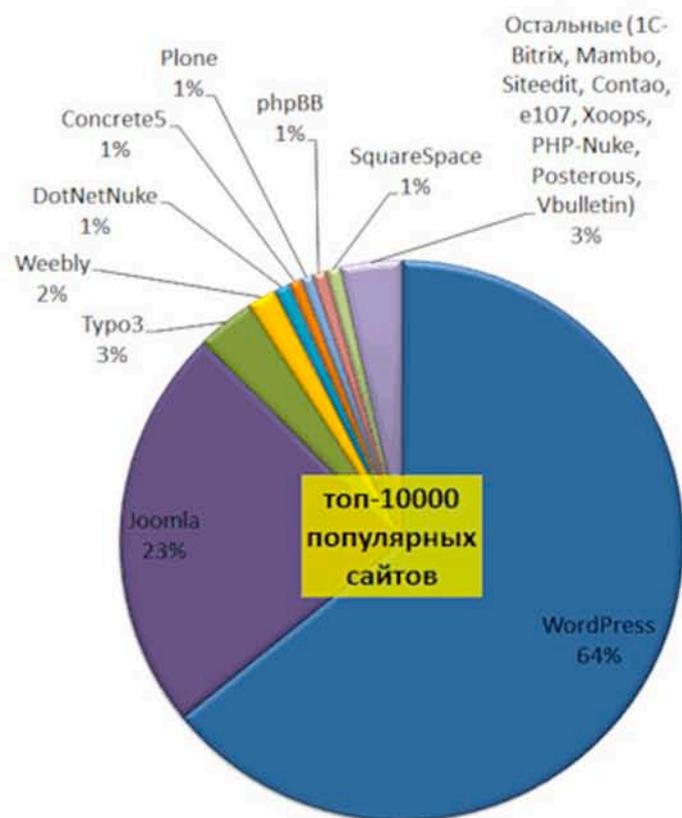


Рисунок 12 – Рейтинг CMS в русскоязычном сегменте Интернета

Среди исключительно бесплатных CMS по статистике использования можно сделать вывод, что доля двух лидеров общего рейтинга – WordPress и Joomla! – увеличивается с 55% до почти 70% (рис. 13).

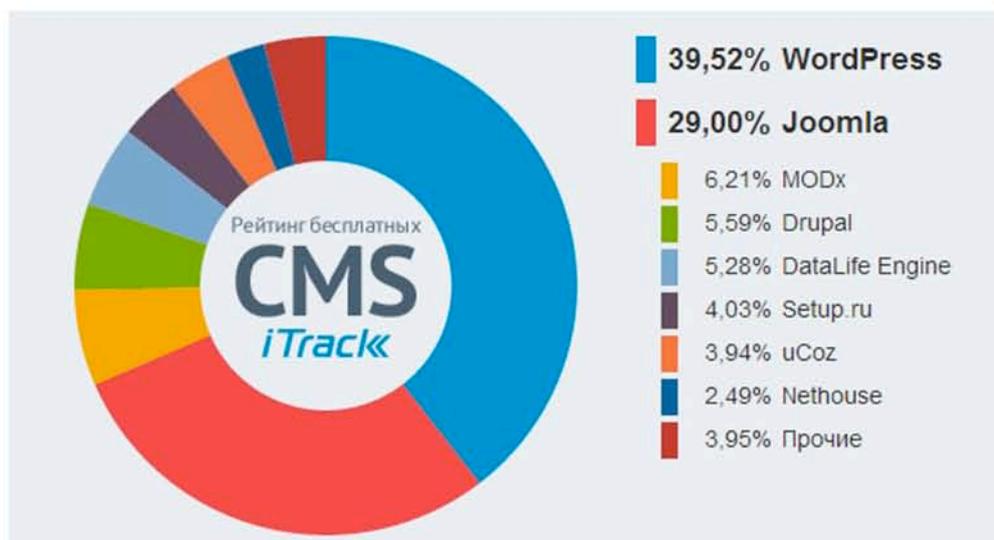


Рисунок 13 – Общий рейтинг бесплатных CMS

5.1.1 WordPress

Свободно распространяемый CMS WordPress отличается многофункциональностью (за счет плагинов), простотой в использовании,

доступностью (существует множество бесплатных тем и шаблонов дизайна, которые можно доработать). Кроме того, существует возможность интеграции со сторонними сервисами: Livejournal, Instagram, Atom, RSS, trackback, pingback и т.д., а также подключение к базе данных MySQL, управление которой может быть обеспечено с помощью phpmyadmin.

К недостаткам CMS WordPress можно отнести:

- Низкую функциональность базовой версии, для расширения возможностей которой требуется подключение плагинов;
- Возможные конфликты между используемыми плагинами из-за их разнородности (они отличаются по методам разработки и качеству);
- Низкую скорость загрузки, обусловленную нагрузкой на сервер из-за большого количества плагинов.

5.1.2 Joomla!

Еще одна бесплатная CMS с открытым исходным кодом, написанная на языках PHP и JavaScript, – Joomla. Расширение функционала в Joomla происходит также, как и в WordPress – за счет наличия модулей и дополнений.

Ключевыми преимуществами данной системы являются: распространение по стандартной общественной лицензии GPL (модули и плагины также свободны), наличие готовых дизайнерских решений и обучающих материалов (это облегчает освоение новой CMS для разработчика), многие из которых бесплатны; простота в установке и отсутствие особых требований к хостингу (работает на серверах с ОС Linux, Mac OS и других); поддержка более 60 языков, настройка прав доступа и групповое администрирование, встроенный менеджер рассылки новостей, возможность создавать неограниченное количество страниц и т.д.

Работу с Joomla осложняет ряд недостатков: многоуровневая панель управления, трудности с модернизацией (при наличии простой установки все же требуется доработка); невысокое качество модулей и отсутствие

технической поддержки, избыточность кода и неоптимизированные дополнительные модули, снижающие скорость работы сайта; из-за низкого качества плагинов могут возникать проблемы с безопасностью; оптимизацией под поисковые системы.

5.1.3 MODX

Бесплатной системе управления контентом сайта с открытым исходным кодом MODX, написанной на PHP, свойственно хранение данных использованием MS SQL, MySQL или СУБД, а также Modx Revolution.

Скромные требования к хостингу (необходима только поддержка PHP, веб-сервера IIS или Apache и базы данных MySQL), кроссбраузерность (можно создавать любые сайты на стандартах CSS и XHTML, адаптирующиеся под различные браузеры) и универсальность (могут быть использованы серверы IIS, Apache, Nginx, Lighttpd и Zeus, облачные хранилища Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) или MODX Cloud) обуславливают популярность данной системы. Важным фактором является контроль над выводом HTML-кода: работа CMS и дизайна разделена, а наличие синтаксиса тегов позволяет не затрагивать чистый код шаблона.

Сложности при поиске информации, малое количество готовых шаблонов по сравнению с другими бесплатными CMS, собственная терминология (веб-страница имеет название «ресурс», а повторяющиеся элементы HTML-разметки — «чанки»), необходимость плагинов, многие из которых платные, недостатки в системе безопасности (требуется отслеживать защиту в ручном режиме: обновлять систему, шифровать соединения и т.д.) можно отнести к недостаткам CMS MODX.

Описанные выше системы, управляющие работой сайта, представляющего каталог отчетов по исследованиям, главным образом, должны осуществлять хорошее взаимодействие базы данных и интерфейса. А именно, требуется удобный вывод данных на веб-страницу, их

эффективная фильтрация и возможность применения инструмента для добавления в таблицу новых записей через интерфейс, а не посредством панели администрирования сайта. Такие задачи актуальны в случае наличия большого парка разнообразных приборов, многих пользователей (как в Центре коллективного пользователя). Однако, когда требуется организовать систему для администрирования данных, получаемых с единичного прибора, такая система является избыточной. Выбранные технические решения, использованные в разработке пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений приведены в подразделе ниже.

5.2 Используемые в разработке пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений методы

5.2.1 Среда разработки Qt

Среда разработки Qt – это кроссплатформенный фреймворк для разработки программных продуктов на языке C++. Первый выпуск библиотеки вышел в далеком 1995, но разработка этой среды продолжается и по сей день.

Qt используется в большом количестве успешных коммерческих продуктах, таких как Autodesk Maya, Skype, Telegram, Mathematica, DreamWorks, Lucasfilm и многих других, что является хорошей гарантией качества и надежности этой среды разработки.

Очень большим преимуществом Qt, по сравнению с другими средами, является наличие хорошей, подробной документации с сопутствующими ссылками на примеры использования, что значительно ускоряет процесс разработки ПО.

Основным достоинством этой среды является способность запускать написанные программы на практически любой современной операционной

системе (Android, Microsoft Windows, Linux, Cisco IOS и macOS). Для этого необходимо просто перекомпилировать исходные коды без какого-либо их изменения. Qt является объектно-ориентированной средой, что позволяет разрабатывать большие по объему и сложные по функционалу программные комплексы.

Объектно-ориентированный подход позволяет легко модифицировать код с минимизацией появления ошибок, обеспечивает хорошую расширяемость программной модели и естественную декомпозицию программного кода за счет заложенных принципов в этой модели – абстракции данных, инкапсуляции, наследования и полиморфизма. К минусам можно отнести только повышенные требования к квалификации программистов и сложный начальный этап проектирования программной архитектуры.

За счет абстракции общая задача разбивается на множество более мелких и несвязанных, либо слабосвязанных задач, которые могут разрабатываться независимо и разными людьми.

Инкапсуляция дает возможность распределить хранение данных только там, где оно действительно необходимо. Она обеспечивает безопасное хранение данных и позволяет организовывать процессы взаимодействия между классами без необходимости передавать данные между ними.

Наследование позволяет эффективно расширять функциональность своих и подключаемых классов Qt.

Полиморфизм удобен при разработке больших программных комплексов и позволяет не плодить множество однотипных названий методов или функций.

5.2.2 Модуль QtCore

Классы ядра библиотеки, которые обеспечивают механизм взаимодействия сигналов и слотов. Является базовым неграфическим классом, который используется всеми остальными модулями.

5.2.3 Модуль QtGui

Компоненты графического интерфейса. Предоставляют классы интеграции оконных графических систем, обработки событий, поддержку OpenGL, двумерной графики и отображения текста с необходимыми шрифтами.

5.2.4 Модуль QtMultimedia

Компонент для поддержки воспроизведения и записи видеопотока с камеры цифрового микроскопа. Предоставляет необходимый программный интерфейс для доступа к функционалу видеокамеры.

5.2.5 Модуль QtMultimediaWidgets

Компонент для поддержки воспроизведения и записи видеопотока с камеры цифрового микроскопа. Предоставляет элемент графического интерфейса для доступа к программному интерфейсу доступа к функционалу видеокамеры.

5.2.6 Модуль QtNetwork

Компонент для работы с сетью. Предоставляет классы, облегчающие и унифицирующие разработку сетевого взаимодействия.

5.2.7 Библиотека OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – это библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом. Первоначально была разработана компанией Intel, а теперь является бесплатной (распространяется по лицензии BSD) кроссплатформенной библиотекой обработки изображений в реальном времени. Используется как в академических

учреждениях, так и в промышленности. Содержит алгоритмы компьютерного зрения, обработки изображений и численные алгоритмы общего назначения с открытым кодом. Написан на языке программирования C++, который является и основным языком программных интерфейсов OpenCV. Поддерживается большим количеством операционных систем - Windows, Linux, macOS, FreeBSD, Android, iOS и другими.

OpenCV предоставляет гибкие средства взаимодействия графического интерфейса пользователя. Если OpenCV откомпилирована с поддержкой Qt (в CMake был задан параметр WITH_QT), то появляется целый ряд дополнительных функций для конструирования развитых пользовательских интерфейсов. Например, в созданном с помощью функций из модуля highgui окне будет присутствовать панель инструментов с командами панорамирования, изменения масштаба, сохранения и открытия окна свойств.

Библиотека OpenCV позволяет захватывать кадры с камеры микроскопа в режиме реального времени. Для подключения к камере используется конструктор класса VideoCapture:

```
// открыть камеру по индексу
cv::VideoCapture cap = (cameraIndex);
cameraSetting(cap);
cv::Mat img; // полученный кадр
bool result = false; // результат получения кадра
if (cap.isOpened() == false) {
    std::cout << "Cannot open the video camera";
    std::cin.get();
}
else {
    result = cap.read(img);
}
```

Класс `cv::Mat` основная структура данных в OpenCV для хранения и обработки изображений. Он применяется для представления плотных n -мерных мультисканальных массивов. В нашем случае используется двухмерная пространственная структура с 3 компонентами цветности RGB (красный, зеленый, синий). Библиотека обеспечивает механизм

автоматического выделения памяти для этой структуры данных и её освобождения после использования.

Для нанесения дополнительной текстовой информации на изображение используется метод `cv::putText()`.

```
cv::putText(Mat& img, const string& text, Point org, int  
fontFace, double fontScale, Scalar color, int thickness=1, int  
lineType=8, bool bottomLeftOrigin=false);
```

`img` – структура с данными в формате `cv::Mat`;

`text` – выводимый текст;

`org` – координата нижнего левого угла выводимого текста;

`fontFace` – тип шрифта;

`fontScale` – масштабный коэффициент для размера шрифта;

`color` – цвет текста;

`thickness` – толщина линий шрифта;

`lineType` – тип линии шрифта;

`bottomLeftOrigin` – true, если начало координат в нижнем левом углу.

Результаты и выводы раздела

В результате разработки пользовательского программного обеспечения вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений появилась возможность хранить и систематизировать данные, получаемые при помощи экспериментального образца iPoRTH, генерировать детальные отчеты, содержащие информацию об условиях проведения измерения, а также конечные значения механических характеристик образцов, вычисленные при помощи ПО. Выполненные работы соответствуют п. 3.5 ПГ, пп. 3.42 и 4.3.1.1.4 ТЗ. Соответствующая программная документация в составе:

- Описание программы RU.iPoRTH.00001-01 13 04,
 - Текст программы RU.iPoRTH.00001-01 12 04,
 - Руководство оператора RU. iPoRTH.00001-01 34 04
- приведена в Приложении Г.

6 Разработка Программы и методик испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений

Общие положения разрабатываемой методики включают в себя:

- наименование объекта испытаний, цель испытаний, условия предъявления объекта испытаний на испытания;
- Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний (Место проведения испытаний, Требования к средствам проведения испытаний, Требования к условиям проведения испытаний, Требования к подготовке объекта к испытаниям).

Требования безопасности при проведении испытаний регламентируются ГОСТ 12.3.019-80.

Программа испытаний должна включать в себя процедуры, необходимые для подтверждения работоспособности разработанного программного обеспечения, а также его соответствие пунктам ТЗ, в которых заявлены требования к ПО, выполняющему сбор, обработку и визуализацию результатов измерения (в том числе, с целью их администрирования) а именно:

4.3.1.2.13 Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно обеспечивать сбор, обработку, визуализацию и хранение результатов измерений, с возможностью их последующего анализа, вывода на печать или сохранения на внешний носитель информации.

4.3.1.3.13 Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно иметь функции графического вывода результатов и использовать оконный интерфейс.

Раздел 5 «Режимы испытаний» включает в себя описание порядка испытаний, ограничений и других указаний, которые необходимо выполнять

на всех или на отдельных режимах испытаний, а также условия перерыва, аннулирования и возобновления испытаний.

В разделе 6 приведено описание методов испытаний ПО. В процессе составления методики испытания программного обеспечения необходимо определить перечень исследуемых характеристик и параметров, исходных данных и критериев, которым должны удовлетворять результаты, полученные испытываемым ПО.

В методике аттестации:

- приводится перечень исследуемых характеристик, свойств и параметров ПО, а также критерии, позволяющие производить оценку характеристик аттестуемого ПО;
- определяются и описываются методы аттестации, которые должны обеспечить проверку всех основных функций аттестуемого ПО, а также его соответствие требованиям к ПО;
- описывается последовательность действий при проведении процедуры аттестации ПО.

Поскольку разработка ПО проводится в рамках Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274), то испытаниям подлежит только метрологически значимая часть ПО.

К метрологически значимой части ПО относятся:

- программы и программные модули, принимающие участие в обработке (расчетах) результатов измерений или влияющие на них;

- программы и программные модули, осуществляющие представление измерительной информации, ее хранение и передачу, идентификацию и обновление (загрузку) ПО, защиту ПО и данных;
- параметры ПО СИ, участвующие в вычислениях и влияющие на результат измерений;
- компоненты защищенного интерфейса для обмена данными между метрологически значимыми и незначимыми частями ПО.

Проверка структуры программного обеспечения производится через установление отсутствия недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО и данные, осуществляемого через интерфейс пользователя и интерфейс связи, проверку правильности взаимодействия между метрологически значимой и незначимой частями ПО.

В ходе разработки ПМ необходимыми методами проверки ПО были признаны следующие пункты:

1. Проверка документации
2. Проверка разделения программного обеспечения
3. Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения
4. Проверка структуры программного обеспечения
5. Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений
6. Проверка защиты программного обеспечения и определение ее уровня

К характеристикам ПО относятся:

- идентификационные данные (признаки): **наименование ПО, номер версии метрологически значимой части ПО, контрольная сумма метрологически значимой части ПО;**
- степень влияния на метрологические характеристики (МХ);
- уровень защиты от непреднамеренных и преднамеренных изменений.

- степень соответствия ПО сопровождающей документации (проверяется перечень всех команд интерфейса пользователя вместе с изложением способа их организации (пункты меню, кнопки, поля ввода и т.д.), описание их назначения и воздействия на функции прибора и/или данные);

- разделение на метрологически значимую и незначимую части;
- наличие или отсутствие защищенных интерфейсов;
- другие характеристики, согласованные между Заказчиком аттестации и ее Исполнителем.

Идентификация ПО в данной методике осуществляется при помощи интерфейса пользователя.

На основе анализа документации и проведения функциональных проверок определяют реализованные методы идентификации ПО. В разрабатываемой методике идентификация ПО предполагается с использованием персонального компьютера, на котором работает ПО (блок вычислительный сбора и обработки данных).

Проведением функциональных проверок всех команд интерфейса пользователя ПО СИ убеждаются в их соответствии описанным в документации. Проверяется однозначное назначение каждой команды для инициирования функции или изменения данных в соответствии с представленной документацией

С помощью функциональных проверок убеждаются, что команды и данные, введенные через интерфейс пользователя ПО, не оказывают влияние на достоверность результатов измерений. При этом проверяют:

- возможность обнаружения программным обеспечением СИ неправильно введенных через интерфейс пользователя данных (например, данных, превышающих установленные ограничения) и выдачу соответствующего предупреждения;
- невозможность изменения значений параметров ПО СИ, участвующих в вычислениях и влияющих на результат измерений, с помощью команд и

данных, вводимых через интерфейс пользователя во время проведения измерений;

- невозможность искажения значений измеренных данных, хранящихся в памяти СИ, с помощью команд и данных, вводимых через интерфейс пользователя.

Для функциональных проверок разрабатываемого встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи было решено использовать сравнительные испытания с использованием моделей исходных данных. Этот метод позволяет оценивать наличие ошибок при формировании отчётов, графиков, изображений и при загрузке данных. С целью автоматизации процесса испытаний, в ПО должна быть реализована методика модулей самотестирования. Также проверки могут быть произведены путём сличения на идентичность исходных и визуализированных данных.

Метод моделей исходных данных является разновидностью метода генерации «эталонных» данных, когда эти данные не генерируются специально разработанной программой, а программно задаются на входе тестируемого ПО. Модели исходных данных выбираются таким образом, чтобы они максимально соответствовали частной измерительной задаче, решаемой тестируемыми алгоритмами. При этом модели исходных данных должны охватывать как можно больший диапазон возможных значений, поступающих на обработку.

В модели исходных данных могут быть включены:

- данные, полностью перекрывающие диапазон возможных значений;
- данные, близкие к наибольшим и наименьшим значениям, а также ряд промежуточных значений;
- особые значения входных переменных - точки резкого возрастания или разрыва производных, нулевые, единичные и предельно малые численные значения переменных и т.п.

Если значения некоторой переменной зависят от значения другой переменной, то тестирование проводят при особых сочетаниях этих переменных, таких, как равенство обеих переменных, малое и предельно большое их различие, нулевые и единичные значения и т.п.

Поскольку стандартные регламенты испытаний ПО для средств измерений включают в себя проверку уровня защиты программного обеспечения, в Программе и методиках прописан соответствующий пункт (проверка наличия/отсутствия защиты ПО). Однако, разрабатываемое ПО принадлежит экспериментальному образцу портативного роботизированного твердомера. При выполнении работ по ПНИЭР не предполагается разработки защиты для программного обеспечения.

В разделе 7 разрабатываемой Программы и методик испытаний встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи указаны требования к отчетности после проведенных по ПМ испытаний.

Результаты и выводы раздела

Разработанные Программа и методики испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений RU. iPoRTH.00001-01 51 04, приведенные в Приложении Б, соответствуют п.п. 3.43 ТЗ и п. 3.6 ПГ.

7 Проведение испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений

7.1 Проверка документации

В соответствии с Программой и методиками испытаний пользовательского ПО вычислительного блока обработки данных для администрирования результатов измерения была проведена проверка документации. В ходе проверки установлено, что программная документация соответствует разработанному программному обеспечению.

Было проверено наличие перечня всех команд интерфейса пользователя. В ходе проверки установлено, что в документации приведены все имеющиеся команды, изложен способ их организации (кнопки, поля ввода, пункты меню и т.д.), описание их назначения и воздействия на функции прибора и данные.

7.2 Проверка разделения программного обеспечения на метрологически значимую и не значимую части

ПО состоит из трёх блоков:

- блок хранения, сортировки и поиска;
- блок построения топологических карт поверхности образца;
- блок формирования и выдачи отчетов.

Блок хранения, сортировки и поиска занимается хранением измеренных данных, таким образом, в соответствии с Программой и методикой испытаний, относится к метрологически значимой части ПО.

Блок построения топологических карт поверхности образца занимается представлением измеренной информации, а также участвует в обработке результатов измерений, таким образом, в соответствии с Программой и методикой испытаний, также относится к метрологически значимой части ПО.

Блок формирования и выдачи отчётов занимается представлением измеренной информации, таким образом, в соответствии с Программой и методикой испытаний, также относится к метрологически значимой части ПО.

7.3 Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения

В соответствии с исходным кодом программы, у прошивки должны быть следующие идентификационные признаки:

Наименование ПО: View_adm.exe;

Номер версии ПО: 1.0;

Контрольная сумма (CRC32): 0x4FA3CE01;

Размер файла: 2318753 байта.

Перед испытаниями была произведена проверка файла View_adm.exe. Проверка показала, что контрольная сумма, размер файла и наименование ПО совпадают с необходимым. Номер версии был проверен после запуска ПО в диалоговом окне «About...». Номер версии совпал с необходимым.

7.4 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя

Согласно программе и методике испытаний пользовательского ПО вычислительного блока обработки данных для визуализации результатов измерений RU. iPoRTH.00001-01 51 02, в соответствии с требованиями п. 4.3.1.2.13 и 4.3.1.3.13 ТЗ, производилась обработка и визуализация результатов измерений, полученных на образцах плавленного кварца и сапфира.

Выбиралась директория с проектом (рис 14), в которой хранятся данные измерений образцов плавленного кварца и сапфира и производилась их обработка с целью получения зависимости силы от глубины индентирования.

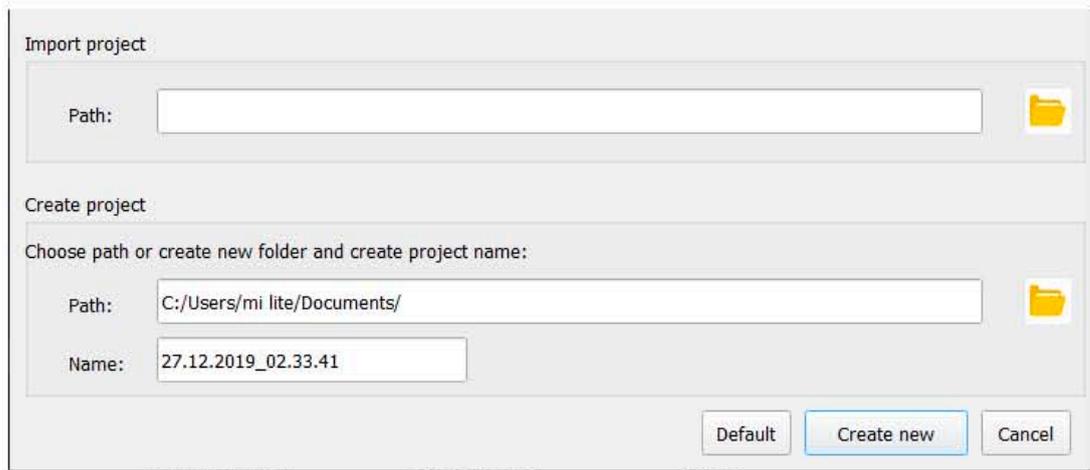


Рисунок 14 – Выбор директории исследованных образцов

На основании полученных зависимостей силы от глубины индентирования принималось решение о правильности обработки первичных данных и их визуализации. Типичный вид зависимостей приведен на рисунке 15-16.

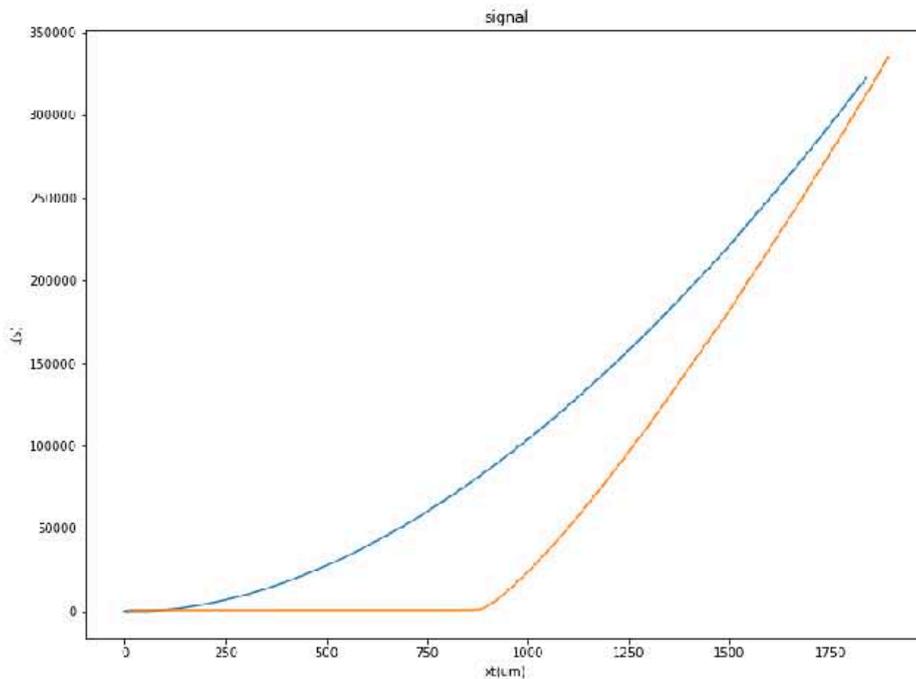


Рисунок 15 – Зависимости сила-углубление, полученные при индентировании в плавный кварц

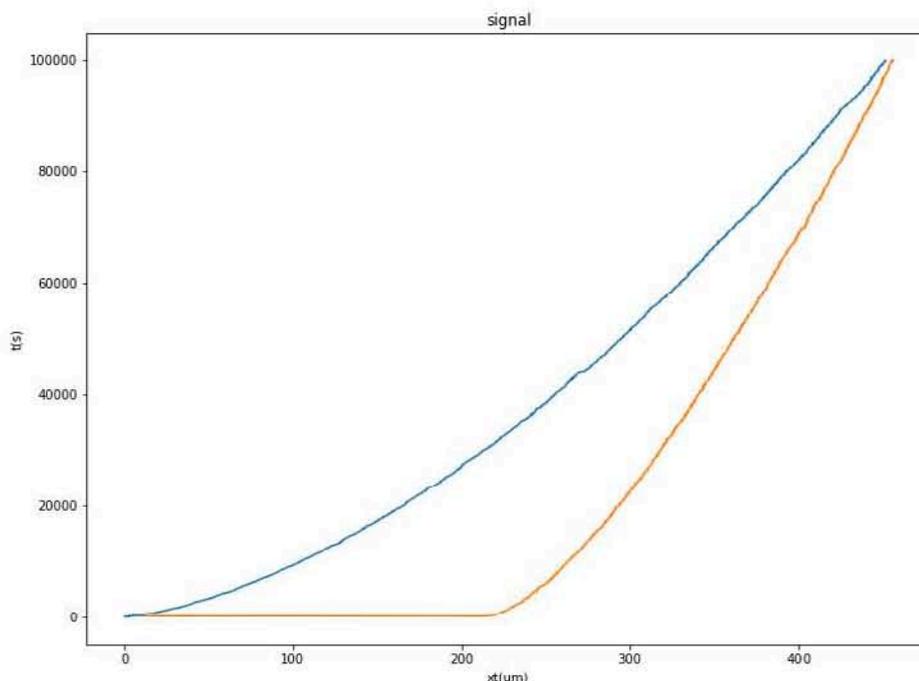


Рисунок 16 – Зависимости сила-углубление, полученные при индентировании в сапфир

Для проверки функциональности блока формирования отчета, в окне зависимости силы от глубины индентирования нажималась кнопка  (создание отчета об измерении в формате pdf файла) и в окне "Generate Report" выбирались данные, которые необходимо было использовать. В полученном отчете проверялись измеренные и рассчитанные данные об эталонных образцах сапфира и плавленого кварца.

Для проверки работы функционала по картографированию производилось автоматическое объединение серии изображений, полученных с камеры микроскопа (Рисунок 17). Полученная карта поверхности сличалась на адекватность сшивания изображений по их границе и на соответствие реальной поверхности исследуемого образца.



Рисунок 17 – Карта образца, полученная сшивкой отдельных изображений с микроскопа

Таким образом, испытания показали, что недопустимое влияние на метрологически значимую часть ПО со стороны интерфейса пользователя отсутствуют.

7.5 Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерения

Все изменения в ПО вносились в систему контроля версий SVN. Из которой периодически бралась текущая версия и проводилась контрольная сборка проекта с целью подтверждения целостности исходных текстов программ. Для этого из репозитория SVN производилось полное извлечение всех исходных кодов, и запускался процесс сборки программы (компиляция). В случае выдачи ошибки компиляции производился поиск причины и устранение этой ошибки с внесением изменений в репозиторий SVN. После чего процесс контрольной сборки проекта проводился ещё раз.

Все основные классы, в которых происходит обработка данных, снабжены модулями самотестирования. Эти модули позволяют проверить нужную часть кода на правильность его работы и сделать вывод о том, что последние изменения в программе не привели к появлению ошибок в уже написанных частях программы. Для каждой операции самотестирования выбирался такой набор модельных данных, для которых априорно известен правильный ответ. Данные подбирались на основании Программы и методики испытаний. Эти наборы данных подавались на вход тестирующего метода и полученные результаты сравнивались с известными правильными ответами. Если все тесты выдали правильные ответы, то процесс тестирования признавался пройденным. В случае обнаружения хотя бы одного ответа отличающегося от правильного ответа, тест признавался непрошедшим тестирование. Дальнейшая разработка ПО приостанавливалась до тех пор, пока не обнаруживалась и устранялась ошибка, которая приводила к неправильному ответу при тестировании.

В ходе испытаний все модули самотестирования были успешно пройдены, таким образом, испытания показали, что ПО не влияет на метрологические характеристики средства измерения.

7.6 Проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня.

Поскольку данное программное обеспечение предназначено для работы исключительно в составе экспериментального образца, защита программного обеспечения не разрабатывалась. В связи с этим, проверка защиты программного обеспечения и определение её уровня не проводилось.

Результаты и выводы раздела

Испытания пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений было проведено в соответствии с разработанной Программой и методиками испытаний RU. iPoRTH.00001-01 51 04 (Приложение Б). Проведенные

испытания соответствуют пункту 3.44 ТЗ и п. 3.7 ПГ. Акт и протокол испытаний приведены в приложении В.

- 8 Проведение экспериментальных исследований с целью разработки методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии

Методика измерения площади отпечатка, использующая информацию о контактном электрическом сопротивлении токопроводящего индентора экспериментального образца iPoRTN с исследуемым материалом

Возможность использования данных о контактном электрическом сопротивлении для оценки физических свойств различных материалов широко обсуждается в литературе [1].

Данная задача решена для широкого круга геометрий контактирующих тел формы области электрического контакта. Для случая контакта сферических тел, при условии, что радиус области контакта существенно меньше размера индентора и исследуемого объекта получено простое соотношение связывающее размер области контакта и его электрическое сопротивление:

$$R = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2a} \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 удельные электрические сопротивления индентора и материала, a – радиус области контакта. Типичные значения удельного электрического сопротивления для исследуемых материалов – $\rho_1 = 13 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (сталь) и $\rho_2 = 2.7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (алюминий).

Представленное выражение описывает идеальную ситуацию, при которой сопротивление переходной области между индентором и материалом считается равным нулю и электрический контакт наблюдается по всей контактной площади. В литературе есть много данных о том, что такая идеальная ситуация наблюдается далеко не всегда при проведении измерения контактного сопротивления [2]. Причин, по которым электрический контакт имеет разрывной характер несколько и одной из основных является

шероховатость поверхностей индентора и тестируемого материала. Данные, полученные при анализе отпечатков, оставленных сферическим индентором экспериментального образца iPoRTH, изображения отпечатков, полученные на предыдущем этапе работ, ярко иллюстрируют данное обстоятельство, подтверждая литературные данные, рис. 18.

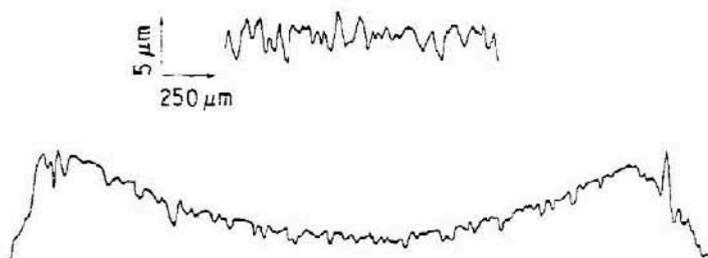


Рисунок 18 – Профиль отпечатка, оставленного при индентировании по методу Бриелля отожжённого золота. Врезка сверху показывает шероховатость части исходной поверхности [2]

Возможные варианты формирования островкового контакта приведены на рисунке 19.

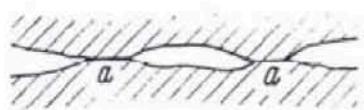


Fig. (36.01). Contact spots formed where tops of asperities meet

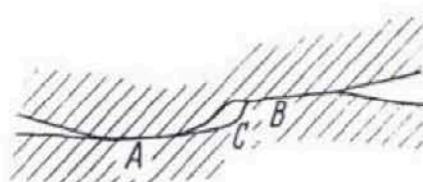


Fig. (36.02). Contact spots between a hump on one member and a valley on the other

Рисунок 19 – а) Контактные точки, сформированные при сжатии выступающей областей б) Область контакта, формируемая выпуклостью и впадиной [1]

Указанное выше обстоятельство с учетом того, что радиус области контакта « a » стоит в знаменатели формулы для контактного сопротивления, фрагментация области электрического контакта приводит к значительному увеличению контактного сопротивления. Для случая регулярного расположения контактных точек, как на рис. 20, возможна аналитическая оценка итогового сопротивления, в общем случае фрагментация области контакта приводит к завышению измеряемого сопротивления и затрудняет

корректную оценку удельного электрического сопротивления и площади механического контакта на основе токовых измерений.

Если радиус единичной контактной площадки в N раз меньше контактного радиуса « a » и число таких областей равно M и они расположены достаточно далеко друг от друга, то для оценки контактного сопротивления можно воспользоваться формулой сопротивления [2]

$$R = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2a} (N/M) \quad (2)$$

В общем случае, когда площадь электрического контакта близка к площади механического сопротивление вычисляется по формуле:

$$R = \rho \left(\frac{1}{2n\bar{a}} + \frac{1}{2\alpha} \right), \quad (3)$$

где \bar{a} – средний контактный радиус, а константа α определена соотношением:

$$\alpha^{-1} \equiv \frac{3\pi}{16n^2} \sum \sum \frac{1}{s_{ij}} \quad (4)$$

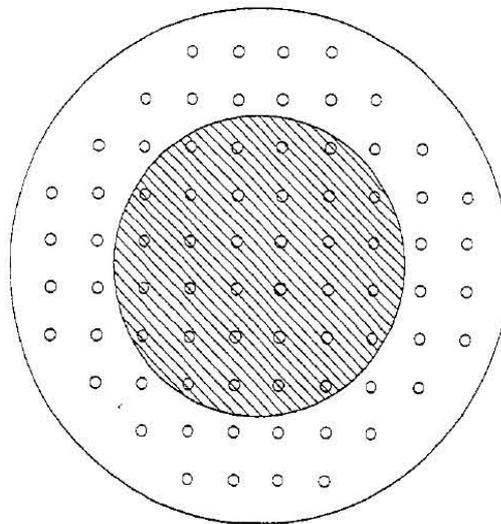


Рисунок 20 – Сопротивление массива регулярно расположенных точек. Затемнённая область соответствует площади непрерывной области с тем же сопротивлением. Внешняя окружность определена радиусом Холма для кластера [2]

Таким образом, практически всегда контактное сопротивление оказывается больше, чем должно быть в соответствии с формулой (1). Данное обстоятельство усугубляется еще одним обстоятельством, связанным с тем, что на поверхности большинства металлов обычно имеется

окисленный слой, имеющий существенно большее удельное сопротивление, чем сам металл. Данный слой к тому же, как правило, имеет большую чем металл твердость и не выдавливается из-под сферического индентора. Сопротивление данного слоя будет обратно пропорционально площади пятна контакта и вносимый им искажения будут уменьшаться по мере увеличения нагрузки и радиуса контактной площадки. Таким образом электрические измерения не могут быть однозначно интерпретированы в терминах площади механического контакта, поскольку электрическое сопротивление зависит от широко круга заранее не известных факторов.

Величина электрического сопротивления для типичного контактного пятна диаметром 100-1000 мкм между двумя сталями будет порядка (1-0,1) МОм.

Использование обычного омметра в таком случае невозможно, поскольку сопротивление токоподводящих проводов будет на порядок превышать измеряемое контактное сопротивление рис. 21.

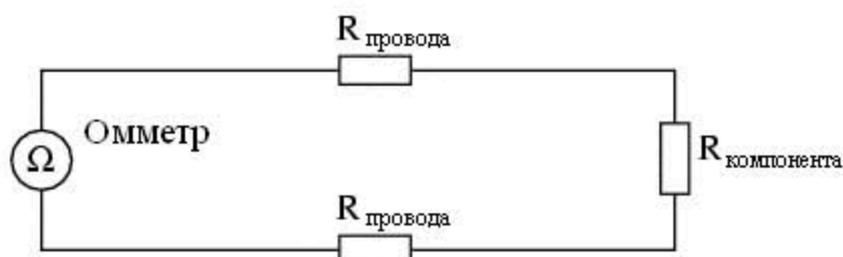


Рисунок 21 – При данной схеме измерения сопротивления компоненты омметр покажет $R_{провода} + R_{провода} + R_{компонента}$ [3]

Измерение столь низких сопротивлений должно производиться по четырехпроводной схеме, рис 22.

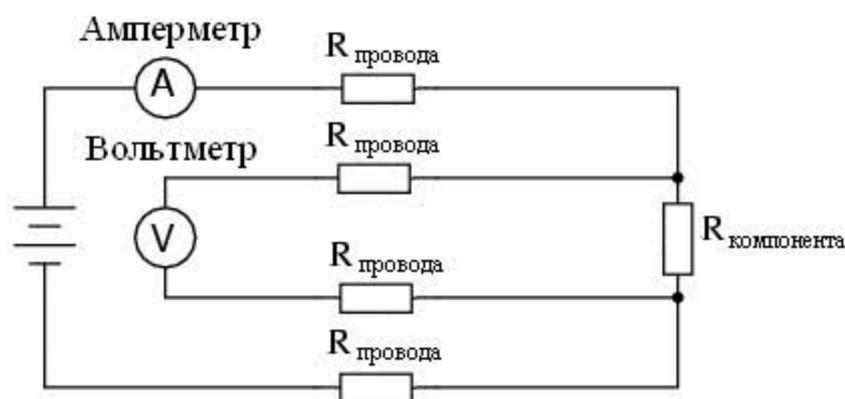


Рисунок 22 – Четырёхпроводная схема измерения сопротивления [3]. Сопротивление определяется по отношению показаний вольтметра и амперметра

В серийно выпускаемых миллиметрах для обеспечения такого рода четырехточечного контакта часто используются специальные зажимы Кельвина, рис. 23.



Рисунок 23 – Измерение сопротивления с использованием зажимов Кельвина

В нашем случае для осуществления измерений электрического сопротивления области контакта токопроводящего индентора с металлическим образцом в состав экспериментального образца iPoRTN был введен блок электроники, позволяющий четырехточечным методом проводить измерение контактного сопротивления. При этом было предусмотрено два режима работы данного блока – режим постоянного подаваемого напряжения и режим фиксированного тока.

В ходе экспериментального исследования было установлено, что с метрологической точки зрения режим работы при котором поддерживается постоянной величина тока, протекающего через область контакта предпочтителен. При подаче фиксированного напряжения хорошо

фиксируется начальный момент контакта, но в дальнейшем из-за увеличения рабочего тока в процессе измерения вариации контактного сопротивления нивелируются изменением общего сопротивления электрической цепи. Эти эффекты можно учесть, если в схеме на рис. 22 осуществлять измерение величины протекающего по цепи тока. Однако более технологичным методом, обеспечивающим прямое измерение величины проводимости будет стабилизация протекающего по цепи тока и измерение только падения напряжения на области контакта.

Именно такой способ измерения проводимости, то есть величины обратной сопротивлению был использован в разработанном методе контроля площади отпечатка на основе токовых измерений. Прямое использование четырехточечной схемы в режиме инструментального индентирования затруднено, поскольку область контакт со стороны индентора меняет свой размер во время индентирования и нет возможности расположить потенциометрические электроды в непосредственной близости от области измерений.

При проведении измерений для минимизации влияния роли контактных и проводных сопротивлений присутствующих в токовой цепи, ток фиксированной величины подавался на «земляной» провод (корпус силовочувствительного элемента iPoRTH) и через держатель индентора, область контакта и тестируемое изделие возвращался в токозадающую цепь. При этом потенциометрические электроды подводились непосредственно к индентору и изделию (со стороны противоположной токовому контакту). Полученные экспериментальные данные указывают на правильность выбранного подхода и пренебрежимо малый вклад сопротивления элементов, включенных последовательно с тестируемой областью механического контакта индентора и токопроводящего образца.

В режиме постоянного тока не так четко прописывается начальный участок токовой кривой, поскольку пока нет механического и электрического контакта между индентором и образцом мы не можем обеспечить протекание

требуемого тока I_r и генератор тока работает в режиме генератора предустановленного напряжения U_r , которое и измеряет потенциометрический датчик и только после того, как сопротивления области контакта R_k станет меньше U_r/I_r , измерительная система переходит в режим стабилизации тока.

Исследован был широкий круг материалов, включающий различные типы сталей, латунь, алюминий, нихром и графит. Все данные были получены в режиме индентирования шарообразным индентором с частичной разгрузкой и хорошо коррелируют с характером нагружения, то есть имеют участки роста и падения проводимости (контактного сопротивления) в соответствии с характером изменения нагрузки, глубины и площади контакта.

На рисунке 24 а) приведён график зависимости напряжения при индентировании стального швеллера. Для получения зависимости контактного радиуса от времени была использована формула (1), значения удельных сопротивлений ρ_1 и ρ_2 были выбраны равными таковым для стали ($\rho_1 = \rho_2 = 13 \cdot 10^{-8}$ Ом · м). Значение протекающего тока составило 0.21 А. Как видно из рисунка 7б, расчёт даёт значения контактного радиуса на уровне единиц микрометров, в то время как типичные радиусы кривизны отпечатков, получаемых на стали составляют сотни микрометров. (изображения были приведены в отчёте за второй этап работ). Данное несоответствие подтверждает и график зависимости силы от глубины индентирования (рис. 25): при максимальной глубине индентирования 47 мкм, даже в чисто упругом случае индентирования шариком диаметра 2.5мм при максимальной нагрузке контактный радиус составлял бы более 200 мкм (использовано соотношение $a = \sqrt{hR}$, следующее из теории упругости и взаимодействия тел по модели Герца).

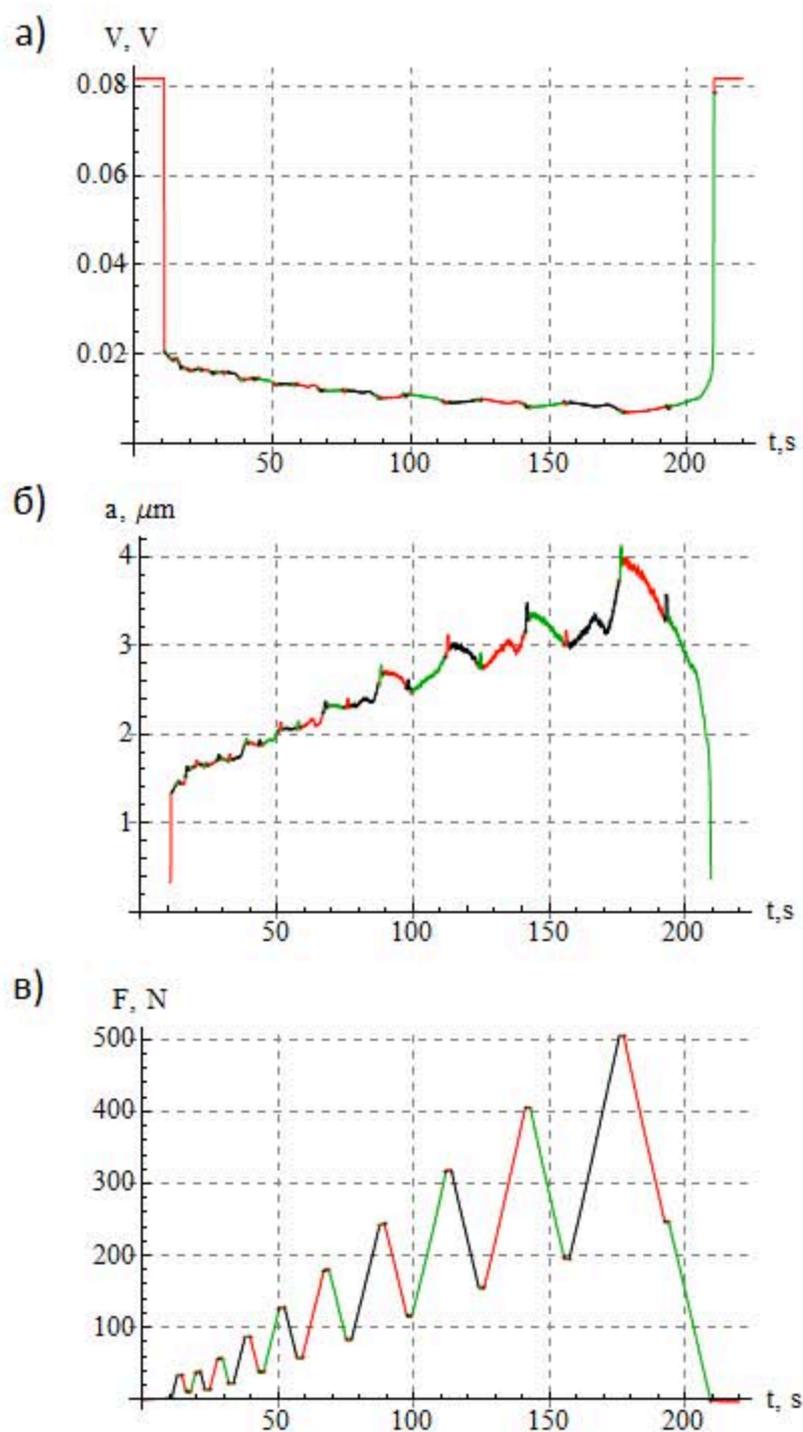


Рисунок 24 – Зависимости падения напряжения (а), контактного радиуса (б) и силы (в), полученные при индентировании стального швеллера

На основе графика, приведённого на рисунке 8 также можно получить график зависимости напряжение – пластическая деформация. Данная зависимость приведена на рисунке 25, также можно получить график зависимости напряжение – пластическая деформация. Данная зависимость приведена на рисунке 26.

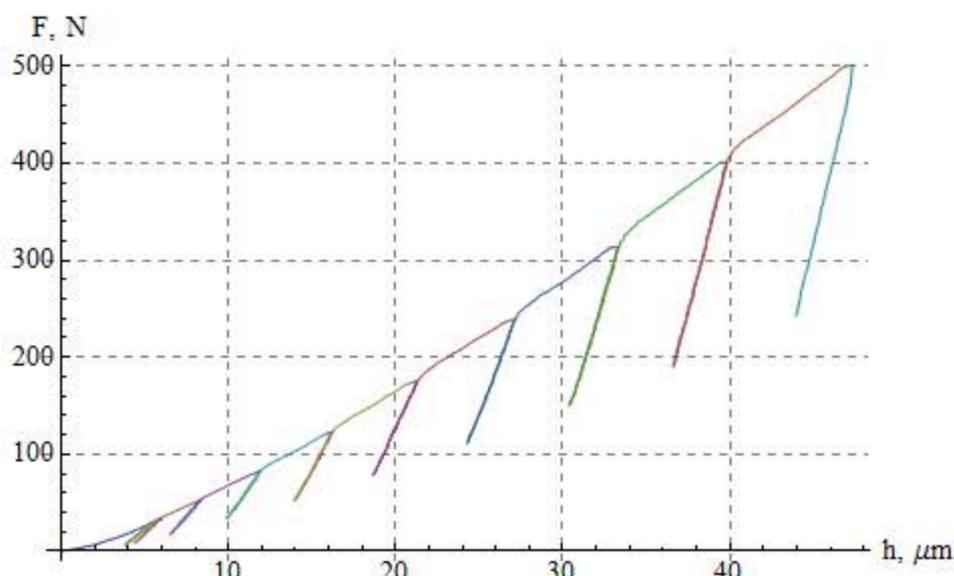


Рисунок 25 – Зависимость нагрузки от глубины, полученная при индентировании стального швеллера

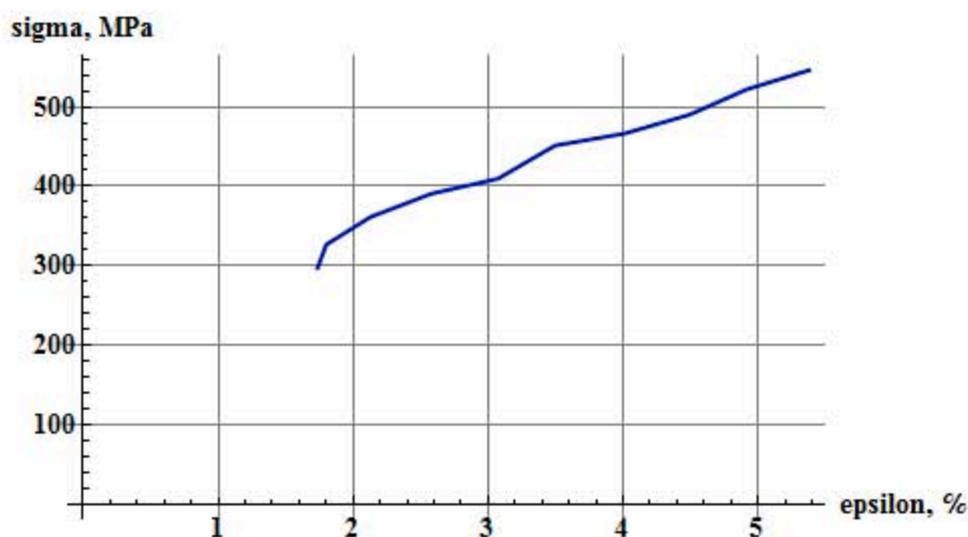


Рисунок 26 – Зависимость напряжение – пластическая деформация, полученная согласно методу AVI

Указанное выше заниженное значение радиуса, вычисленного согласно формуле (1) говорит в пользу предположения о наличии островного контакта, завышающее значение сопротивления.

При увеличении установленного значения тока в пять раз (до 1 А) зависимость падения напряжения от времени становится более крутой, соответствующие зависимости приведены на рисунке 27.

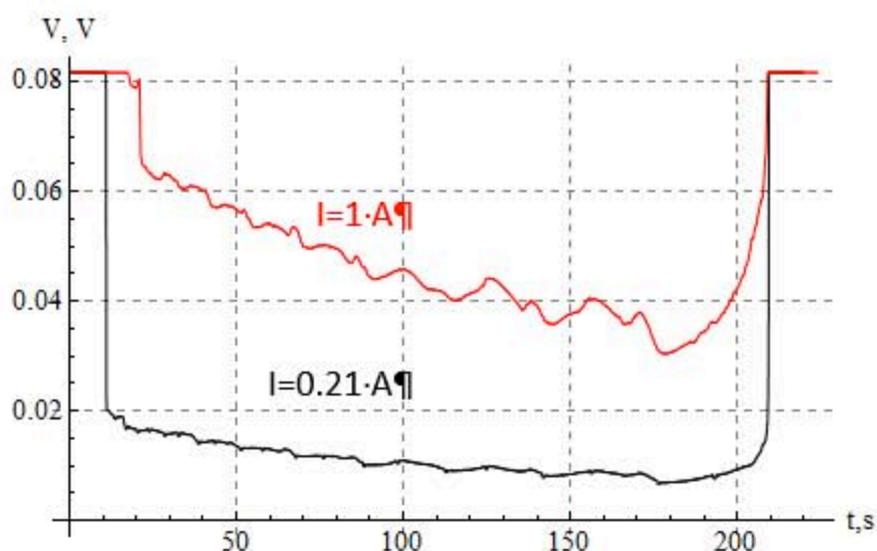


Рисунок 27 – Зависимость падения напряжения от времени при индентировании стального швеллера при различных предустановленных значениях протекающего тока

Соответствующая зависимость расчётного контактного радиуса от времени при индентировании стального швеллера при различных предустановленных значениях протекающего тока приведена на рис. 28.

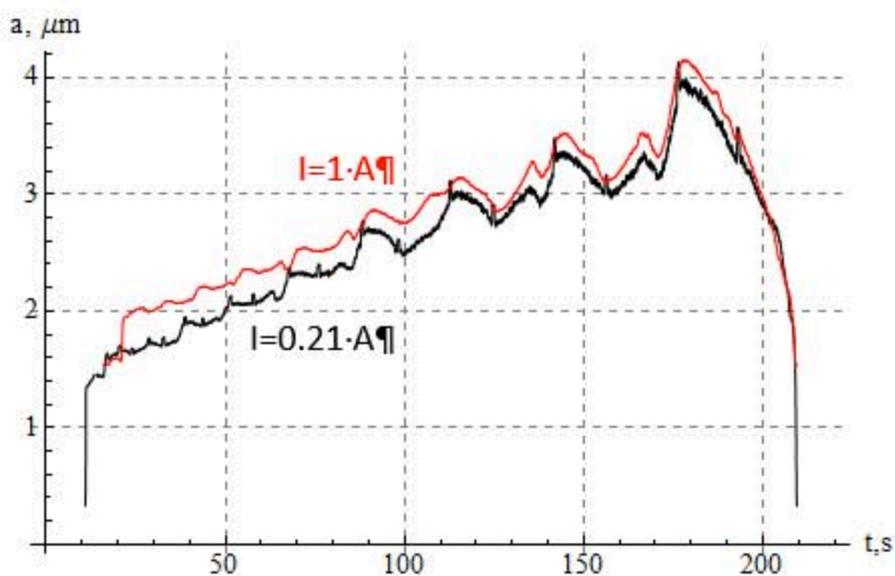


Рисунок 28 – Зависимость расчётного контактного радиуса от времени при индентировании стального швеллера при различных предустановленных значениях протекающего тока

Аналогичное индентирование с измерением токовых характеристик было произведено для алюминиевого сплава Д16Т. Профиль зависимости силы от времени был аналогичен таковому, представленному на рис. 24в. На

рисунке 29 представлены зависимости падения напряжения, а также вычисленный согласно формуле (1) радиусы. Для вычислений использовались значения удельных сопротивлений, соответствующие таковым для стали и алюминия: $\rho_1 = 13 \cdot 10^{-8}$ Ом·м (сталь), $\rho_2 = 2.7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м (алюминий), контактный радиус приведен на рис. 30.

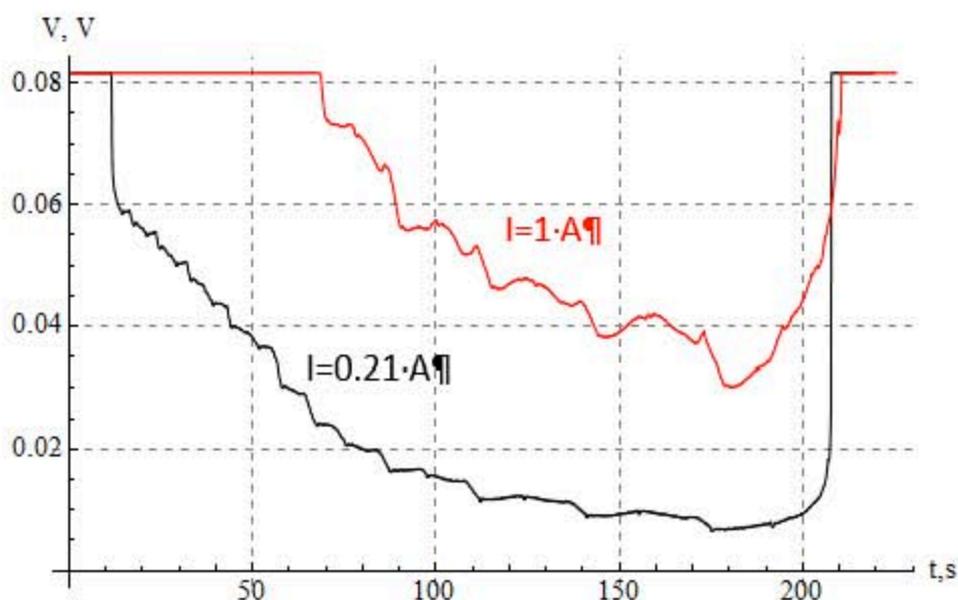


Рисунок 29 – Зависимость падения напряжения от времени при индентировании стального швеллера при различных предустановленных значениях протекающего тока

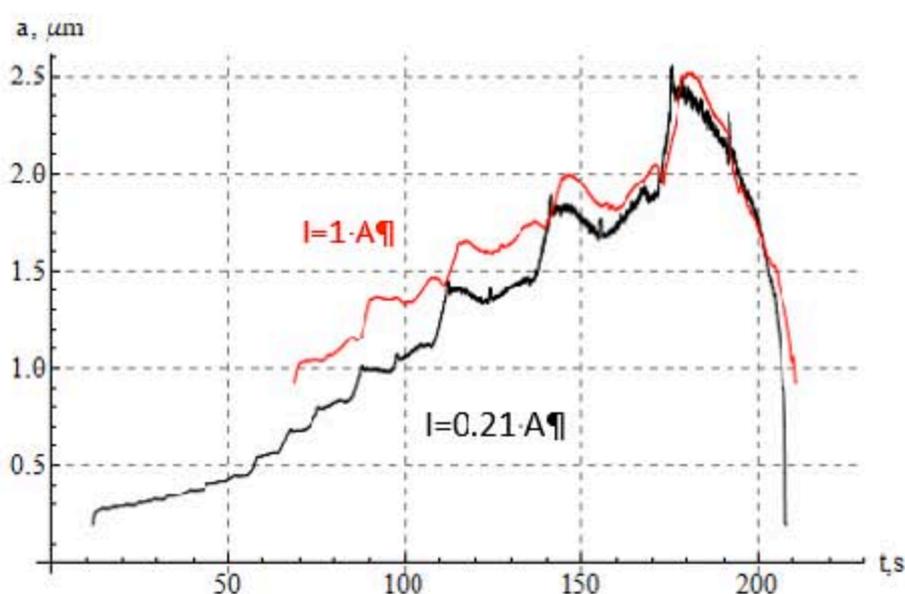


Рисунок 30 – Зависимость расчётного контактного радиуса от времени при

индентировании стального швеллера при различных предустановленных значениях протекающего тока

На рисунке 31 зависимости «напряжение» - «пластическая деформация», полученные на в результате нескольких индентирований с частичной разгрузкой с последующей обработкой согласно методу АВІ (описан на втором этапе работ).

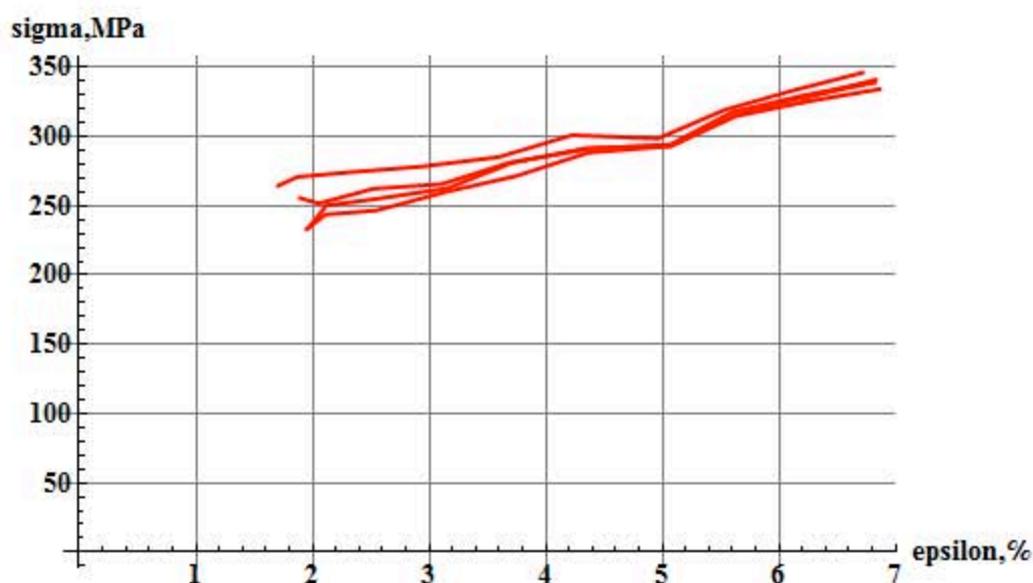


Рисунок 31 – Зависимости напряжение – пластическая деформация, полученные в результате индентирования алюминиевого сплава Д16Т

Индентирование с подачей тока через образующейся контакт также было проведено для образца бронзы БрБ2. Для обработки данных использовалось значение удельного сопротивления бронзы $\rho_2 = 9.5 \cdot 10^{-8}$ Ом · м. Зависимости падений напряжений, расчётных согласно формуле (1) значений контактных радиусов, а также диаграммы напряжение – пластическая деформация представлены на рисунках 32-34.

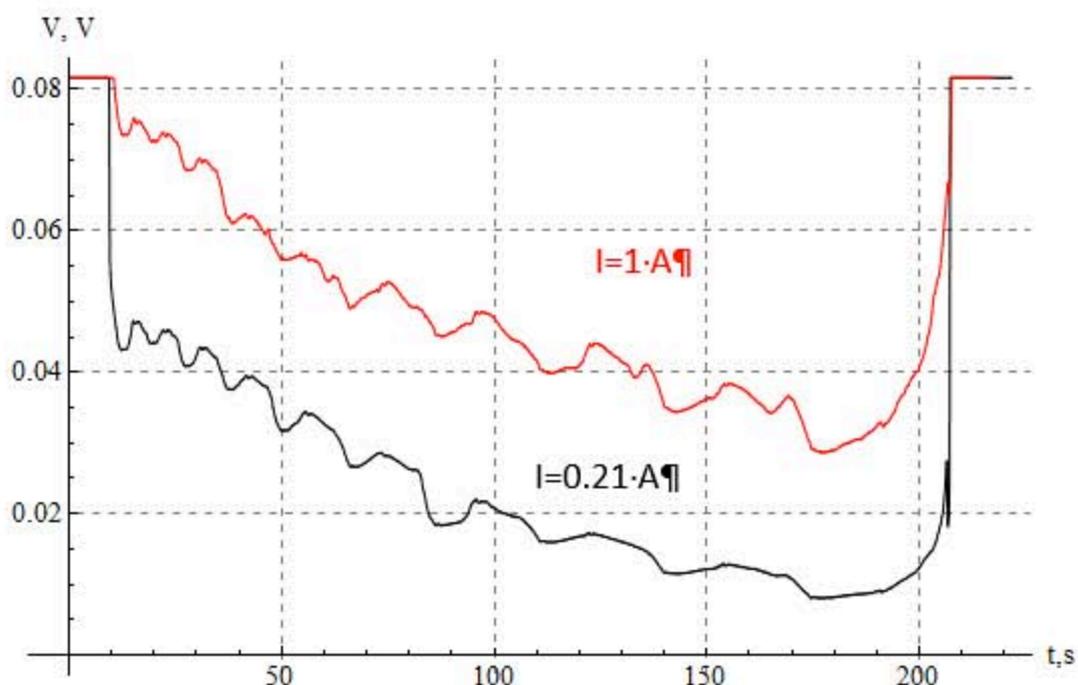


Рисунок 32 – Зависимость падения напряжения от времени при индентировании бериллиевой бронзы

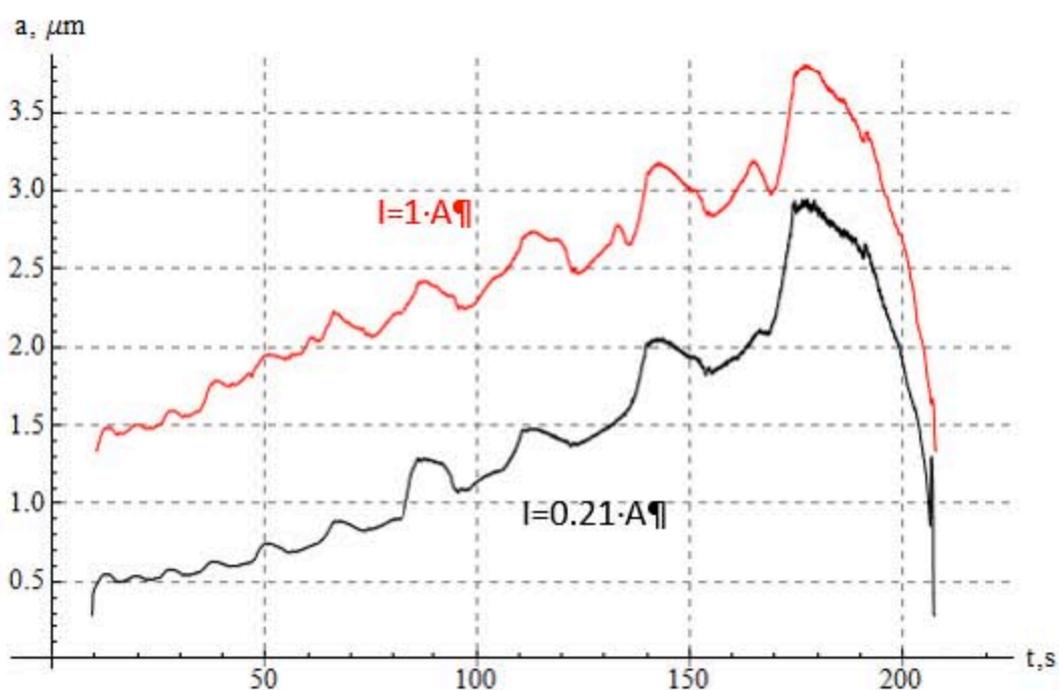


Рисунок 33 – Зависимость расчётного значения контактного радиуса от времени при индентировании бериллиевой бронзы

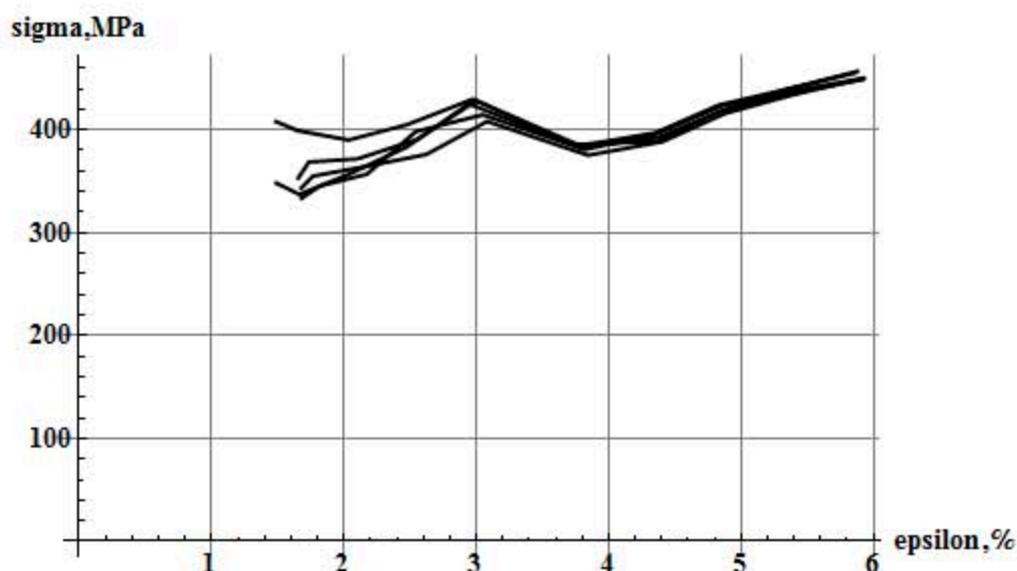


Рисунок 34 – Зависимости напряжение – пластическая деформация, полученные в результате индентирования бериллиевой бронзы БрБ2

Отдельный эксперимент был проведён с материалом с большим сопротивлением – на нихромовой ленте. Соответствующее значение удельного сопротивления нихрома, используемое для вычисления контактного радиуса согласно формуле (1) составило $\rho_2 = 110.0 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Полученные зависимости падения, приведены на рисунках 35 и 36. Как видно из рисунка 36, даже для данного случая расчётное значение контактного радиуса не достигает и 100 мкм, и, таким образом, тоже является заниженным.

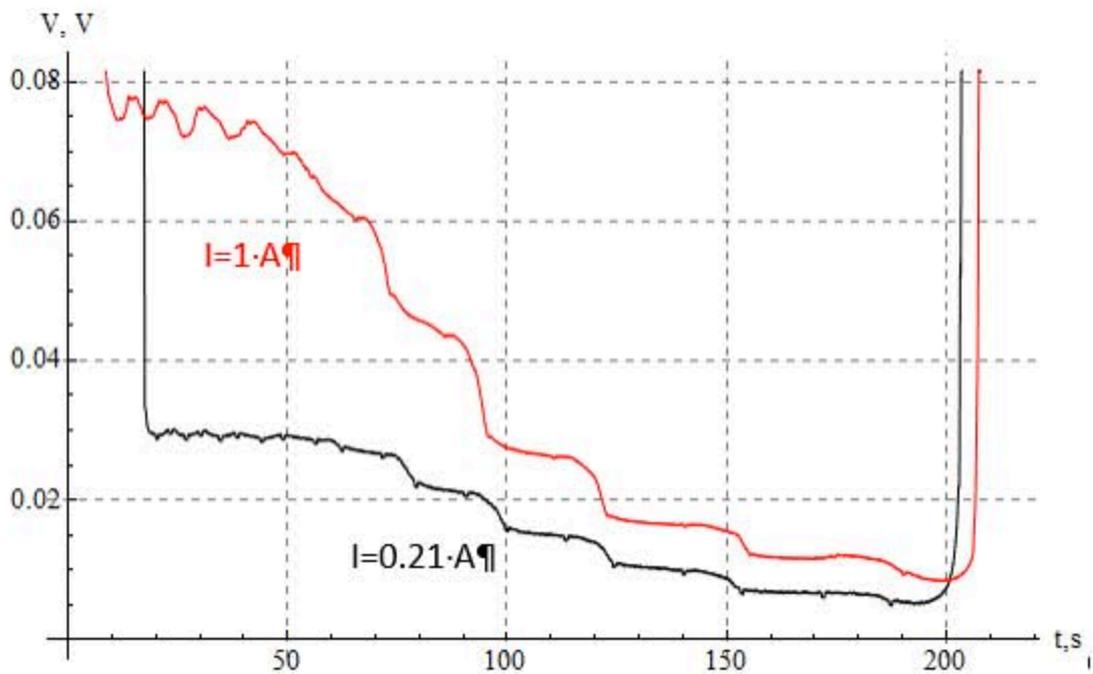


Рисунок 35 – Зависимость падения напряжения от времени при индентировании нихрома

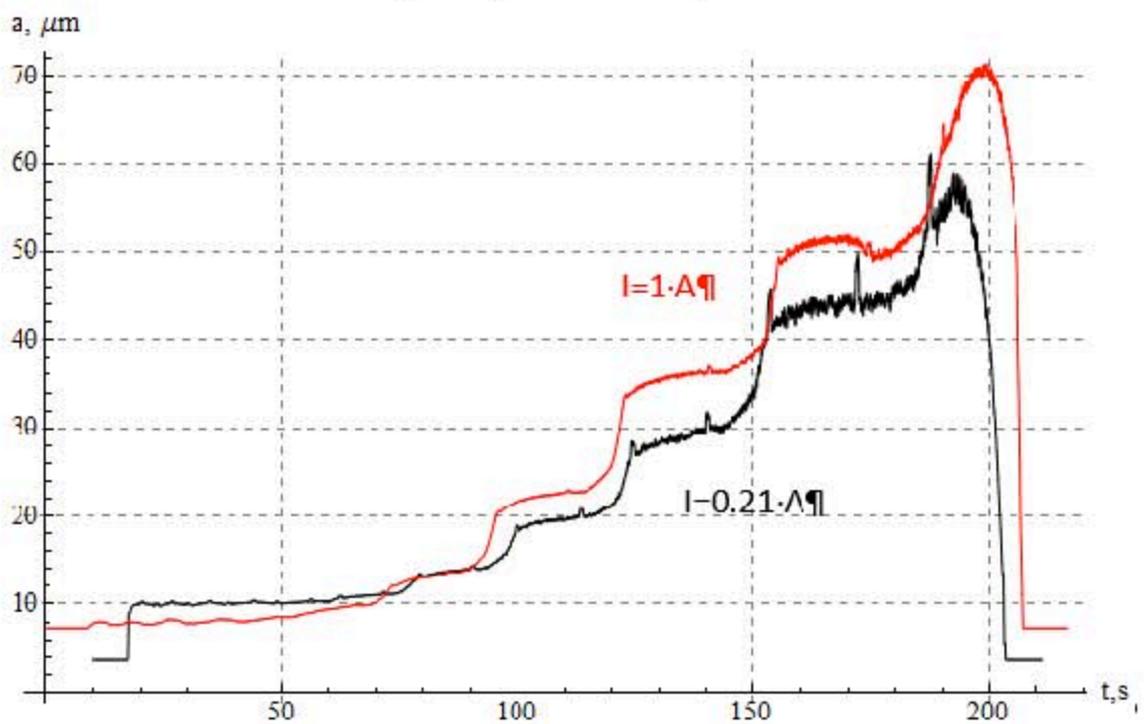


Рисунок 36 – Зависимость расчётного значения контактного радиуса от времени при индентировании нихрома

Полученные в ходе экспериментального исследования данные о величине контактного сопротивления и рассчитанные на их основе эффективные радиусы областей, находящихся в электрическом контакте, говорят о том, что для конкретной пары контактирующих материалов

функциональная зависимость площади электрического контакта соответствует зависимости площади механического контакта от величины силы прижима индентора к исследуемому материалу.

Совпадение функциональных зависимостей говорит о том, что методика черехточечного измерения сопротивления работает в случае инструментального индентирования и позволяет корректно измерять величину контактного сопротивления. Отсутствие численного совпадения площади контакта, рассчитанной по электрическому сопротивлению, и контактной площади, определенной из методом инструментального индентирования, говорит о том что в условиях реального производства, когда невозможно обеспечить идеальную гладкость и чистоту контактирующих поверхностей опираясь на электрические измерения нельзя с высокой точностью контролировать контактную площадь и использовать данные об электрическом сопротивлении для уточнения диаграммы сигма-эпсилон.

При этом перспективным представляется совместная обработка данных по току и кривой нагружения для повышения степени автоматизации при поиске точки контакта с исследуемой поверхностью. Еще более важными являются данные о величине контактного сопротивления, снимаемые на кривой разгрузки. Эти данные позволяют отслеживать динамику изменения контактной площади на этапе упругого извлечения индентора из сделанного им углубления. Эти данные несут информацию об уровне упругого восстановления и текучести исследуемого материала. Исследование зависимости контактного сопротивления на участках постоянной нагрузки так же крайне информативно в плане изучения вязкоупругих свойств исследуемых материалов.

С точки зрения разработки методики измерения площади отпечатка при помощи методов конфокальной микроскопии возникают два вопроса: насколько диаметр восстановленного отпечатка соответствует контактному диаметру (под нагрузкой), используемому в методу АВІ, а также каким образом измерять диаметр по данным полученного профиля.

Ответ на первый вопрос можно получить используя методы численного моделирования. Для получения отношения остаточного и нагруженного диаметров $\frac{d_{cont}}{d_{resid}}$ была рассмотрена ситуация нагружения двадцати микрометрового шарика в образец с выраженными упругими свойствами (соответствуют пружинистой стали: предел текучести $\sigma=1500$ МПа, показатель упрочнения 0.3) – рассмотрение такого образца позволяет сделать оценку верхней границы $\frac{d_{cont}}{d_{resid}}$, так для более пластичных металлов отличие d_{resid} от d_{cont} будет менее значительно. Была рассмотрена ситуация типичного значения коэффициента трения равного 0.2. На рисунке 37 представлены изображения нагруженной и разгруженной поверхности. Согласно представленным данным визуальное отличие диаметров d_{resid} и d_{cont} , численное отношение $\frac{d_{cont}}{d_{resid}}$ в данном случае составило 1.01 ($d_{resid}=18.6$ мкм, $d_{cont} = 18.8$ мкм). Таким образом, можно ожидать что при измерении металлов и сплавов отношение $\frac{d_{cont}}{d_{resid}}$ будет несущественно отличаться от единицы (с точностью 1 % или лучше).

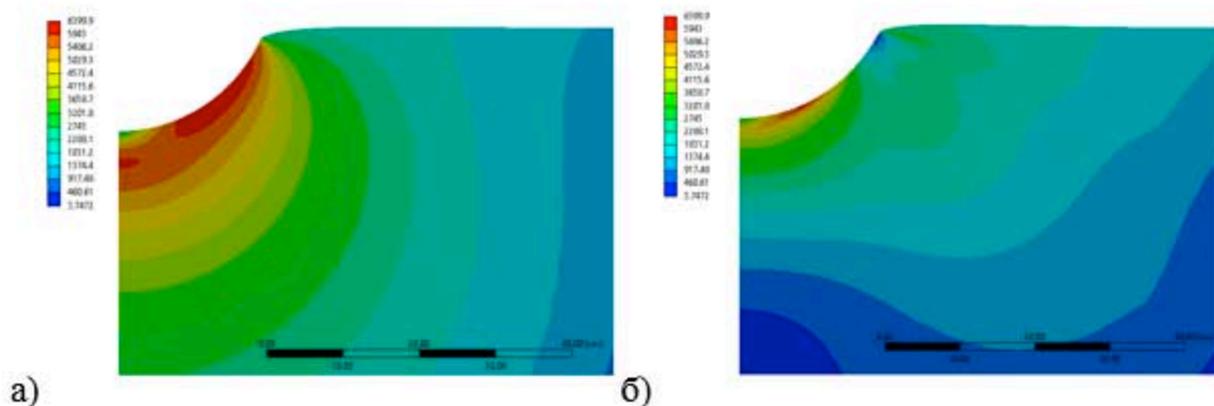


Рисунок 37 – Форма поверхности в нагруженном (а) и разгруженном (б) состоянии

Пример отпечатка, полученного при индентировании чистого алюминия с нагрузкой 98 Н, полученного при помощи конфокального микроскопа представлен на рисунке 38. Профиль радиального сечения отпечатка представлен на рисунке 38б. Границы отпечатка были выставлены по точкам перегиба, что соответствует максимумам сглаженной второй

производной профиля рельефа поверхности $Z''(X)$. Полученный диаметр отпечатка составил 828 мкм.

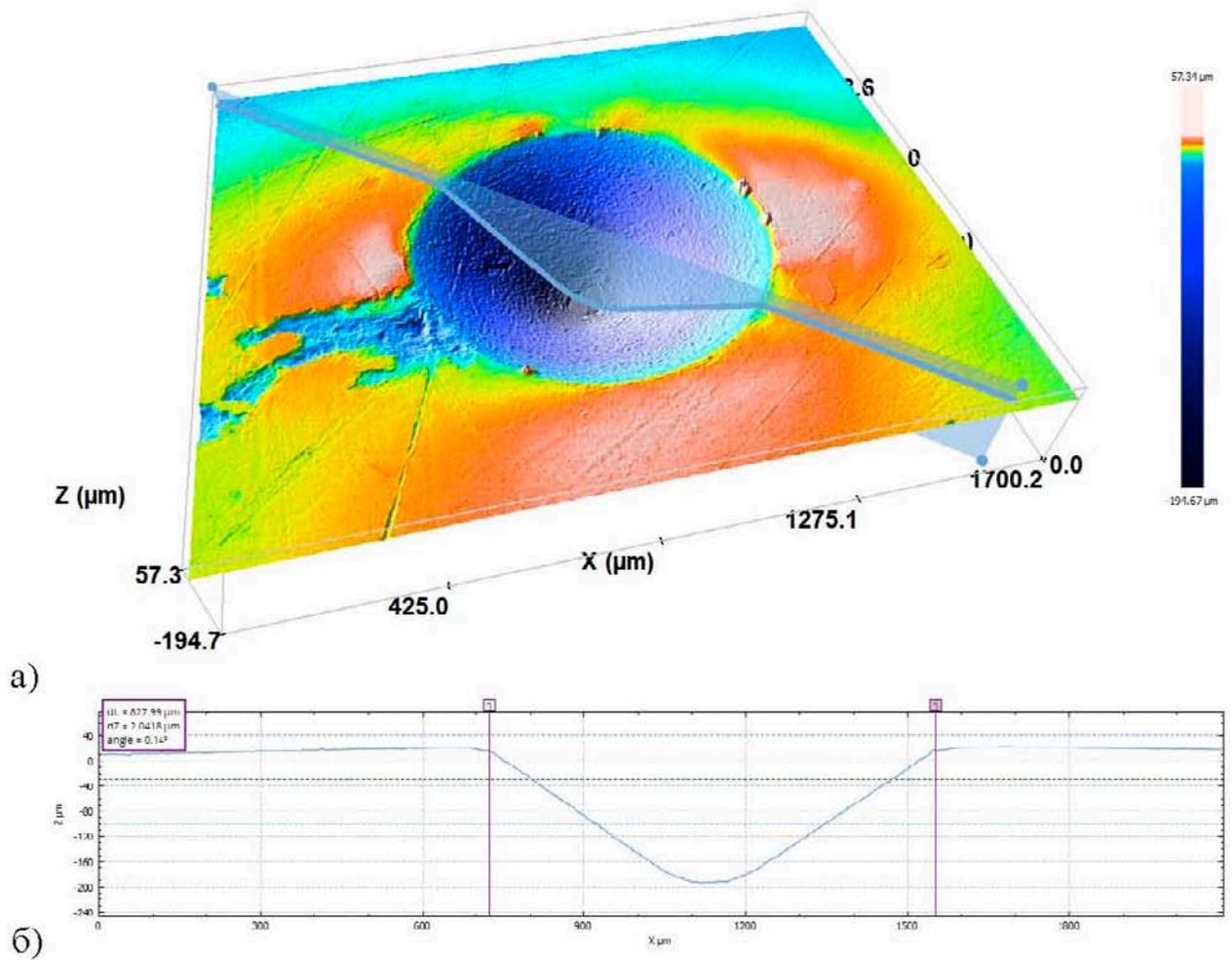


Рисунок 38 – Конфокальное изображение поверхности (а), профиль радиального сечения отпечатка (б)

Результаты и выводы раздела

Разработанная методика четырехточечного измерения контактного сопротивления в режиме стабилизации рабочего тока показала свою работоспособность и эффективность при изучении электрических контактных явления во время проведения различного рода тестов по методу инструментального индентирования. Исследования по разработке методики измерения диаметра контактного отпечатка (Приложение Б) показали, что диаметр остаточного отпечатка с высокой точностью соответствует контактного диаметра, его измерения проводятся по точкам перегиба

профиля рельефа поверхности, проходящего через центр отпечатка. Полученные результаты соответствуют требованиям п.3.45 ТЗ и 3.8 ПГ.

Результаты работ по данному разделу были использованы при создании программ для ЭВМ:

- Программа визуализации и расчета диаграммы напряжении – пластическая деформация согласно методу АВІ,

- Программа поиска точки контакта индентора с поверхностью с помощью нейросети,

а также при подготовке диссертационной работы Тарелкиным С.А. «Исследование слоистых структур на основе легированных бором монокристаллов алмаза для применения в полупроводниковой электронике».

9 Проведение экспериментальных исследований с целью разработки методики измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности

Согласно пункту 4.2.6 измерения высоты формы и шероховатости рельефа должно проводиться методом конфокальной микроскопии.

На рисунке 39 приведена схема работы типичного конфокального оптического профилометра. Оптическая система устройства формирует на поверхности исследуемого объекта S' изображение от полихромного источника света S .

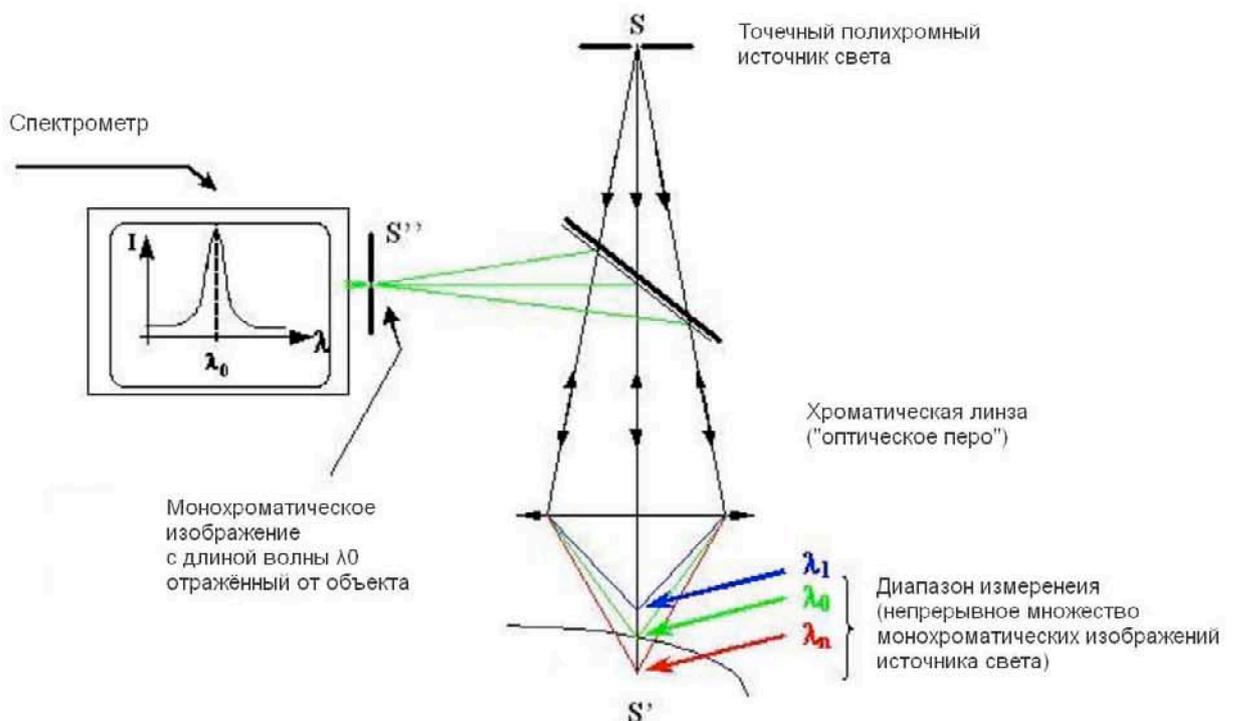


Рисунок 39 — Схема работы хроматического конфокального профилометра

Благодаря хроматической аберрации оптической системы, свет с различной длиной волны фокусируется на разном расстоянии вдоль оптической оси. Таким образом по цвету отраженного от образца в центре оптической оси излучения можно определить расстояние между линзой устройства и образцом. Отраженный от поверхности свет собирается той же оптической системой и направляется на фотодетектор, закрытый пластиной с микроотверстием (точечной диафрагмой). Микроотверстие ограничивает

фоновое рассеяние и пропускает свет, отражённый только из фокальной плоскости оптической системы. Поскольку длины волны света зависят от фокального расстояния, то анализ спектра детектируемого излучения позволяет определить положение образца. При смещении образца изменяется длина волны света, регистрируемая спектрометром фотодетектора.

Зависимость между положением объекта и длиной волны представляет из себя калибровочную диаграмму и хранится в программном обеспечении.

Обеспечение устройству перемещение по двум направлениям вдоль плоскости образца, позволяет получить трёхмерное изображение рельефа поверхности. В модуле измерительном индентационном такое перемещение обеспечивается системой двух шаговых моторов.

Согласно пункту 4.2.6 измерения высоты формы рельефа поверхности h должно проводиться в диапазоне от 0,1 до 150 мкм с относительной погрешностью $\pm (0,03 \times h + 50 \text{ нм})$. Проверка данного пункта ТЗ проводилась с использованием профильных мер ПРО-10 и набора мер длины концевых плоскопараллельных торговой марки «ИТО-Туламан» (ГОСТ 9038-90).

Из набора концевых мер были взяты меры длины 10,5, 11 и 12 мм. Поверхность мер были очищены от заводской смазки с помощью ваты, смоченной высокочистым изопропиловым спиртом. Меры 10,5 и 11 мм были притёрты к плоской части мере 12 мм до состояния схватывания и прижаты друг у другу боковыми поверхностями. Меры 10,5 и 11 мм образовали ступеньку высотой 0,5 мм (рисунок 40).



Рисунок 40 — Концевые меры образующие ступеньку 0,5 мм

Шероховатость поверхностей концевых мер измеренная конфокальным оптическим профилометром составляет 92 и 68 нм (рисунок 41). Измеренная высота ступеньки 500,012 мкм (рисунок 42). Концевые меры имеют класс точности 1. Допускаемые отклонения длины от номинального значения 0,3 мкм. Проведённые измерения соответствуют допустимой погрешности прибора и точности мер.

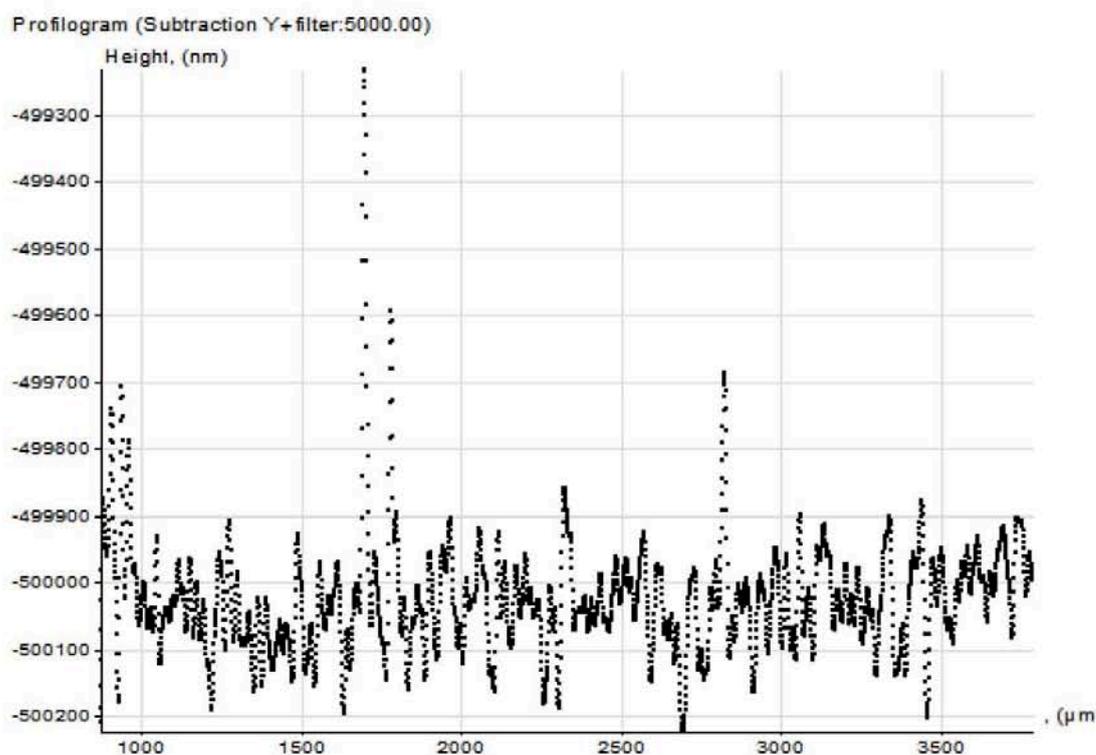


Рисунок 41 — Профиль поверхности концевых мер

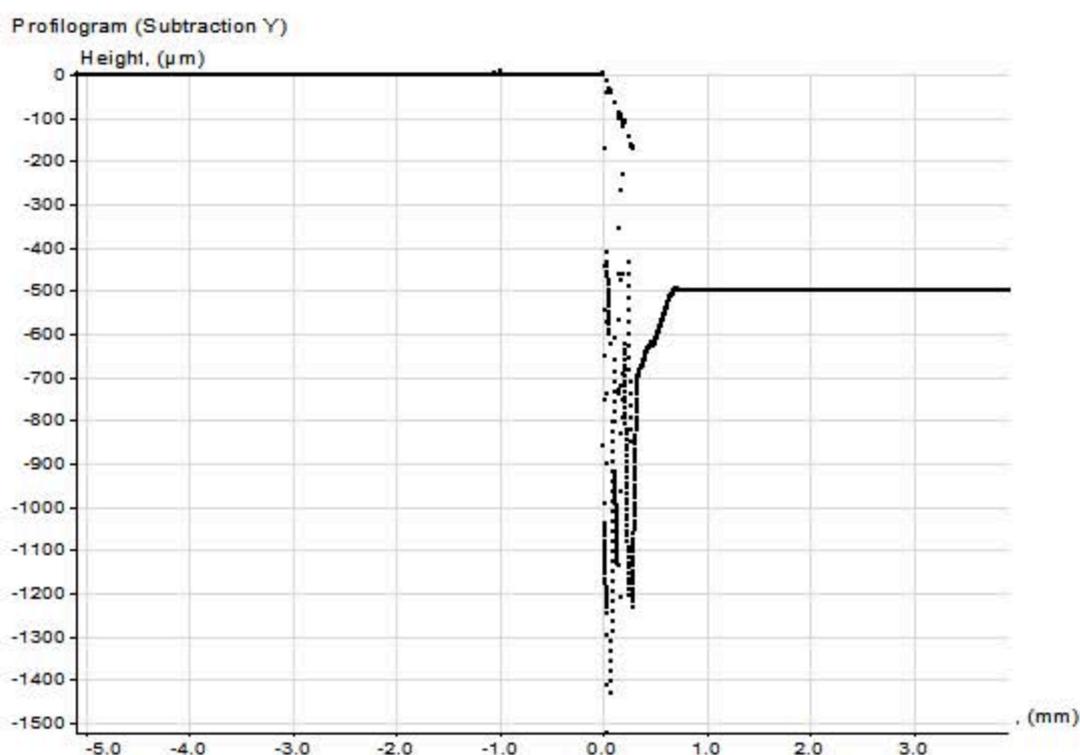


Рисунок 42 — Профиль ступеньки высотой 0.5 мм

Согласно пункту 4.2.6 измерения шероховатости R_a должна производиться на линейной базе до 1 мм с латеральным разрешением не более 5 мкм; диапазон измерения шероховатости R_a от 0,2 до 4,6 мкм; погрешность измерения шероховатости R_a 0,1 мкм.

Взят комплект мер профильных ПРО-10-12 с шероховатостью в диапазоне от 0,15 до 4,64 мкм (таблица 3). В таблице приведены значения шероховатость полученные во ВНИИМС на эталонном профилометре РФ FORM TALYSURF CCI 6000 и на конфокальным оптическим профилометре модуля измерительного индентационного. Отклонение в параметрах шероховатости между измеренным и «эталонном» значением и не превышает 0,1 мкм.

Таблица 3 Измерение шероховатости профильных мер ПРО-10

| Номер меры | R_a , нм (на эталонном приборе) | δR_a , % (на эталонном приборе) | R_a , нм (конфокальное перо) | Разница между измерениями, нм |
|------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|
| T1.01.03 | 4640 | 0,9 | 4550 ± 11 | 90 |
| T1.01.04 | 2300 | 0,7 | 2350 ± 12 | 50 |

| | | | | |
|----------|------|-----|------------------|-----|
| T1.01.01 | 1100 | 0,7 | 1135 ± 7 | 35 |
| T1.01.06 | 610 | 0,8 | 639.9 ± 1.9 | 30 |
| T1.02.02 | 280 | 1,1 | 301.5 ± 0.28 | 22 |
| T1.02.03 | 150 | 1,2 | 153.8 ± 1.0 | 3.8 |

На рисунках 43,44 приведены профили поверхности для мер T1.01.03 и T1.02.03.

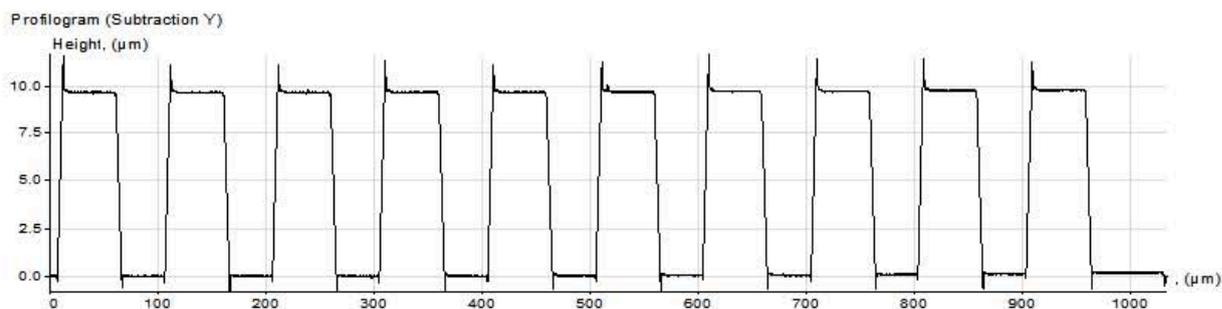


Рисунок 43 — Профиль поверхности профильной ПРО-10 T1.01.03

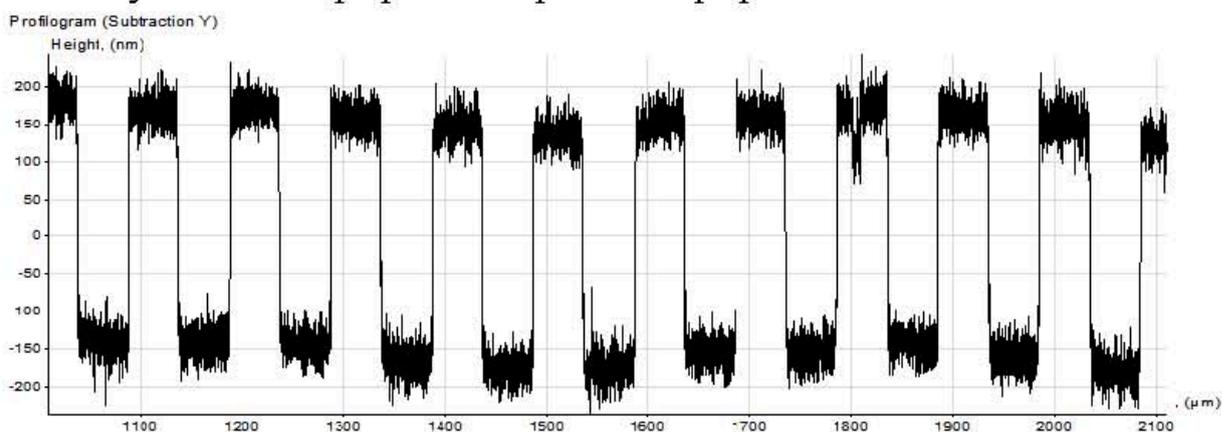


Рисунок 44 — Профиль поверхности профильной ПРО-10 T1.02.03

Важным параметром, определяющим возможность снятия профилограмм является допустимая максимальная скорость профилирования, а также уровень ошибки в латеральной координате, возникающий при достижении данной скорости.

В качестве объекта исследования была выбрана плоскопараллельная мера длиной 40 мм.

Было проведено два сканирования: со скоростями 0.49 мм/с и 3.92 мм/с. Результаты профилирования изображены на рисунке 45 в виде красной и чёрной линий.

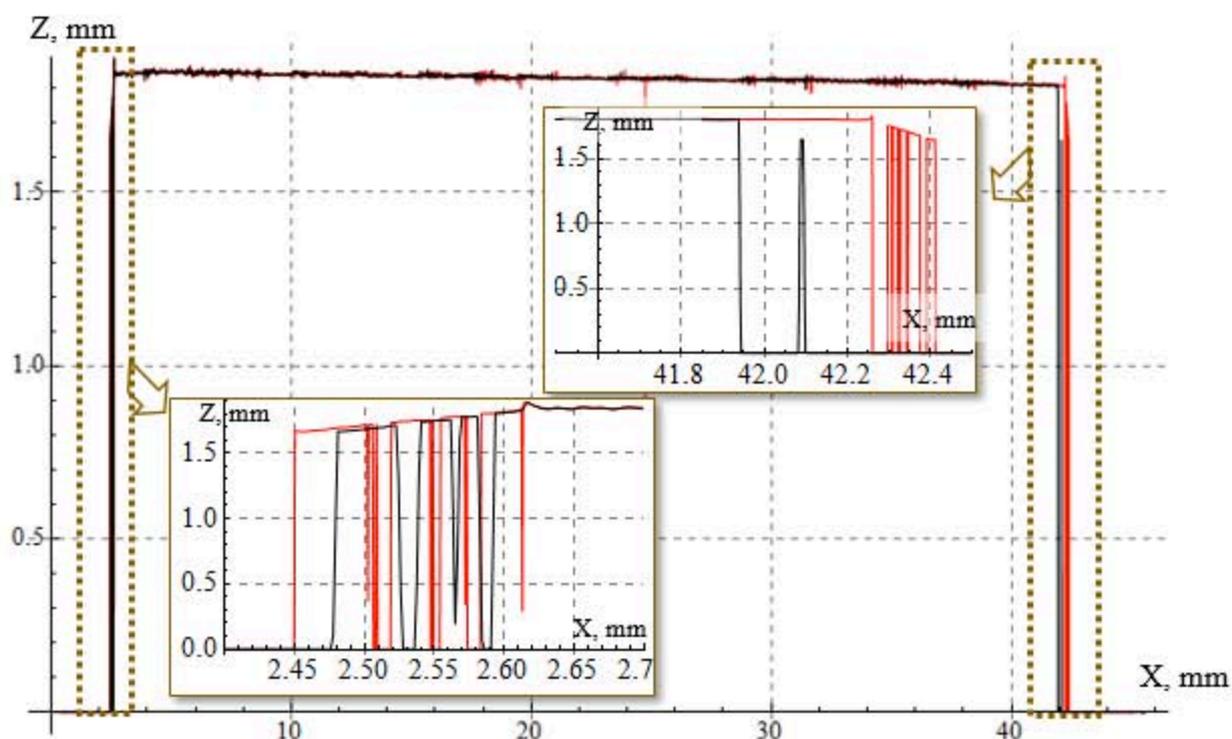


Рисунок 45 – Профиль плоскопараллельной меры длиной 40 мм

Как видно из данного рисунка, с также из приведённых врезок видно, что при профилировании с большой скоростью мера становится уже: так сравнение правых фронтов на рисунке показывает, что край меры при измерении со скоростью 3.92 мм/с смещён более чем на 300 мкм относительно края меры при измерении со скоростью 0.49 мм/с. Измерение ширины меры по левым и правым полученным профилям даёт значение 39.625 мм и 39.9619 мм для указанных выше скоростей 3.92 мм/с и 0.49 мм/с соответственно.

Согласно требованиям ТЗ (п.п. 4.2.6) методика измерения высоты формы и шероховатости рельефа поверхности, реализованная в экспериментальном образце iPoRTN должна обеспечивать измерение высоты в диапазоне от 0.1 до 150 мкм, измерение параметра Ra (от 0.2 до 4.6 мкм) на линейной базе до 1 мм с латеральным разрешением не более 5 мкм. Данные требования преимущественно относятся к точности измерения по вертикальной оси (Z); точность латерального измерения не задаётся, а только регламентируется необходимое разрешение: 5 мкм. Используемый

конфокальный сенсор имеет разрешение лучше 5 мкм, а расстояние между соседними точками даже при скорости 3.92 мм/с составляет около 2 мкм.

Таким образом, формальные требования ТЗ являются выполненными, но тем не менее можно дать рекомендацию для выбора скоростей профилирования. Из требований ТЗ можно получить производную величину, относительной погрешности на базе 1 мм: 5 мкм/1 мм, или 0.5 %. Исходя из номинального значения ширины меры 40 мм, можно отметить, что при скорости 3.92 мм/с относительная погрешность составляет порядка 1 %, а при скорости профилирования 0.49 мм/с соответствующая величина погрешности составляет 0.1%. Из приведённых чисел видно, что профилирование со скоростью 4 мм/с обладает заметной ошибкой измерения латеральной координаты, которая может быть допустима в определённых ситуациях, однако для более корректных измерений, рекомендуется использовать скорости сканирования не более 0.5 мм/с.

Для разработки методики определения формы отпечатков было произведено индентирование в поверхности, подготовленные различными способами: полировкой наждачной бумагой и фрезерованием. В качестве материалов были использованы алюминиевые сплавы Д16 и Д16Т. Изображения подготовленных поверхностей представлены на рисунках 46 и 48, данные изображения были получены с использованием конфокального микроскопа. Профилограммы данных поверхностей, полученные с использованием конфокального зонда, представлены на рисунках 47 и 49.

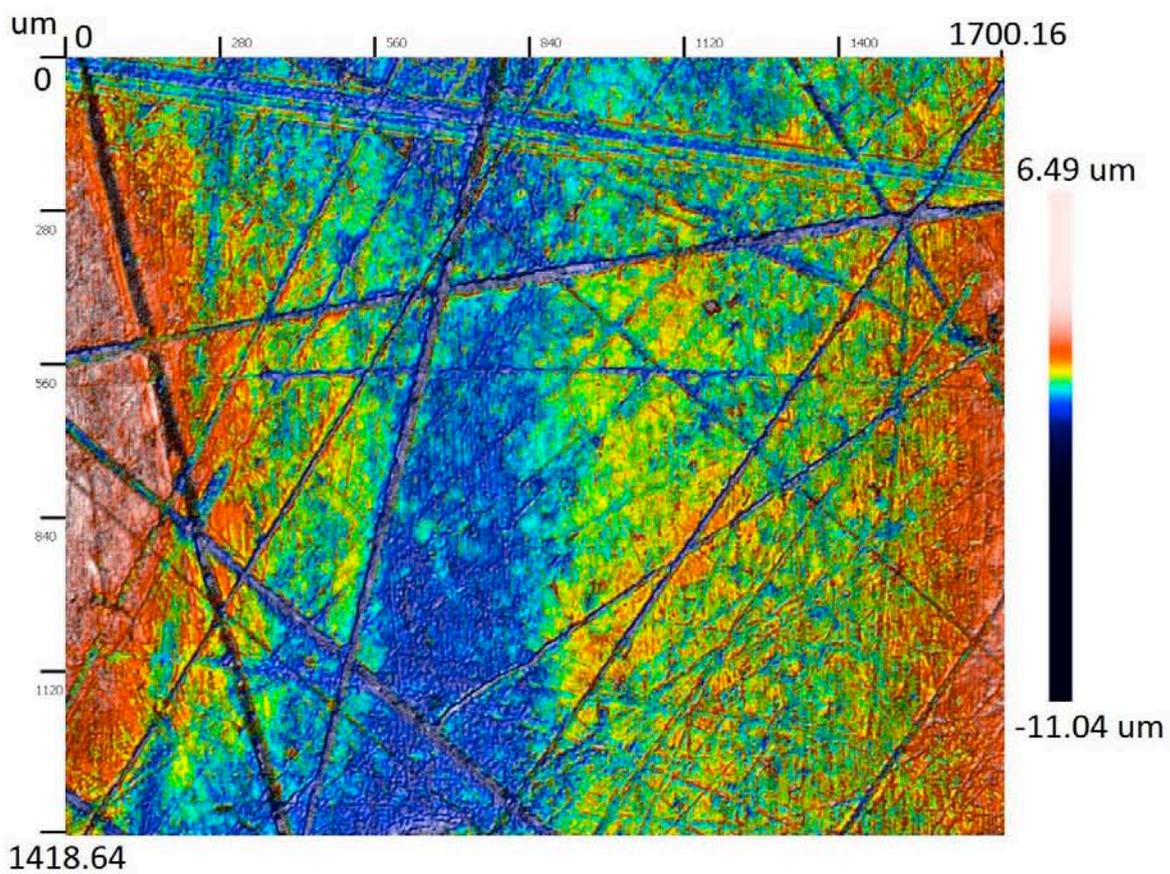


Рисунок 46 – Поверхность алюминиевого сплава, полученная шлифовкой

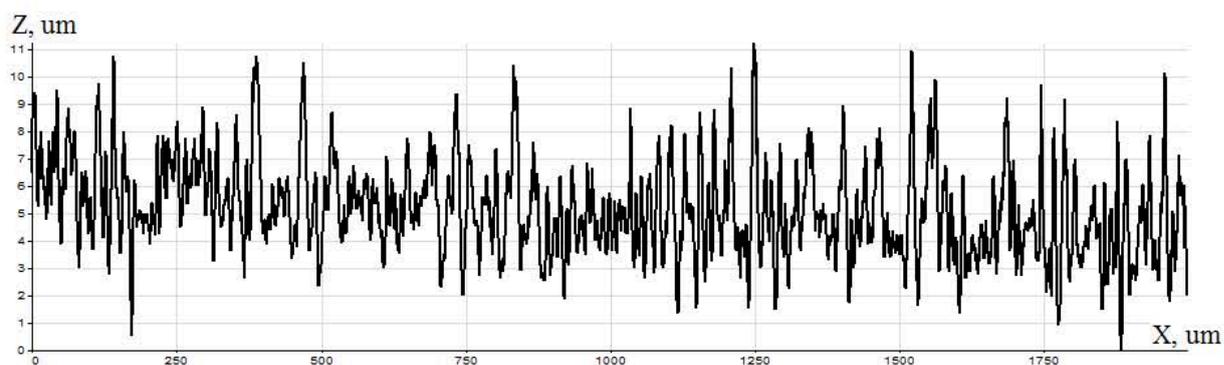


Рисунок 47 – Профиль шлифованной поверхности, полученный с использованием конфокального зонда

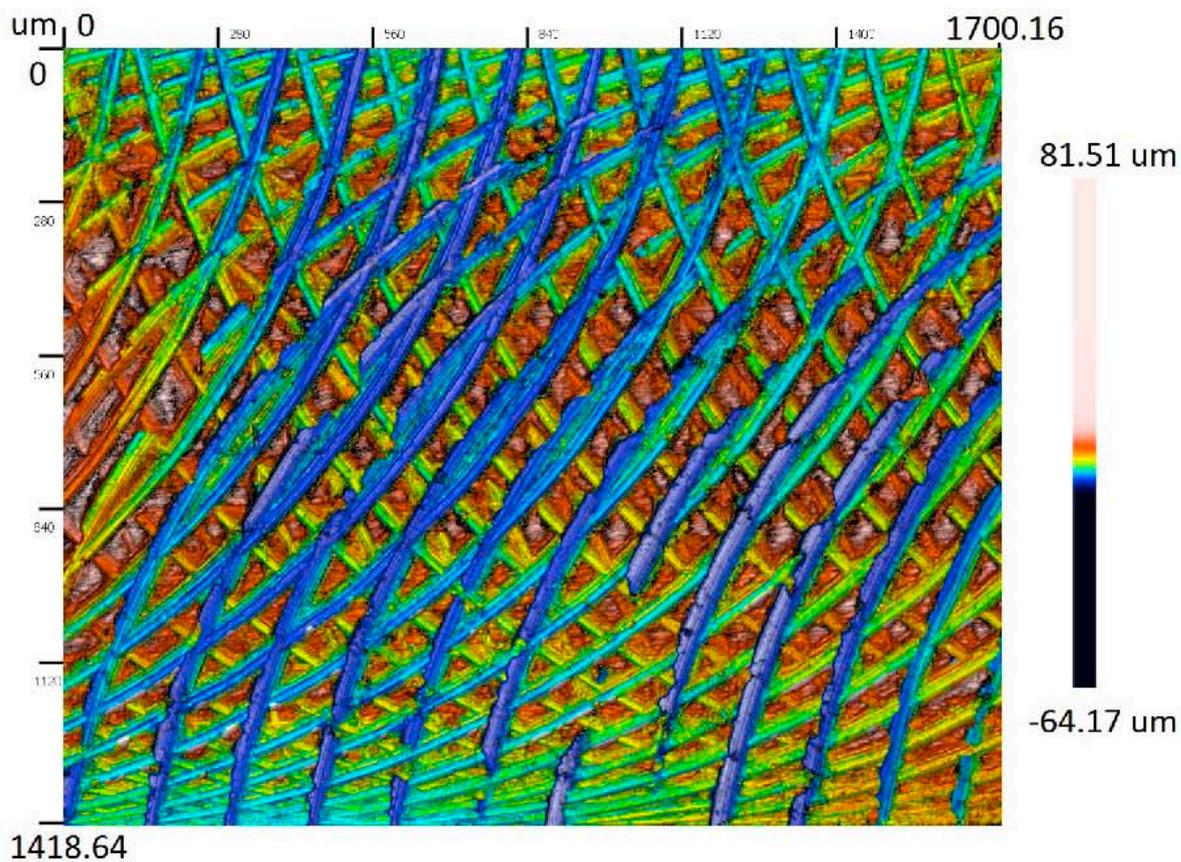


Рисунок 48 – Поверхность алюминиевого сплава, после фрезерования

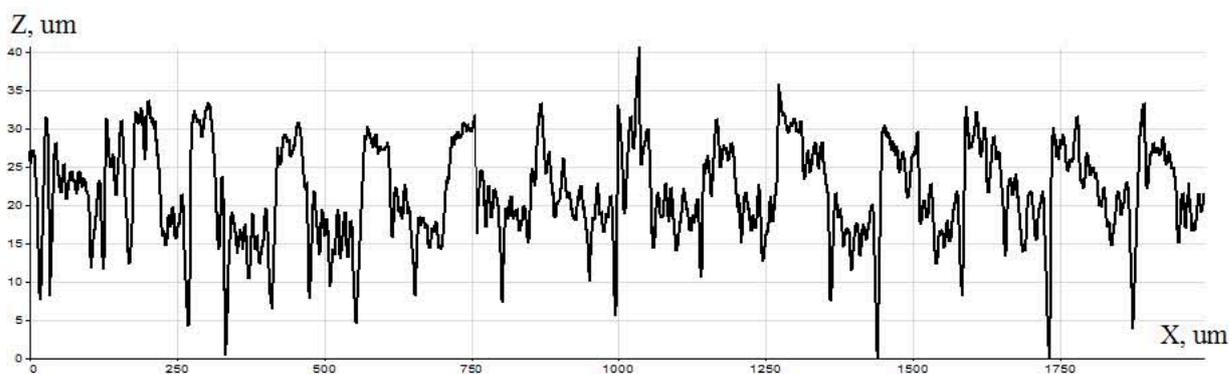


Рисунок 49 – Профиль фрезерованной поверхности, полученный с использованием конфокального зонда

Данные поверхности были проиндентированы сферическим наконечником диаметром 2.5 мм с нагрузкой 1.94 кН. Топография поверхности полученных отпечатков представлена на рисунках 50а и 50б.

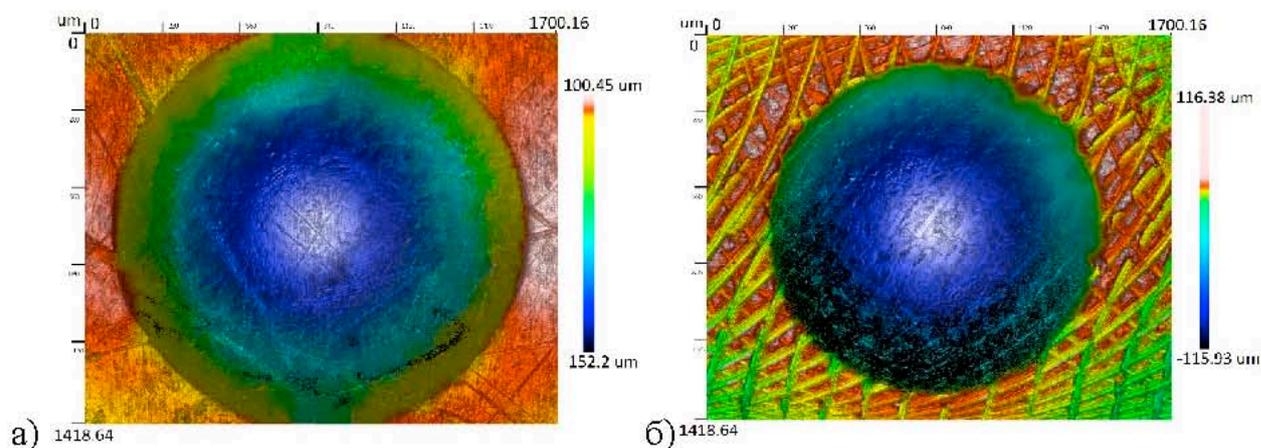


Рисунок 50 – Отпечатки, полученные при индентировании поверхности алюминиевого сплава Д16 (а) и Д16Т (б)

Из рисунка б видно, что в обоих случаях шероховатость поверхности сохраняется и в области отпечатка, уменьшаясь при этом по абсолютной величине. При снятии профилей данных поверхностей конфокальным профилометром, данный эффект также заметен (рисунок 51).

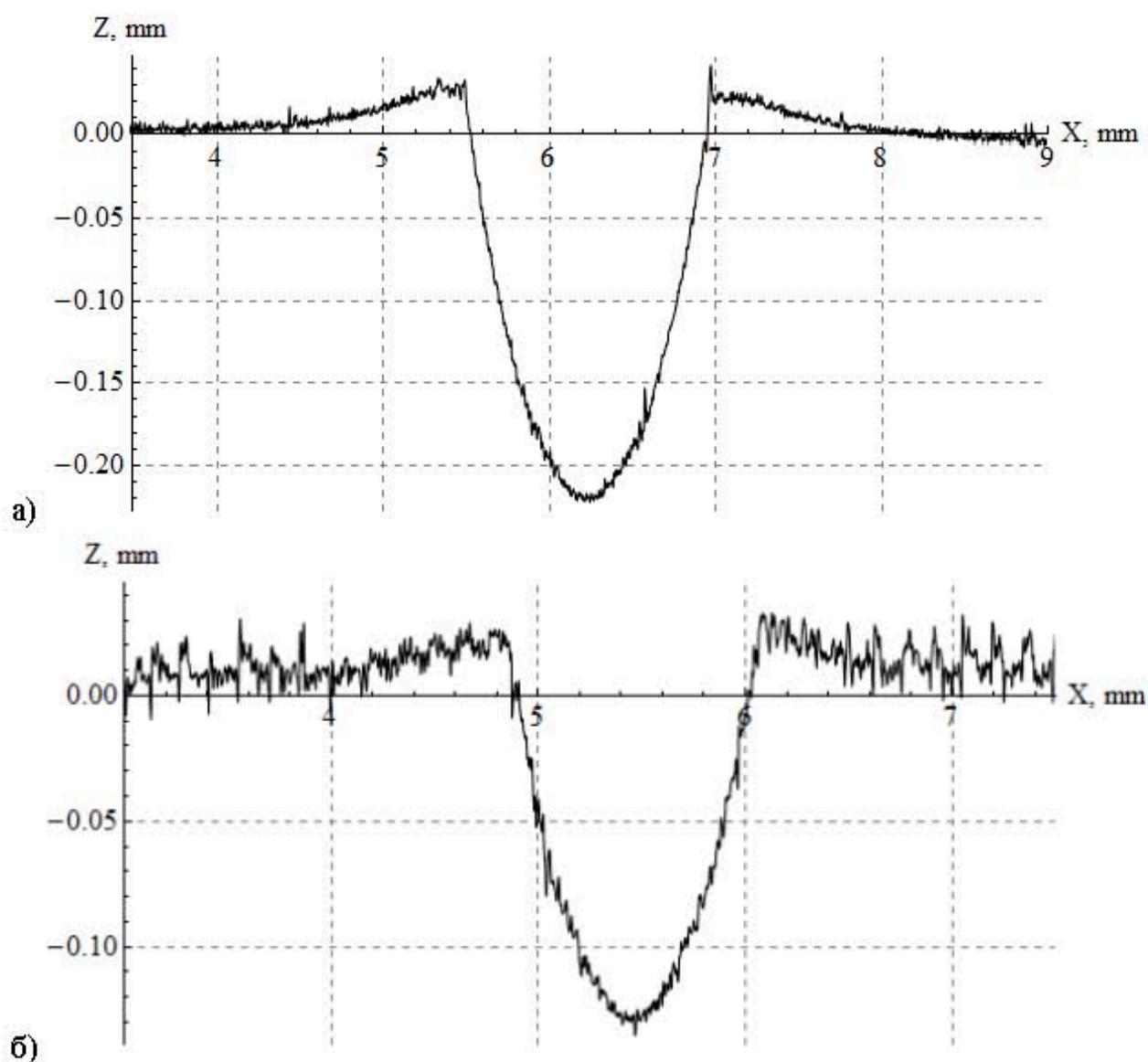


Рисунок 51 – Фрагменты профилограмм, проходящих через центр отпечатка на шлифо (а) и фрезерованной (б) поверхности

Измерение формы остаточного отпечатка должно предоставлять полезную информацию в первую очередь для метода АВІ. Используемой в методе АВІ величиной является контактный диаметр (или, эквивалентно, контактный радиус a_c). Соответственно, возможно два основных варианта формирования отпечатка – с навалами (pile-up) и без них (sink-in) данные варианты представлены на рисунке 52.

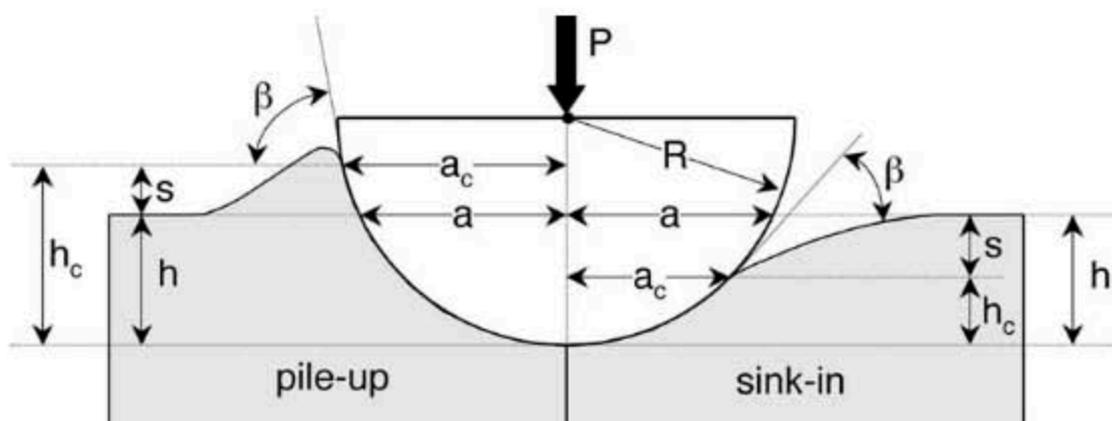


Рисунок 52 – Возможные варианты формирования отпечатка на поверхности [4]

Стоит отметить, что данный рисунок соответствует нагруженному индентору, в процессе же разгрузки происходит упругое восстановление, после которого параметр s (рис.52) перестаёт быть отрицательным – т.е. ситуация соответствует случаю образования навалов (левая часть рисунка 52). Из данного модельного рисунка видно, что место отсчёта контактного радиуса характеризуется изменением выпуклости профиля поверхности, т.е. изменением знака второй производной профиля $Z''(X)$, или же максимумом первой производной $Z'(X)$. Аналогичное заключение можно сделать и основываясь на изображении среза индента поверхности, представленном в работе [5]. Можно также отметить, что вообще говоря, периметр контактной области может измениться в процессе восстановления поверхности, но на данное обстоятельство нивелируется при развитой пластической деформации. Данное обстоятельство обсуждалось в работе [6], где было указано на то что измерение a_c в нагруженном состоянии не является практическим и обе величины радиусов (в нагруженном и разгруженном состоянии) были приняты равными друг другу.

Таким образом, для определения контактного диаметра необходимо найти первую и вторую производную зависимости $Z(X)$. Из-за зашумлённости сигнала данную величину следует искать исходя не из простой разности между соседними точками Z_i , а с усреднением. Данное усреднение можно осуществить, применив фильтрацию скользящим

средним, однако более эффективным является фильтрация, осуществляемая при помощи свёртки зависимости $Z(X)$ с функцией Гаусса. Фильтрация именно в виде свёртки используется при разделении длинноволновой и коротковолновой компонент профиля [7]. У отфильтрованного таким образом профиля также можно посчитать производную по разнице между двумя ординатами соседних точек, однако такое локальное вычисление производной рельефа поверхности уже не имеет значения, так как до этого было произведено усреднение. Более уместным представляется вычисление производной с той же степенью усреднения, что и при сглаживании – в таком случае фильтрация и вычисление заданной производной профиля поверхности совмещаются в одну операцию – свёртку исходного профиля с ядром, представляющим n -ую производную функции гаусса.

Для измеренных через центр отпечатка профилей были произведены данные операции – свёртка с первой и второй производной функции Гаусса. Естественно, что данные процедуры подразумевают выполнение операции вида:

$$(Z * \text{ker})[n] = \sum_{i=1}^N Z_i \text{ker}_{n-i}, \quad (5)$$

т.е. выполняются в виде свёртки ординат ядра ker_i и исходного профиля Z_i . В свою очередь, ординаты ядра в случае свёртки с исходной функцией Гаусса выражаются соотношением:

$$\text{ker}_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi i}} e^{-\frac{(\mu-i)^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

где μ и σ – среднее значение и стандартное отклонение, выраженные в безразмерных единицах. Исходный профиль также рекомендуется переинтерполировать для обеспечения регулярной сетки с заданным шагом $dx = L/N$, где L – длина массива, а N – общее количество точек переинтерполяции. Соответствие между безразмерными параметрами μ и σ , а также их аналогами с размерностью расстояния задаётся соотношением

$\mu_{phys} = \mu \cdot dx$ и $\sigma_{phys} = \sigma \cdot dx$. Для наглядности размер ядра (точнее его стандартное отклонение) далее будет указывать в физических величинах, в то время как первая и вторая производные профиля (обозначение conv.1.der и conv.2.der) будут оставлены в величинах, имеющих размерность длины, но зависящих от общего числа точек. Абсолютные значения данных величин не важны – важно только их относительные изменения вдоль координаты X, позволяющие учесть размеры индента.

В случаях свёрток, характеризующих первую и вторую производную профиля функции ядра принимают вид:

$$kern1_i = \frac{\partial}{\partial i} \frac{1}{\sqrt{2\pi i}} e^{-\frac{(\mu-i)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

$$kern2_i = \frac{\partial^2}{\partial i^2} \frac{1}{\sqrt{2\pi i}} e^{-\frac{(\mu-i)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Стоит отметить, что формулы (6)-(8) ещё не задают конечного вида ядер для свёртки. Одним из ключевых моментов является радиус ядра: рассчитывать резко спадающие «хвосты» распределений не представляется целесообразным: при значительном отличии μ от i коэффициенты практически равны нулю; кроме того, на сформированных свёртках обычно отсекается по половине размера ядра с каждой стороны для того, чтобы отсечь краевые эффекты – если задавать ядро свёртки слишком большим, то центральная часть для анализа окажется слишком маленькой. В то же время, конечный размер ядра приводит к ряду эффектов. При прямом вычислении по формуле (6) не выполняется условие $\sum_i kern_i = 1$: для учёта данной особенности и выполнения данного равенства вводят нормализацию коэффициентов. С практической точки зрения можно заметить, что данный эффект практически нивелируется (для случая не продифференцированной функции Гаусса), когда радиус ядра достигает трёх среднеквадратичных отклонений. Другой эффект связан с тем, что в общем случае при усреднении с ядром вида (6) в дискретном случае может возникнуть аномалия, связанная

с тем, что в сглаженной функции наблюдается больше локальных экстремумов чем в исходной [8]. Согласно работе [8] для обеспечения оптимальных конволюционных свойств, значения элементов ядра должны быть пропорциональны следующей функции:

$$kern_i \sim e^{-\sigma^2} I_i(\sigma^2) \quad (9)$$

где $I_i(z)$ – функция Бесселя первого рода. Такой подход использовался в рамках данной работы. На рисунках 53 и 55 приведены соответствующие изображения конволюций, характеризующих первую (рис. 53а и 55а) и вторую производные профилограммы. На рисунке 54 приведено увеличенное изображение профиля шлифованной поверхности с отмеченными граничными точками.

Используемое для получения ядра значения стандартного отклонения во всех случаях было принято равным 0.02 мм – как видно из рисунка 54, данное значение обеспечивает достаточно высокую степень локальности с сохранением выраженности особенностей первой и второй производных, находящихся на границе отпечатка. На графиках рисунков 53-55 отмечены граничные точки, определённые тремя различными способами: в первом случае (зелёные диски) границы индента определялись по максимумам первой производной (обозначение оси conv.1.der), как видно из соответствующих точек, отмеченных зависимости $Z(X)$ рисунка 53, а также на его увеличенной части, приведённой на рисунке 55, данный подход приводит к заниженной оценки диаметра остаточного отпечатка. Метод можно модифицировать и произвести перебор точек вдоль координаты X влево и вправо от зелёных точек до тех пор, пока не бы производная не пересечёт нулевую отметку. В результате получаются точки, которые отмечены на рисунках 53-55 окружностями цвета «маджента». Как видно на увеличенном участке, изображённом на рисунке 55, данная оценка также оказывается смещённой, но на этот раз уже завышает значения контактного диаметра. Наиболее продуктивным в данном случае оказывается подход, при

котором границы индента выставляются по абсциссам точек экстремума второй производной зависимости $Z(X)$ (обозначена как conv.2.der). Соответствующие граничные точки отмечены красными дисками. Измеренное по красным точкам значение диаметра отпечатка составило 1.48 мм.

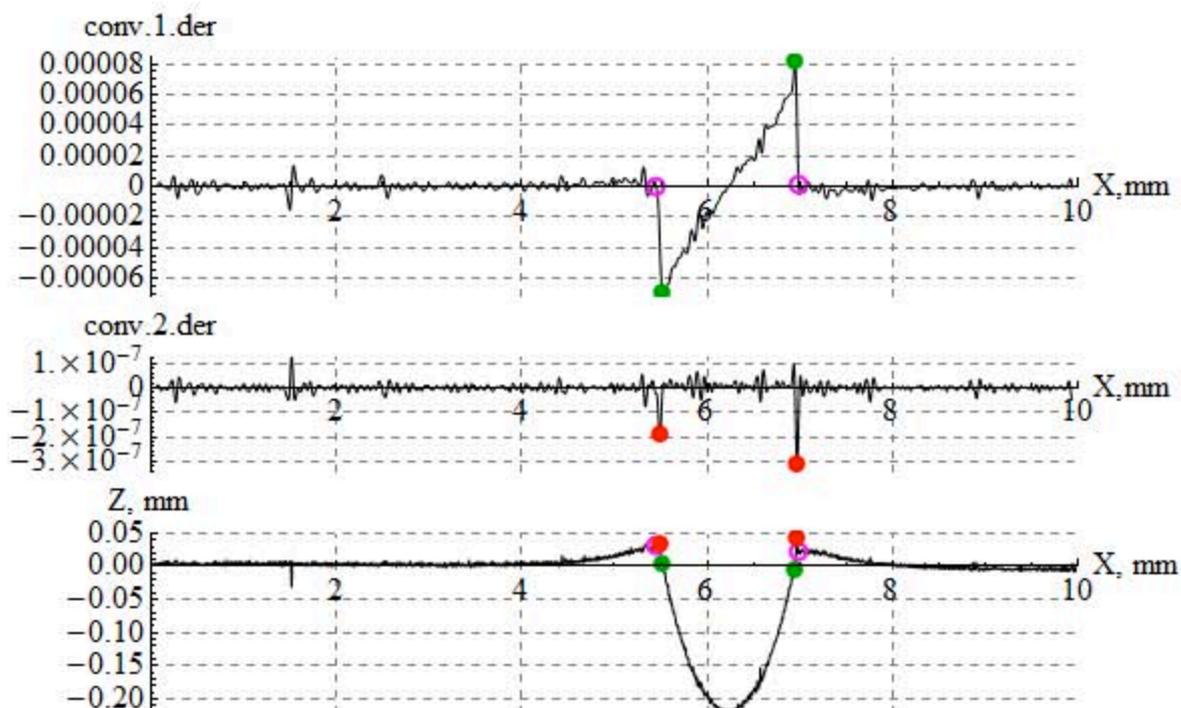


Рисунок 53 – Графики первой и второй сглаженных ($\sigma=20$ мкм) производных профиля, а также профиль шлифованной поверхности

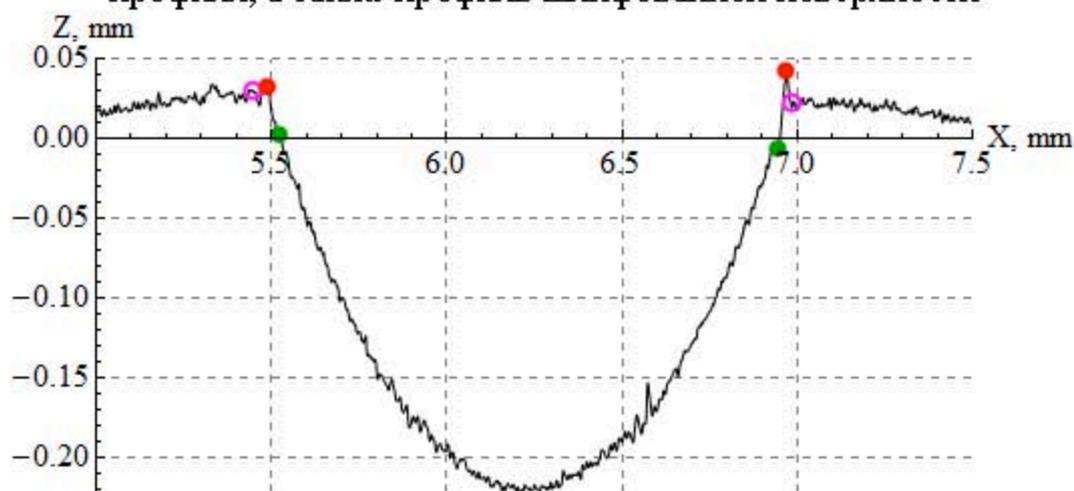


Рисунок 54 – Увеличенная часть профиля шлифованной поверхности с отмеченными граничными точками.

Применение описанных подходов для определения точек границы индента, оставленного на фрезерованной поверхности, приводит к результатам, представленным на рисунке 55.

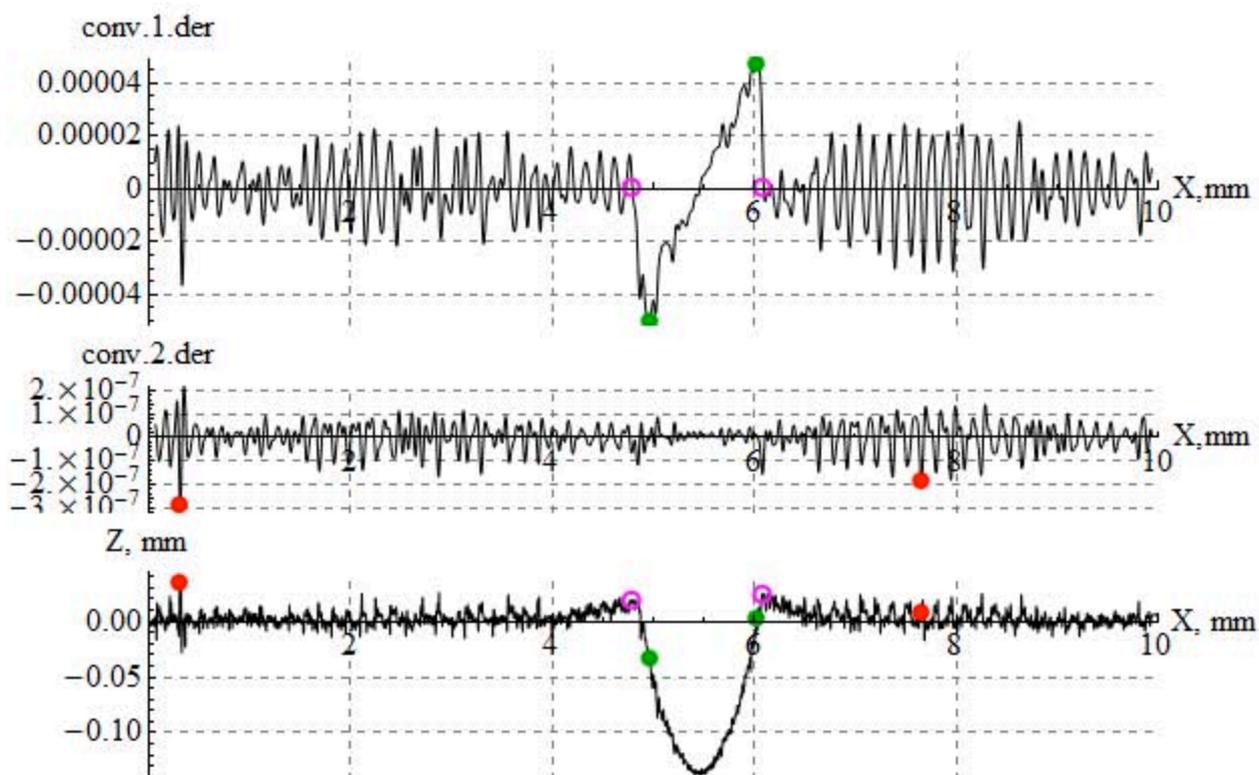


Рисунок 55 – Графики первой и второй сглаженных ($\sigma=20$ мкм) производных профиля, а также профиль фрезерованной поверхности

Из данного изображения видно, что метод поиска граничных точек по второй производной профиля (красные точки), показавший наилучшие результаты для шлифованной поверхности в данном случае фрезерованной поверхности перестал работать. Очевидной причиной данной особенности является слишком маленькое для данной поверхности значение параметра стандартного отклонения: как видно из рисунка 10, зависимость, выраженная второй производной рельефа, чётко коррелирует с элементами рельефа, оставленными после фрезы. Если произвести Фурье-преобразование профиля, фрезерованной поверхности в области отсутствия индента (представленного рис.5), то можно отметить, что характерная частота фрезерованных неровностей поверхности составляет порядка 7 мм^{-1} (см. спектр на рисунке 56), или же, в терминах эквивалентного периода – 150 мкм. Чтобы ощутимо отфильтровать данный пик, исходя из вида спектра для описанной выше конволюционной фильтрации следует выбрать стандартное отклонение более 200 мкм, что на порядок больше величины, использованной при фильтрации шлифованной поверхности.

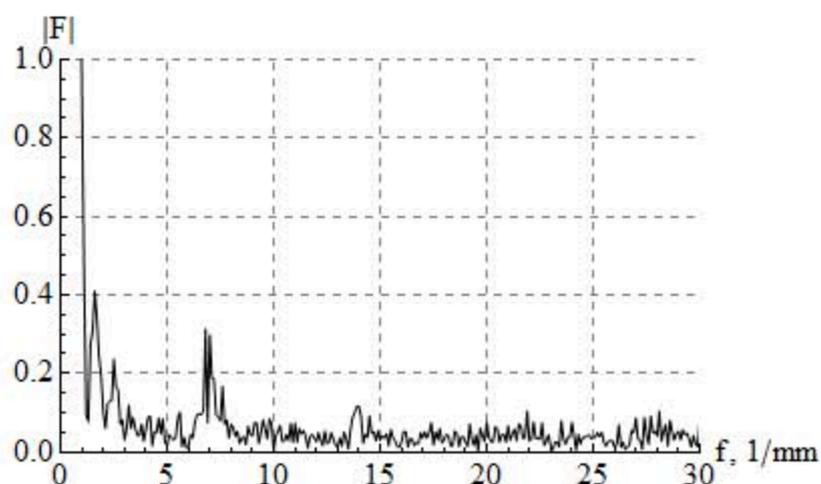


Рисунок 56 – Модуль преобразования Фурье для фрезерованной поверхности

Выбрать заведомо большое значение стандартного отклонения означает необоснованно занижать качество определения диаметра отпечатка для гладких поверхностей. В то же время, основываться на Фурье – преобразовании поверхности тоже не представляется практичным – спектр неперiodической структуры шлифованной поверхности не имеет ярко выраженных пиков и в значительной степени похож на фликкер-шум (рисунок 57)

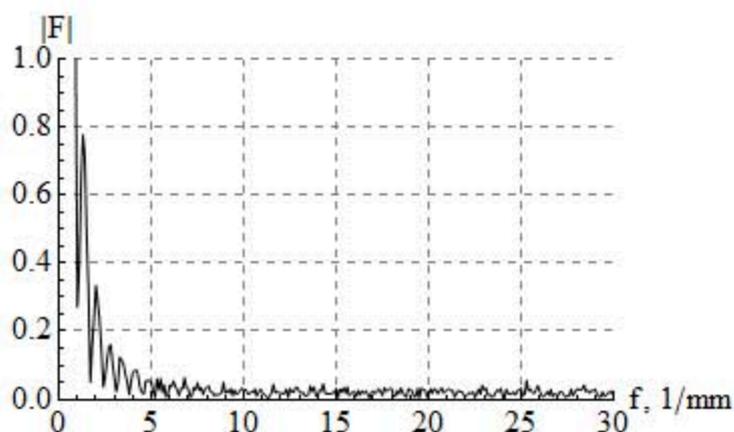


Рисунок 57 – Модуль преобразования Фурье для шлифованной поверхности

Более надёжным представляет метод перебора стандартных отклонений до тех пор, пока каждое из абсолютных значений ординат первых двух экстремумов второй производной не будут как минимум в два раза превышать ординаты абсолютных значений остальных экстремумов данной производной. Как видно из рисунка 58 данное условие выполняется

при использовании стандартного отклонения равного 51 мкм. Измеренное по красным точкам значение диаметра отпечатка составило 1.24 мм.

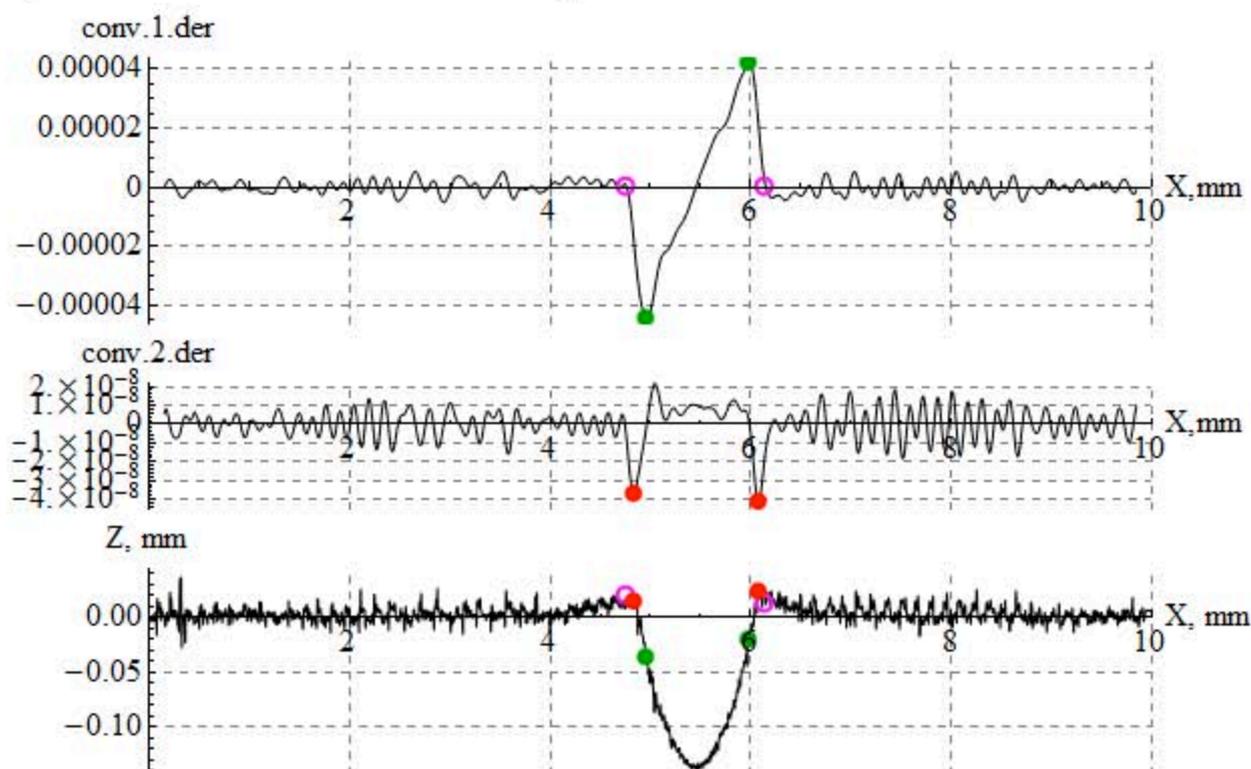


Рисунок 58 – Графики первой и второй smoothed ($\sigma=51$ мкм) производных профиля, а также профиль фрезерованной поверхности

Для более детального описания расстановки полученных точек на рисунке 59 представлен увеличенный участок центральной области профиля, содержащий индент и отмеченные точки. Можно отметить, что точки, отмеченные кружочками цвета «маджента» обладают высокой стабильностью даже при заниженном значении стандартного отклонения, и соответственно, зашумлённом сигнале первой производной. Расстояние между данными точками приводит к смещённой оценке – значение диаметра отпечатка оказывается завышенным. Вместе с тем, стабильность данных точек, а также их асимметричность в сторону завышения диаметра можно использовать для оценки правильности граничных точек, найденных по экстремумам второй производной – данные экстремумы (обозначены на рисунках красным цветом) должны лежать между «маджента»-точками в случае корректной работы алгоритма.

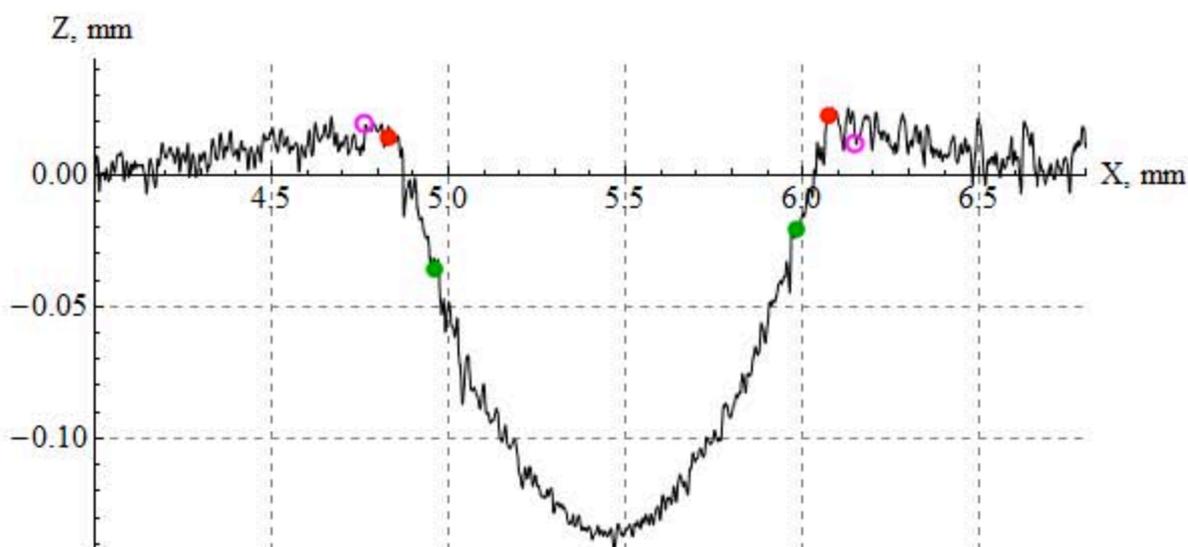


Рисунок 59 – Увеличенная часть профиля шлифованной поверхности с отмеченными граничными точками

Таким образом, можно сформулировать последовательность метода нахождения границ индента, позволяющий рассчитать значение его диаметра

- полученный профиль следует переинтерполировать на равномерную сетку, рекомендованное значение точек переинтерполяции – 100 000, при условии, что размер индента составляет не менее 10% длины измеренного профиля

- для переинтерполированного массива Z_i следует осуществить свёртку с ядрами $kern1$ и $kern2$, аппроксимирующими первую и вторую производную функции Гаусса. Используемое значение стандартного отклонения σ следует выбрать равным 20 мкм.

- на полученном графике первой производной следует определить точки минимума и максимума. От полученной точки минимума следует начать перебор точек в сторону уменьшения абсциссы до тех пор, пока значение ординаты производной не поменяет свой знак. От полученной точки максимума следует начать перебор точек в сторону увеличения абсциссы до тех пор, пока значение ординаты первой производной не поменяет свой знак. Полученные точки считаются граничными точками по усреднённому значению первой производной рельефа.

- на полученном графике второй производной профиля следует найти десять точек, в которых достигается локальный экстремум. Данную процедуру можно находить следующим образом: после нахождения i -го экстремума исключить из рассмотрения точки, абсциссы которых отличаются от значения x_i более чем на пять стандартных отклонений. Из полученного «укороченного» массива значений осуществить поиск глобального экстремума. Найденная точка будет являться $i+1$ локальным экстремумом.

- Провести оценку корректности выбранного значения стандартного отклонения σ : отсортировать точки экстремумов по убыванию абсолютного значения ординаты. В отсортированном массиве каждое из первых двух найденных абсолютных значения экстремумов ординат второй производной должны быть больше оставшихся в два раза. Если данное требование не выполняется следует увеличить значение σ в два раза и повторить все предыдущие вычисления за исключением переинтерполяции данных. Если ординаты отличаются более чем в четыре раза – следует уменьшить значение σ в два раза (для первой итерации); для последующих итераций следует выбирать значение σ методом деления отрезка пополам. По завершении итерационной процедуры считать первые два

- Оценить корректность полученных значений: абсциссы граничных точек, найденных по второй производной должны лежать между абсциссами граничных точек, найденных по первой производной профиля поверхности. Если данное требование выполняется перейти к следующему пункту. Если данное требование не выполняется выдать сообщение об ошибке и попросить оператора задать граничные точки вручную.

- Осуществить вычисление диаметра индента по граничным точкам, найденным по первым двум экстремумам второй производной рельефа поверхности как разность значений их абсцисс.

Результаты и выводы раздела

Работы по данному разделу были частично проведены на приборе «Оптический профилометр», входящим в парк ЦКП ФГБНУ ТИСНУМ.

В результате выполнения проведения экспериментальных исследований с целью разработки методики измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности были выработаны рекомендации по подбору скоростей сканирования, был предложен алгоритм определения граничных точек для расчёта диаметра остаточного отпечатка, были предложены критерии проверки корректности найденных значений. Полученные результаты соответствуют требованиям п.3.46 ТЗ и 3.9 ПГ и вошли в состав разработанной Методики, приведенной в Приложении Б.

Результаты работ по данному разделу были использованы:

- в статьях:

- «Combined opto-mechanical measurements with the transparent indenter's tip»,

- «In-situ Raman mapping during indentation»

экспериментальные данные, вошедшие в состав которых, были получены на УНУ ФГБНУ ТИСНУМ «Рентгеновская установка».

- при подаче заявки на патент на изобретение «Динамический наноиндентор»

10 Исследовательские испытания экспериментальных образцов iPoRTN на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях

В соответствии с п. 3.10 ПГ и 3.51 ТЗ были проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов iPoRTN на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовках в лабораторных условиях. Испытания проводились в Отделе исследования физико-механических свойств ФГБНУ ТИСНУМ, расположенном в г. Троицке, ул. Центральная, 7а.

В качестве образцов, на которых проводились исследовательские испытания, были взяты модельные тестовые образцы толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок, изготовленные Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмап» согласно п. 3.37 и 3.49 ТЗ, 2.21 и 3.18 ПГ. Список образцов приведен в таблице 4.

Таблица 4. Перечень модельных тестовых образцов для проведения испытаний экспериментальных образцов iPoRTN в лабораторных условиях

| Номер | Тип образца | Наименование |
|-------|---------------------------------------|---------------------|
| 1 | толстостенная труба большого диаметра | ЦЛТ-700/2700 35ХМЛ |
| 2 | толстостенная труба большого диаметра | ЦЛТ-800/2700 20ГСЛ |
| 3 | толстостенная труба большого диаметра | ЦЛТ-900/2700 16ГС |
| 4 | полая литая заготовка | ПЛЗ-325x9.0 40ХН2МА |
| 5 | полая литая заготовка | ПЛЗ-273x16 35ХМА |
| 6 | полая литая заготовка | ПЛЗ-426x8.0 38ХНВА |

Для удобства транспортировки модельных тестовых образцов к месту проведения испытаний в лабораторных условиях из них были вырезаны небольшие участки, при этом были соблюдены требования ТЗ к геометрическим параметрам исследуемых образцов по п. 4.3.1.3.12:

- размер области исследования на поверхности образца составлял более 5 мм в произвольных направлениях, перпендикулярных направлению индентирования;

- радиусы кривизны индентируемых поверхностей были более 200 мм для выпуклых образцов и более 1 м для вогнутых и седлообразных;
- толщина образца в исследуемой области составляла более 10 мм;
- параметр волнистости в исследуемой области Wz составлял не более 20 мкм; параметр шероховатости Ra удовлетворял требованиям ГОСТ Р 8.748-2011 для выбранных рабочих диапазонов нагрузок и глубин индентирования, наклон поверхности образца относительно плоскости, перпендикулярной направлению индентирования, был не более 3° . Данные параметры контролировались в ходе механической обработки (поверхность исследуемого образца доводилась до требуемого уровня гладкости в ФГБНУ ТИСНУМ при помощи шкурки соответствующей зернистости), проведенной в дополнение к механической обработке, произведенной после изготовления образцов, см. раздел 18 настоящего отчета (рисунок 60).

В методе инструментального индентирования требования к уровню шероховатости поверхности, не превышающему 10% от ожидаемой глубины индентирования, восходят к [9,10]. В этих работах приведена информация о том, что из-за высокой шероховатости поверхности полученные значения твердости не только имеют высокую дисперсию, но и смещенную оценку, т.е. становится невозможно получить истинное значение твердости исследуемого материала простым усреднением.

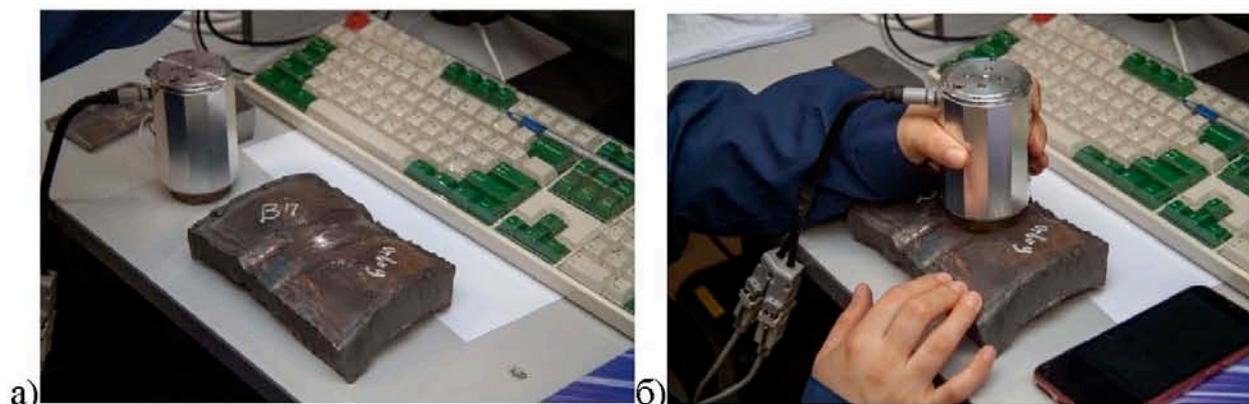


Рисунок 60 – а) поверхность образца ЦЛТ-900/2700 16ГС, обработанная шкуркой (в центре образца), б) проведение испытаний

На рисунке 61 продемонстрировано испытание образцов, вырезанных из полых литых заготовок ПЛЗ-273x16 35ХМА, ПЛЗ-426x8.0 38ХНВА.



Рисунок 61 – Измерение образцов: а) ПЛЗ-273x16 35ХМА, б) ПЛЗ-426x8.0 38ХНВА

В соответствии с п. 6.1.16 ТЗ, п. 3.16 ПГ Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш» была разработана «Программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях», см. Приложение Б.

Измерения при помощи МИОК были проведены в соответствии с Методикой измерения твердости и модуля упругости, реализованной в экспериментальном образце iPoRTH (см. Приложение Б отчета по этапу №2: «Методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH») и регламентированной п. 4.2.4 ТЗ, которая обеспечивает измерение следующих параметров:

- твердость H_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1 \text{ ГПа})$;
- модуль упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$.

Измерения всех перечисленных образцов проводились при помощи насадки для измерения массивных образцов, рисунок 62.



Рисунок 62 – Внешний вид модуля измерительного оперативного контроля (вид снизу): зафиксирована нижняя часть, предназначенная для измерения массивных образцов

В соответствии с п. 4.3.1.2.3 ТЗ при помощи измерительного модуля оперативного контроля измерения проводились путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича.

Автоматический режим проведения измерений, регламентированный п. 4.3.1.2.16 ТЗ, предполагает автономность только при осуществлении процедур поиска поверхности и инструментального индентирования, что и было воспроизведено в ходе исследовательских испытаний экспериментальных образцов iPoRTN на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях. Результаты измерений отображаются на экране смартфона, рисунок 63.



Рисунок 63 – Испытание образца ПЛЗ-325х9.0 40ХН2МА. Результаты измерений отображаются на экране смартфона

Максимальное усилие, которое было приложено к образцам, составляло 10 Н, а максимальное перемещение индентора при индентировании достигало 150 мкм.

Перед проведением испытаний по методу, основанному на [11,12], помимо калибровки функции формы площади, регламентированной стандартом по наноиндентированию, необходимо осуществить следующие действия:

- Выполнить калибровку относительного вертикального местоположения опорных шариков по отношению к острию индентора. Перемещение опорной головки вдоль штока осуществляется путем ее вращения; закрепление в рабочем положении производится с помощью контргайки. Диапазон положения наконечника: от 20 до 80 мкм от исследуемой поверхности. Расстояние контролируется оператором визуально, либо путем вставления щупа (полоски обычной писчей бумаги) в зазор между индентором и поверхностью. Для плоских поверхностей процедура калибровки вертикального положения осуществляется одновременно со сменой рабочей головки; при реальных измерениях в дальнейшем не производится. При работе с неровными вогнутыми и выпуклыми поверхностями данную процедуру проводят по месту измерения.
- Убедиться, что прибор готов к работе: показания емкостного датчика перемещения находятся в начале диапазона.

В ходе испытаний необходимо выдерживать:

- усилие прижима в течение всего цикла измерения (время процедуры зависит от максимальной нагрузки и в среднем занимает около одной минуты) не менее 30 Н и не более 60 Н.
- угол между линией приложения силы и перпендикуляром к поверхности образца менее 10 градусов.

После завершения вдавливания для проведения другого теста оператор должен переместить прибор на расстояние около 1 мм от последнего места вдавливания.

Перед проведением испытаний была осуществлена калибровка формы наконечника путем индентирования плавленого кварца с увеличивающейся нагрузкой. Полученная функция формы площади использовалась для расчета твердости.

Полученные данные, приведенные в таблице 5, о модуле упругости хорошо согласуются с табличными характеристиками (см. Справочник физических величин) для соответствующих материалов. На рисунке 64 приведены характерные зависимости нагрузки-разгрузки, полученные на плавленом кварце и стальных образцах.

Таблица 5. Твердость и модуль упругости образцов, измеренные при помощи МИОК iPoRTH в лабораторных условиях.

| Материал | Твердость, измеренная МИОК iPoRTH Н, ГПа | Модуль упругости, ГПа |
|---------------------|---|--------------------------|
| Плавленый кварц | $8,5 \pm 0,8$ | 75 ± 5 |
| ЦІТ-700/2700 35ХМЛ | $1,5 \pm 0,3$ | 218 ± 13 |
| ЦІТ-800/2700 20ГСЛ | $1,25 \pm 0,1$ | 225 ± 17 |
| ЦІТ-900/2700 16ГС | $1,1 \pm 0,2$ | 214 ± 20 |
| ПЛЗ-325x9.0 40ХН2МА | $2,8 \pm 0,6$ | 223 ± 18 |
| ПЛЗ-273x16 35ХМА | $2,4 \pm 0,1$ | 212 ± 15 |
| ПЛЗ-426x8.0 38ХНВА | $1,05 \pm 0,1$ | 219 ± 19 |

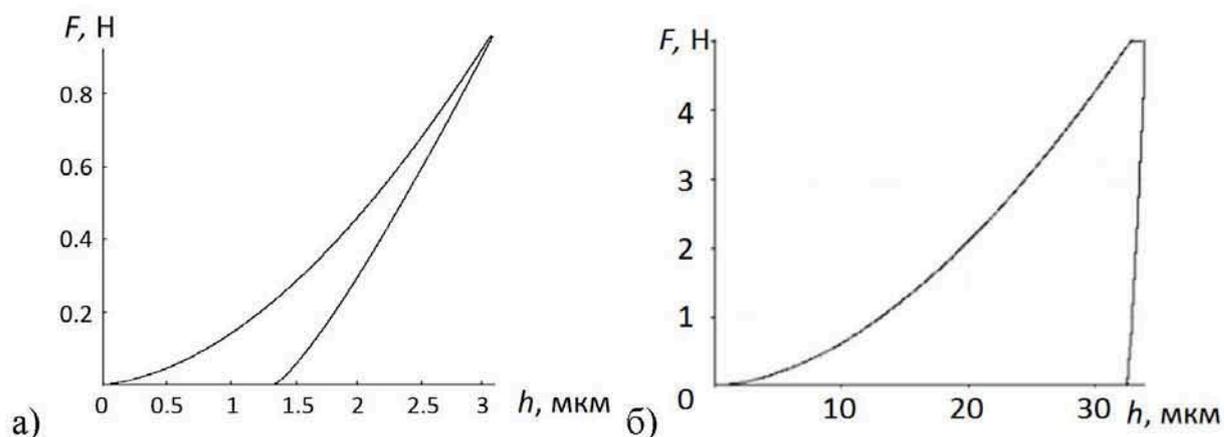


Рисунок 64 – а) Кривая нагрузки-разгрузки, полученная на плавном кварце, б) Характерная для стальных образцов кривая нагрузки-разгрузки, полученная на образце ЦЛТ-800/2700 20ГСЛ

Испытания на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях при помощи модуля измерительного индентационного также проводились согласно Программе и методике, приведенной в Приложении Б. Кроме модельных тестовых образцов, изготовленных Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш», для проверки метрологических возможностей МИИ экспериментального образца iPoRTH исследовался стандартный образец, изготовленный из алюминиевого сплава Д16, стальной (65Х15) образец, образец из нержавеющей стали 36НХТЮ.

Анализ первичных данных, получаемых с помощью iPoRTH, продемонстрировал корректную работу алгоритма обработки данных во всем диапазоне нагрузок, включая начальный участок, на котором из-за инерционности силового актуатора наблюдается незначительный отрыв индентирующего шарика от тестируемого образца на нескольких первых циклах нагружения, рисунок 65. Это обстоятельство не помешало алгоритму правильно обработать данные и представить корректную кривую нагрузка-глубина. Примеры итоговых кривых нагрузка-глубина, полученных в автоматическом режиме, приведены на рисунке 66.

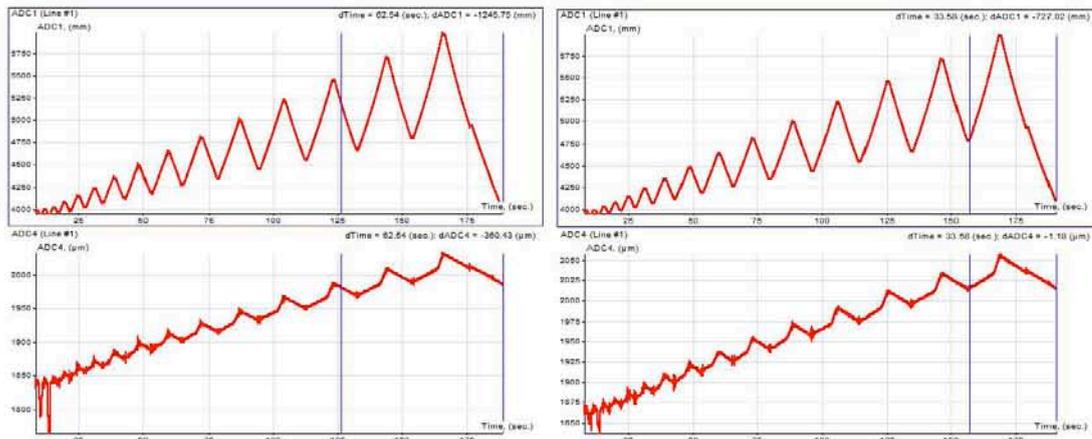


Рисунок 65 – Примеры первичных (необработанных) кривых зависимости нагрузки и глубины погружения от времени, полученные с использованием iPoRTH

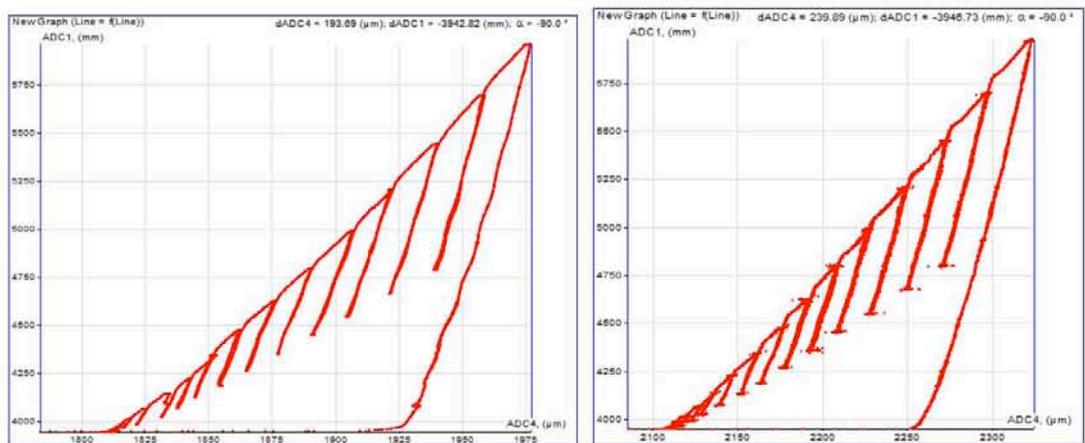


Рисунок 66 – Примеры первичных (необработанных) кривых зависимости нагрузки и глубины погружения от времени, полученные с использованием iPoRTH

Приведенные данные относятся к типичным сталям, используемым в производстве стальных труб общетехнического применения (ЦЛТ-800/2700 20ГСЛ и ПЛЗ-273x16 35ХМА). Качественно другая картина наблюдается при проведении индентационных испытаний высокоуглеродистых и легированных нержавеющей сталей (36НХТЮ), рисунок 67. На полученных данных хорошо виден эффект упрочнения стали при ее деформации, выражающийся в увеличении тангенса угла наклона графика, отражающего зависимость силы прижима от глубины.

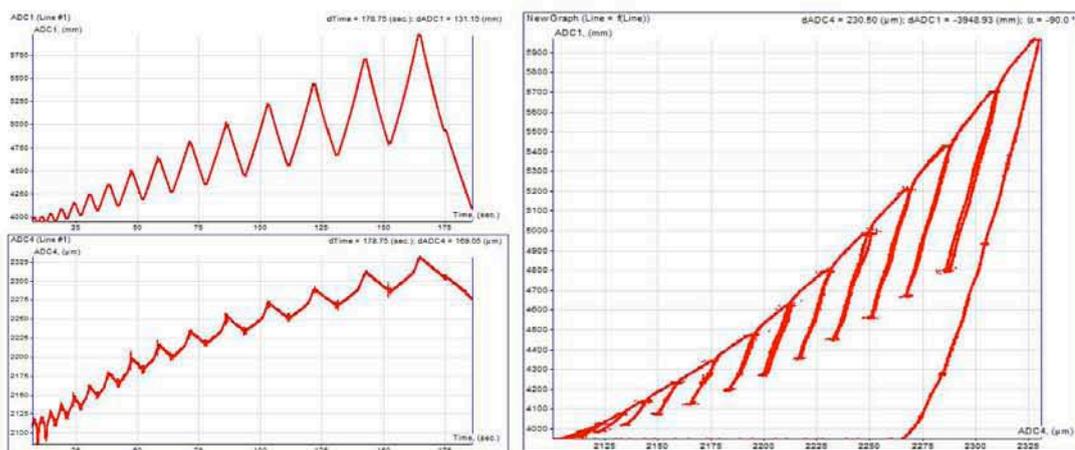


Рисунок 67 – Примеры первичных и обработанных кривых, отражающих зависимость нагрузки от глубины погружения, полученные с использованием iPoRTH на стали 36НХТЮ

Еще более специфической оказалась кривая нагрузка-глубина для стали 65Х15, используемой для изготовления ножей, рисунок 68.

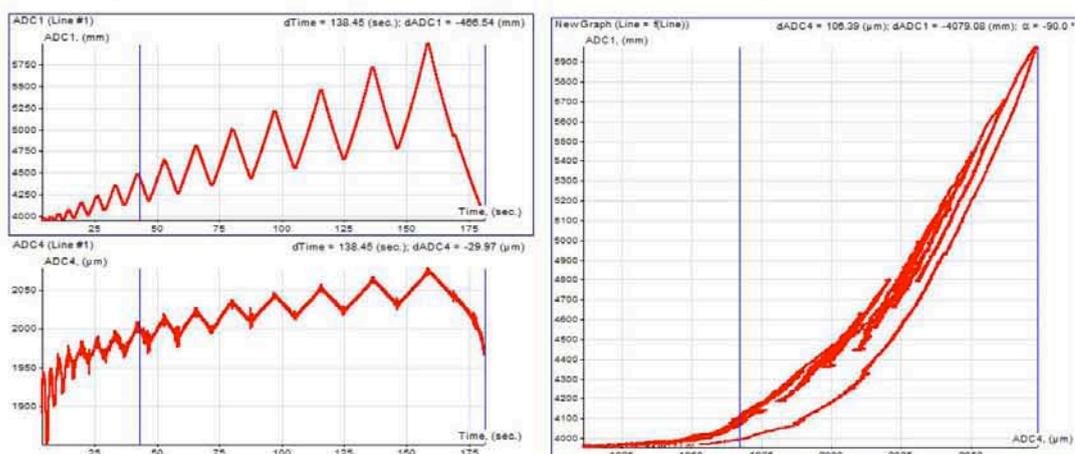


Рисунок 68 – Примеры первичных и обработанных кривых, отражающих зависимость нагрузки от глубины погружения, полученные с использованием iPoRTH для стали 65Х15

В качестве иллюстрации успешности испытаний экспериментального образца индентационного модуля iPoRTH можно привести полученные с его помощью зависимости механических свойств различных сплавов от степени их деформации, рисунки 69 и 70.

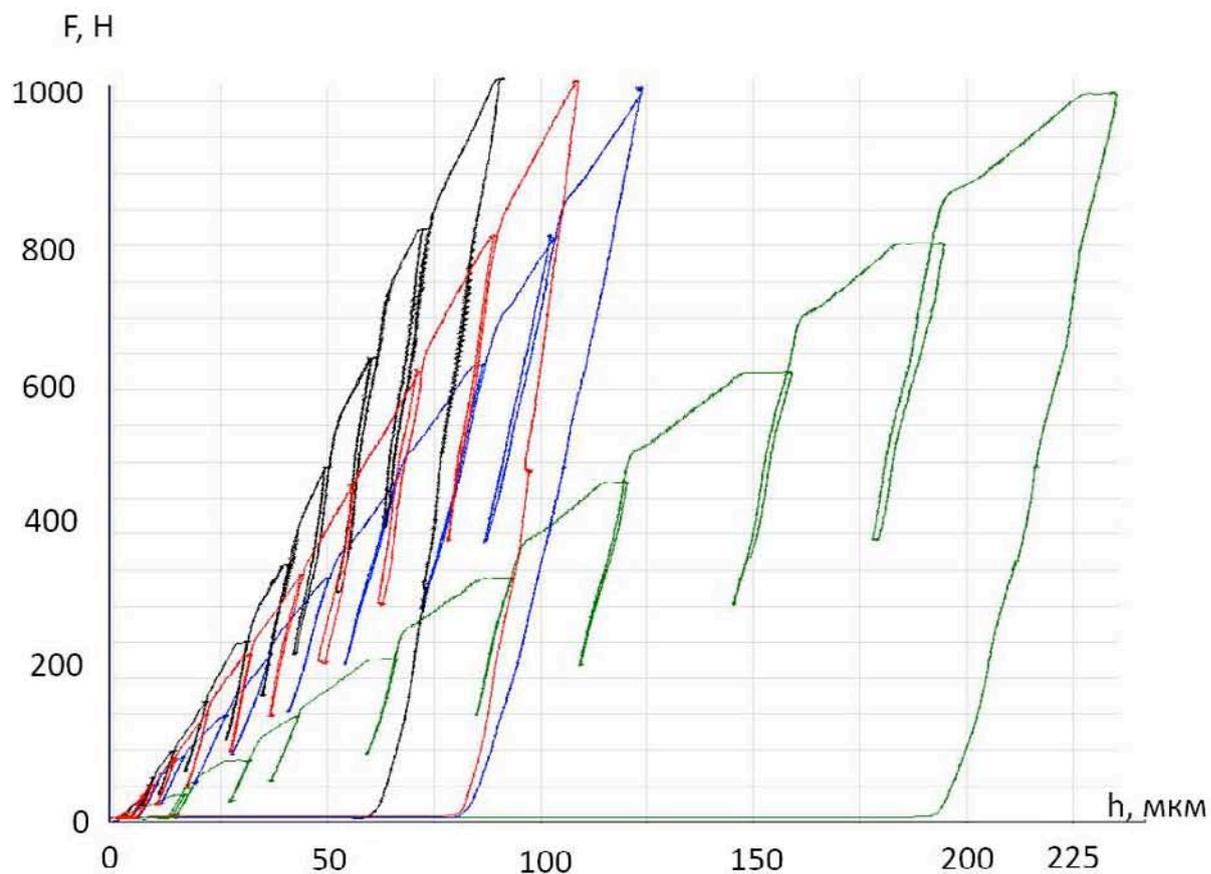


Рисунок 69 – Примеры обработанных кривых, отражающих зависимость нагрузки от глубины погружения, полученные с использованием iPoRTN для четырех материалов: Красная – образец ЦЛТ-700/2700 35ХМЛ, Синяя – ЦЛТ-900/2700 16ГС, Зелёная – алюминий Д16, Чёрная – ПЛЗ-426х8.0 38ХНВА

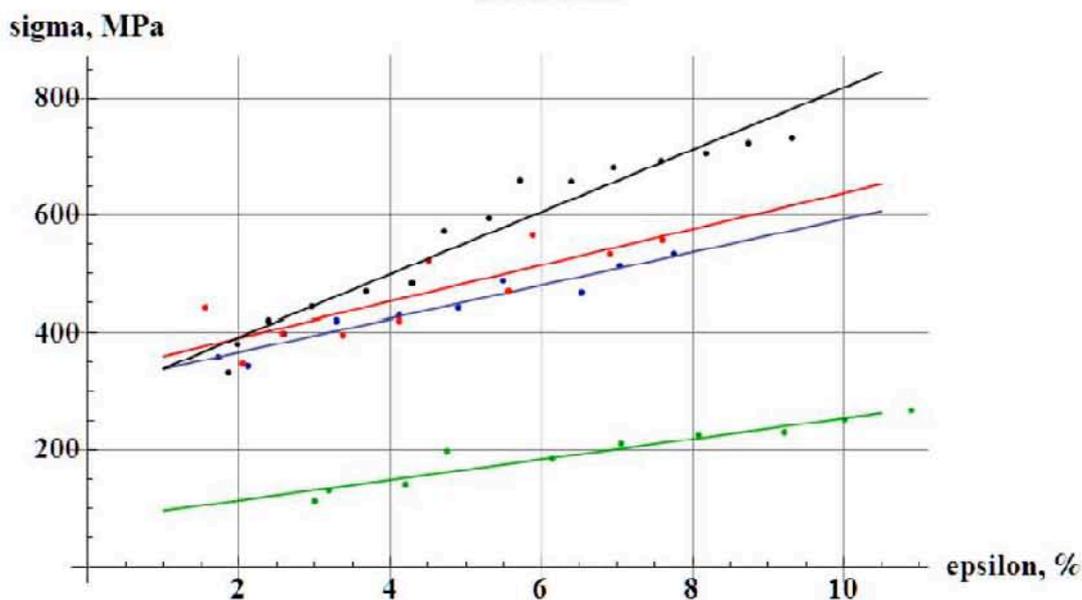


Рисунок 70 – Примеры обработанных кривых, отражающих зависимость сигма-эпсилон, полученные с использованием iPoRTN для четырех материалов: Красная – образец ЦЛТ-700/2700 35ХМЛ, Синяя – ЦЛТ-900/2700 16ГС, Зелёная – алюминий Д16, Чёрная – ПЛЗ-426х8.0 38ХНВА

Количественные значения предела текучести в сравнении с табличными данными, а также коэффициент и показатель деформационного упрочнения для всех исследованных образцов приведены в таблице 6.

Таблица 6. Предел текучести, коэффициент и показатель деформационного упрочнения, измеренные при помощи МИИ iPoRTN в лабораторных условиях и табличные данные.

| Образец | σ_y , ГПа | Предел текучести таблич. $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²) | K, ГПа | n |
|------------------------|------------------|--|-----------|------------|
| ЦЛТ-700/2700 35ХМЛ | 0.54±0.02 | 500-550 | 1.01±0.04 | 0.12±0.03 |
| ЦЛТ-800/2700 20ГСЛ | 0.42±0.03 | 400-500 | 0.83±0.02 | 0.11±0.03 |
| ЦЛТ-900/2700 16ГС | 0.38±0.03 | 350 | 0.78±0.04 | 0.09±0.02 |
| ПЛЗ-325х9.0 40ХН2МА | 0.98±0.04 | 950 | 1.71±0.04 | 0.13±0.03 |
| ПЛЗ-273х16 35ХМА | 0.83±0.04 | 750-850 | 1.54±0.06 | 0.11±0.02 |
| ПЛЗ-426х8.0 38ХНВА | 0.94±0.05 | 850-950 | 1.85±0.03 | 0.12±0.03 |
| Алюминий Д16 | 0.39±0.03 | 350 | 0.75±0.01 | 0.08±0.005 |

Результаты и выводы раздела

Проведённые работы соответствуют требованиям и задачам п. 3.10 ПГ и 3.51 ТЗ. Полученные значения твердости и модуля упругости продемонстрировали хорошее совпадение с данными, приведенными в справочнике. Табличные значения для образца плавленого кварца составляют $H = 9.2$ ГПа, $E=70$ ГПа, для сталей, и которых изготовлены модельные тестовые образцы, значения модуля упругости находятся в интервале 200-210 ГПа.

Испытания, проведенные в ходе работ по данному разделу, стали основой для получения результатов, вошедших в публикацию «Портативный прибор для измерения твердости методом инструментального

индентирования», принятую в журнале: «Поверхность: рентгеновские и синхротронные исследования».

Акт и протокол испытаний экспериментальных образцов iPoRTN размещены в Приложении В к настоящему отчету.

11 Корректировка технической документации на экспериментальный образец iPoRTH и измерительных методик по результатам испытаний

11.1 Корректировка технической документации

Лабораторные исследовательские испытания iPoRTH подтвердили работоспособность индентационного модуля, системы позиционирования, модуля оперативного контроля и системы радиоэлектронного обеспечения.

Модуль оперативного контроля был признан полностью годным к полевым испытаниям и был изготовлен в соответствии с представленной на предыдущем этапе ЭКД.

Корректировка ЭКД в части электрических схем, обеспечивающих функционирование всех компонент iPoRTH, носила характер детализации системы коммутации различных компонент и конкретизации типов устройств, используемых для беспроводной связи модуля оперативного контроля и управляющей процессом индентирования электроникой.

Наиболее существенной доработке была подвергнута ЭКД индентационного модуля iPoRTH. Произведенные измерения носили чисто технологический характер и не изменили базовый принцип работы, кинематическую схему и динамическую модель данного модуля.

По результат Лабораторных испытаний экспериментального образца iPoRTH было принято решение модернизировать узел нагружения и оставить в неизменном виде модуль датчика силы и глубины погружения. Проведенная модификация ЭКД касалась только части элементов индентационного модуля, и она перечислена в данном разделе. Новые образцы iPoRTH имеют прежние метрологическими характеристиками и обладают полным набором функциональных возможностей, предусмотренных ТЗ на ПНИЭР. Они полностью совместимы с разработанным электронным оборудованием и Программным Обеспечением. Финальная модификация экспериментального образца iPoRT оказалась более удобна в изготовлении, сборке и ремонте, а также имеет больший запас по

нагрузочной способности при осуществлении индентационных измерений. Общие габариты модуля уменьшились, он стал более компактным, высота модуля уменьшилась.

Новый комплект ЭКД полон. Изготовление, сборка, наладка и калибровка индентационного модуля iPoRTH продемонстрировали технологичность конструкции iPoRTH и соответствие его технических характеристик требованиям ТЗ.

- Схема деления структурная модуля измерительного индентационного
- ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 Е1;
- Чертеж общего вида модуля измерительного индентационного
- ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 ВО;
- Схема электрическая функциональная модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 Э2;
- Перечень элементов схемы электрической функциональной модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 ПЭ Э2;
- Чертеж Корпус-основание ЭД.iPoRTH.МИИ-1.001;
- Чертеж Пластина подвижная1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.002;
- Чертеж Пластина подвижная2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.003;
- Чертеж Пластина верхняя ЭД.iPoRTH.МИИ-1.004;
- Чертеж Стенка боковая1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.005;
- Чертеж Стенка боковая2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.006;
- Чертеж Стенка боковая ЭД.iPoRTH.МИИ-1.007;
- Чертеж Крышка ЭД.iPoRTH.МИИ-1.008;
- Чертеж Стакан ЭД.iPoRTH.МИИ-1.009;
- Чертеж Муфта ЭД.iPoRTH.МИИ-1.010;
- Чертеж Вал направляющий ЭД.iPoRTH.МИИ-1.011;
- Чертеж Винт трапецеидальный ЭД.iPoRTH.МИИ-1.012;

- Схема электрическая функциональная модуля беспроводной цифровой связи ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000 Э2;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.МИИ МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Микроскоп МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Профилометр МЭ.

11.2 Корректировка измерительной методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном электрическом сопротивлении

В разделе 8 настоящего отчета была представлена методика измерения площади отпечатка на основании измерения электрического сопротивления. Было отмечено, что прямое измерение контактного радиуса a согласно соотношению:

$$a = (\rho_1 + \rho_2)/(2R_\Omega), \quad (10)$$

где ρ_1 и ρ_2 - удельные сопротивления индентора и образца, приводит к заниженным значениям контактного радиуса a .

Вместе с тем, можно отметить, то при правильной постановке эксперимента измерения сопротивления дают достаточно информативный результат. Для демонстрации данного утверждения можно вспомнить о том, что в методе инструментального индентирования наклон разгрузочной кривой используется для вычисления модуля упругости или, при калибровке – для измерения контактной площади. Данные подходы основаны на зависимости наклона разгрузочной кривой S с величиной контактного диаметра d и модулем упругости E^* :

$$S = E^* \cdot d \quad (11)$$

Данная формульная зависимость следует из теории упругости [13] и применяется не только для сферических тел, но выводится аналитически и для любого тела, представляющего фигуру вращения. На практике данная

зависимость применяется даже для пирамидальных инденторов, причём диаметр d пересчитывается в контактную площадь. Более интересным с точки зрения данного исследования является тот факт, что наклон разгрузочной кривой S , а в случае гомогенного материала, следовательно контактная площадь сохраняется постоянной на большей части разгрузочной кривой.

Указанный факт наблюдается и при вычислении контактного радиуса согласно формуле (10). На рисунке 71 представлены графики, полученные при индентировании поверхности сферическим наконечником с радиусом кривизны 2.5мм. На рисунке 71а изображена зависимость силы от глубины, на рисунке 2а – зависимость расчётного согласно формуле (10) радиуса.

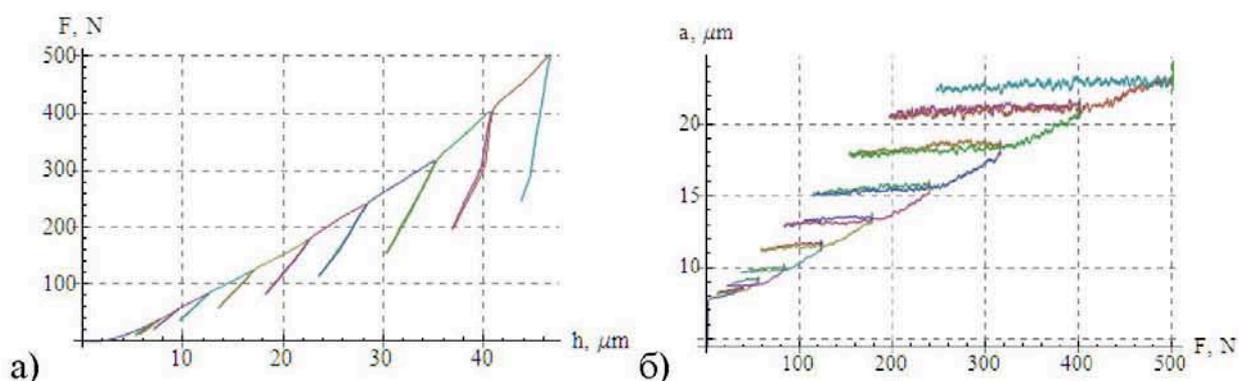


Рисунок 71 – Зависимости силы от глубины (а) и расчётного контактного радиуса от нагрузки (б)

Из рисунка 1 можно отметить, что измеренный согласно контактному сопротивлению радиус действительно остаётся практически постоянным на разгрузочных участках кривой. Разгрузочные кривые для инденторов даже пирамидальных геометрий описываются при помощи модели Герца, подразумевающей взаимодействие сферических тел (или более точно – параболоидов вращения). Такое предположение подтверждается экспериментальными данными, что в свою очередь объясняется понятием «эффективного радиуса» [14]: распределение напряжений при разгрузке индентора из пластического отпечатка соответствует модели Герца с некоторым большим «эффективным» значением радиуса. Также можно

отметить, что в рамках модели Герца контактный радиус a связан с глубиной индентирования h соотношением $a = \sqrt{hR}$.

Таким образом, для более корректного вычисления контактного радиуса на основе данных о контактном сопротивлении с использованием формулы (1) предлагается ввести корректирующий параметр k , определение которого предлагается сделать на основе корреляций расчётного значения a с величинами $\sqrt{h_t R}$ и $\sqrt{h_p R}$, где h_p и h_t – пластическая и полная глубины, используемые в методе АВІ. На рисунке 72 представлены зависимости радиуса a от данных параметров.

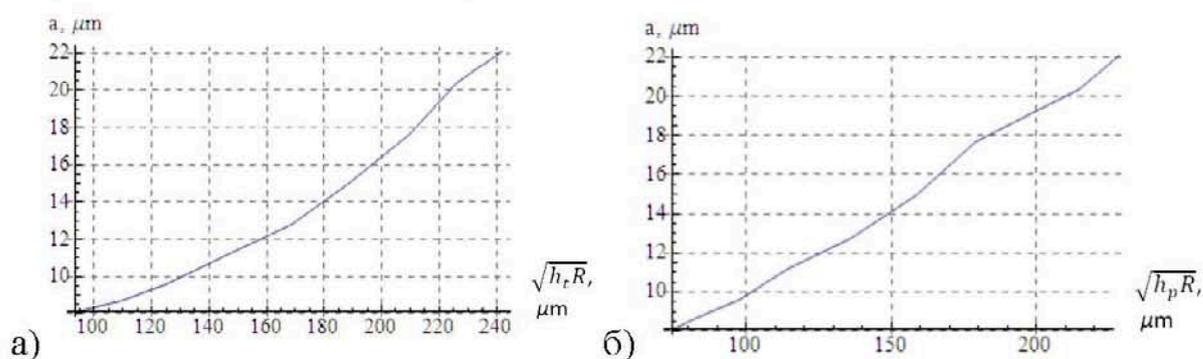


Рисунок 72 – Зависимости расчётного радиуса a от параметров $\sqrt{h_t R}$ (а) и $\sqrt{h_p R}$ (б)

Как видно из представленных рисунков, зависимость $a(\sqrt{h_p R})$ является более линейной, чем зависимость $a(\sqrt{h_t R})$. На основе полученных данных была построена линейная аппроксимация $a = 0.097 \cdot \sqrt{h_p R}$. Соответствующая площадь отпечатка может быть вычислена по формуле $A = \pi h_p R$, или, используя полученный коэффициент: $A = 334a^2$. Таким образом, используя формулу (10), измерение площади отпечатка предлагает проводить на основе соотношения:

$$A = 83.5 \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{R_\Omega^2}, \quad (12)$$

где R_Ω – контактное сопротивление, вычисленное на основе измеренных значений тока и напряжения.

Результаты и выводы раздела

Проведенная в соответствии с п. 3.52 ТЗ корректировка ЭКД (Приложение А) позволила оптимизировать конструкцию ряда элементов iPoRTH и улучшила уровень электронной интеграции различных модулей iPoRTH.

Скорректированная методика измерительной методики измерения площади отпечатка, использующей информацию о контактном электрическом сопротивлении приведена в Приложении Б и соответствует требованиям п. 3.52 ТЗ. Проведённые работы соответствуют задачам п. 3.11 ПГ.

12 Разработка руководства по эксплуатации экспериментального образца iPoRTH

В соответствии с п. 3.53 Технического задания и п. 3.12 плана-графика работ по ПНИЭР разработано руководство по эксплуатации экспериментального образца iPoRTH согласно ГОСТ 2.601-95.

Данное руководство вошло в состав технической документации, предусматриваемой п. 6.1.3 ТЗ и является частью конструкторской документации, сопровождающей экспериментальный образец iPoRTH.

Результаты и выводы раздела

Результаты представлены в Приложении Д и соответствуют пункту 3.53 ТЗ, и П.3.12 ПГ.

13 Проведение оценки полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР, оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем

13.1 Оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР

В результате выполнения ПНИЭР по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» был решен широкий круг научных и технических задач, позволяющий говорить о появлении нового типа измерительного оборудования ориентированного на применение в полевых условиях и условиях реального промышленного производства.

Созданный экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера на данный момент соответствует или превосходит по своим характеристикам лучшие зарубежные аналоги.

Модуль оперативного контроля твердости материалов, реализующий методику измерения твердости по ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002, является уникальной разработкой и не имеет аналогов.

Разработанное роботизированное оборудование iPoRTH предоставляет возможности оперативного контроля рельефа поверхности, твердости, модуля упругости, предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения конструкционных материалов и функциональных покрытий при помощи портативного прибора, работающего в автоматическом режиме.

Изготовленное оборудование и комплекс измерительных методик позволяют проводить измерения на крупногабаритных элементах узлов и агрегатов изделий и механизмов, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях, в том числе на габаритных заготовках, трубопроводах,

элементах конструкции атомных и тепловых электростанций, а также функциональных металлических и композиционных гетерофазных конструкционных материалов нового поколения и деталей сложной формы, в том числе, полученных с использованием аддитивных технологий.

Проведенные испытания продемонстрировали работоспособность оборудования, как в лабораторных, так и производственных условиях во всем диапазоне рабочих температур. Полученные в ходе выполнения ПНИЭР интересные результаты опубликованы в профильных научных журналах.

В ходе выполнения ПНИЭР должны были быть получены следующие научно-технические результаты – задачи выделены жирным шрифтом, результаты представлены обычным шрифтом.

Подготовлена эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера, использующего принципы инструментального индентирования (instrumented Portable Robotic Tester for Hardness – iPoRTH).

ЭКД на все компоненты и модули iPoRTH подготовлена в полном объеме. После проведения исследовательских испытаний, для устранения выявленных недостатков, была осуществлена корректировка ЭКД, финальная ЭКД представленная в итоговом отчете по ПНИЭР. Также была подготовлена ЭКД для изготовления макета системы крепления и позиционирования измерительных модулей.

Изготовлены экспериментальные образцы iPoRTH в количестве 3 шт.

Осуществлены изготовление, сборка, юстировка, наладка, испытания и проведена опытная эксплуатация изготовленного испытательного оборудования, блоков электронного и программного обеспечения. Также были изготовлены и испытаны макеты системы крепления и позиционирования измерительных модулей.

Написано управляющее программное обеспечение экспериментального образца iPoRTH.

Написано и протестировано управляющее программное обеспечение предназначенное для обмена данными между различными блоками iPoRTH, осуществляющее все измерительные процедуры и используемое при обработке, получаемой в ходе проведения измерений информации.

Разработана методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Было проведено численное моделирование процесса индентирования, позволившее для заданного круга материалов, сформировать робастный алгоритм и устойчивую методику обработки данных позволяющую определять предел текучести и деформационное упрочнение тестируемых металлов и сплавов.

Разработана методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Предусмотренная ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002 методика измерения твердости и модуля упругости была реализована в виде программного модуля, осуществляющего процедуру инструментального индентирования и обработку получаемых данных.

Разработана методика измерения площади отпечатка, использующая информацию о контактном электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Было разработано и изготовлено оборудование, позволяющее измерять величину контактного сопротивления области контакта в процессе индентирования и модуль измеряющий профиль восстановленного отпечатка путем сканирования волоконно-оптическим конфокальным датчиком. Установлено, что точность определения площади по оптическому изображению и линейному профилю существенно превосходить точность

оценки площади контакта исходя из величины электрического сопротивления. Метод контроля площади через электрическое сопротивление классифицирован как качественный, позволяющий получать дополнительную информацию о свойствах материала, но не позволяющий обеспечить требуемую по ТЗ точность измерения контролируемых величин.

Разработана методика измерения высоты формы и шероховатости рельефа поверхности с использованием экспериментального образца iPoRTH.

Входящий в состав iPoRTH волоконно-оптический конфокальный датчик высоты с латеральным разрешением 10 мкм и диапазоном измерения высоты рельефа 1 мм, при разрешении по высоте 20 нм, полностью перекрывает диапазон измеряемых по ТЗ шероховатостей и глубин восстановленных отпечатков.

Подготовлен проект технического задания на проведение ОКР по теме «Разработка и организация промышленного производства портативных роботизированных твердомеров».

Проект ТЗ на ОКР составлен с учетом опыта эксплуатации iPoRTH и пожеланий потенциальных покупателей системы роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий.

Таким образом, все работы, финансируемые из бюджетных источников и за счет средств индустриального партнера, выполнены в полном объеме и в соответствии с ТЗ на ПНИЭР.

Анализируя итоги выполнения ПНИЭР более детально и сравнивая их с мировым научно-техническим уровнем в области систем для технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий можно констатировать следующее.

Возможность проведения всех измерений и сохранения в цифровом виде на электронном носителе результатов диагностики с помощью электронного блока управления iPoRTH в автоматическом режиме полностью соответствует современным тенденциям развития рабочих

средств измерения. Максимальное использование автоматических измерительных процедур устраняет целый ряд случайных факторов, связанных с уровнем квалификации и аккуратности специалиста осуществляющего измерения.

Тот факт, что экспериментальный образец iPoRTH имеет возможность работать с наконечниками различной геометрии: пирамидальными и сферообразными (сфероконическими или иными, допускающими приближение острия наконечника сферой) является базовым принципом современной твердометрии и полностью соответствует возможностям коммерческих твердомеров. Сменные наконечники существенно расширяют метрологические возможности как модуля оперативного контроля, так и роботизированного твердомера, позволяя наиболее естественным способом осуществлять сравнение данных получаемых с помощью iPoRTH с данными получаемыми традиционными методами.

Примененный при разработке iPoRTH модульный подход позволил существенно расширить область применения экспериментального образца iPoRTH, который имеет возможность автономного использования на произвольной системе позиционирования, обеспечивающей подвод измерительного индентора с точностью не менее 1 мм на расстояние не более 5 мм к исследуемой поверхности. Также экспериментальный образец iPoRTH имеет возможность полноценного функционирования при его жесткой установке на объект исследования.

Модульный подход, когда индентационный модуль заменяется на цифровой микроскоп прямо во время измерений, без снятия прибора с объекта исследования используется рядом производителей, однако, столь широкого набора сменных модулей нет ни у одного производителя. Использование модульного подхода и универсальной рабочей системы крепления позволяет легко осуществлять наращивание функциональных возможностей iPoRTH без переделки уже существующих элементов.

Методика измерения твердости и модуля упругости, реализованная в экспериментальном образце iPoRTH, обеспечивает измерение следующих параметров:

- твердость H_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002 в диапазоне значений от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1 \text{ ГПа})$;

- модуль упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002 в диапазоне значений от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$.

Данные значения твердости и модуля упругости являются типичными величинами для лабораторных приборов, осуществляющих измерения методом инструментального индентирования в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002. Однако, ни один из серийных приборов не может быть использован в полевых и заводских условиях и не предполагает режима автономной работы.

Разработанный и изготовленный модуль оперативного контроля iPoRTH является первым образцом прибора, измеряющего H_{IT} и E_{IT} в условиях промышленного применения и в этом плане превосходит мировой уровень научно-технического развития. Именно для достижения данного результата – возможности измерения H_{IT} и E_{IT} на образцах, не прошедших тщательную подготовку, индентационное усилие в модуле оперативного контроля было увеличено до 5 Н, что позволило работать с образцами, имеющими достаточно высокий уровень шероховатости.

Методика измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения, реализованная в экспериментальном образце iPoRTH, обеспечивает измерение следующих параметров:

- предела текучести σ_T в диапазоне значений от 0,1 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \sigma_T + 20 \text{ МПа})$;

- коэффициента деформационного упрочнения k в диапазоне значений от 0,5 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times k + 20 \text{ МПа})$;

- показателя деформационного упрочнения n с погрешностью $\pm (0,15 \times n + 0,01)$.

Данный показатель соответствует возможностям измерительного оборудования присутствующего на рынке и в этом плане iPoRTH успешно решает задачу импортозамещения. Более того в силу модульного подхода iPoRTH допускает простую адаптацию к любым условиям эксплуатации и произвольной форме тестируемых изделий, что не всегда возможно при использовании импортных аналогов.

Методика измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности, реализованная в экспериментальном образце iPoRTH, обеспечивает измерение следующих параметров:

- высота формы рельефа поверхности h в диапазоне от 0,1 до 150 мкм с относительной погрешностью $\pm (0,03 \times h + 50 \text{ нм})$;

- измерение шероховатости Ra производится на линейной базе до 1 мм с латеральным разрешением не хуже 5 мкм;

- измерение шероховатости Ra проводится методом конфокальной микроскопии;

- диапазон измерения шероховатости Ra от 0,2 до 4,6 мкм;

- погрешность измерения шероховатости Ra 0,1 мкм.

Указанные величины и диапазоны соответствуют шероховатости абсолютного большинства машиностроительных изделий и в этом плане методика и аппаратура для измерения рельефа и шероховатости вполне соответствует мировому уровню. Главным преимуществом данного измерительного модуля является использование бесконтактного волоконно-оптического конфокального датчика, позволяющего не только повысить точность, но и существенно в десятки и сотни раз повысить скорость измерения формы рельефа и шероховатости. Достигнутая скорость профилирования – 10 мм/с в 10 раз превышает скорость сканирования стандартных профилометров, используемых для измерения шероховатости.

По совокупности характеристик модуль измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности iPoRTH превосходит мировые аналоги.

Экспериментальный образец iPoRTH обеспечивает измерение всех перечисленных в ТЗ на ПНИЭР величин с оговоренной точностью в условиях изменения температуры окружающего воздуха в диапазоне от минус 10°C до плюс 30°C, атмосферного давления от 700 до 760 мм рт. ст., относительной влажности от 20% до 80% и интегральном уровне сейсмического и вибрационного шума в диапазоне частот от 1 до 100 Гц по параметру колебательного ускорения не более 10 мм/с². По данной совокупности потребительских характеристик экспериментальный образец твердомера iPoRTH полностью соответствует зарубежным аналогам, предназначенным для эксплуатации в полевых условиях. В части модуля оперативного контроля iPoRTH превосходит зарубежные аналоги, поскольку все серийные приборы для измерения твердости и модуля упругости методом инструментального индентирования предназначены для эксплуатации в лабораторных условиях, при плюсовых температурах.

В измерительном модуле индентирования использованы сферические или сферообразные (сфероконические или иные) наконечники с радиусом кривизны кончика от 300 мкм до 2,5 мм. Это стандартный диапазон радиусов кривизны шарообразных инденторов для диапазона нагрузок вдавливания от 1 Н до 3000 Н и такие инденторы позволяют осуществлять измерение не только твердости, но и предела текучести, а также деформационного упрочнения материала.

В миниатюрном модуле оперативного контроля должны использоваться наконечники в форме пирамиды Берковича с углом между высотой и гранью $65,3 \pm 0,3^\circ$.

Использование такого типа наконечников типично для метода инструментального индентирования по ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002 и полностью соответствует современному уровню научно-технического развития в области измерения H_{IT} и E_{IT} .

Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца при использовании модуля оперативного контроля iPoRTH в режиме измерения твердости и модуля упругости составляет от 5 до 5000 мН в зависимости от свойств исследуемого материала и толщины функционального покрытия. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm (0,1 \times P + 1 \text{ мН})$.

По верхней границе диапазона нагрузок модуля оперативного контроля iPoRTH превосходит большинство зарубежных аналогов и находится в соответствии с отечественным прибором NanoScan 4D. По уровню минимальных нагрузок индентирования он уступает своим аналогам. Сдвиг нагрузок индентирования в область больших значений обусловлен спецификой использования данного модуля, когда вместо того, чтобы быть установленным в жестком корпусе на виброизолированной платформе, прибор располагается на поверхности тестируемого изделия и удерживается в рабочем положении путем прижима его к тестируемой поверхности руками оператора.

Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения твердости и модуля упругости, составляет от 0,5 до 25 мкм. Точность измерения глубины погружения при индентировании d находится в пределах $\pm (0,1 \times d + 0,1 \text{ мкм})$.

Диапазон глубин погружения индентора для прибора оперативного контроля iPoRTH является функцией рабочей нагрузки и твердости тестируемого материала. Указанные величины являются типичными при работе с конструкционными сплавами железа, меди и алюминия и в этом плане достигнутые характеристики соответствуют как задаче измерения твердости, так и уровню научно-технического развития современного приборостроения. Достигнутая точность измерения глубины погружения индентора гарантирует требуемую по ТЗ точность измерения твердости и модуля упругости.

Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца в режиме измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация составляет от 1 Н до 3000 Н. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm (0,1 \times P + 0,5 \text{ Н})$. Достигнутые характеристики являются типичными для приборов, измеряющих механические свойства металлов и сплавов путем вдавливания твердого шарика. Реализованный диапазон нагрузок позволяет осуществлять измерения твердости предела текучести без тщательной полировки тестируемой поверхности. Для большинства изделий из стали при нагрузке 3000 Н достаточно просто осуществить удаление ржавчины, если она есть, и произвести шлифовку поверхности абразивным материалом.

Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация в зависимости от механических свойств исследуемого материала и толщины покрытия, составил от 1 мкм до 1 мм. Точность измерения итоговой глубины погружения d при индентировании должна быть в пределах $\pm (0,1 \times d + 0,5 \text{ мкм})$.

Указанные величины являются типичными при работе со сплавами железа, меди, алюминия и других материалов. Достигнутые технические характеристики соответствуют задаче измерения механических свойств и уровню научно-технического развития современного приборостроения. Достигнутая точность измерения глубины погружения индентора гарантирует требуемую по ТЗ точность измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация.

Время проведения единичного измерения варьируется в интервале от 10 до 300 секунд в зависимости от вязкоупругих и пластических свойств исследуемого материала. Точность задания времени нагружения находится в пределах 10% от полного времени измерения.

Данные характеристики являются типичными для такого рода приборов и соответствуют Российским и международным стандартам на такие измерения.

Вес измерительного модуля оперативного контроля iPoRTH оказался менее 3 кг, время автономной работы на встроенном источнике электропитания составило более 10 часов или 300 инструментальных индентирований, время зарядки встроенного аккумулятора менее 4 часов. При работе от внешнего источника питания время непрерывной работы прибора и число циклов инструментального индентирования не ограничены.

Достигнутые характеристики являются типичными для приборов, работающих в автономном режиме и вполне соответствуют современным требованиям к такого рода измерительному оборудованию.

Вес индентационного измерительного модуля iPoRTH оказался менее 15 кг.

На рынке присутствуют серийные аналоги iPoRTH как большего, так и меньшего веса. Данная характеристика не является критической для промышленно используемого измерительного оборудования так как указанный вес не ограничивает возможности оператора по быстрому монтажу и демонтажу различных измерительных блоков на систему крепления и позиционирования измерительных модулей.

Диапазон прикладываемого к области контакта напряжения оказался в диапазоне от минус 2 до плюс 2 В, с разрешением лучше 1 мВ. Диапазон регистрируемых значений тока оказался в диапазоне ± 100 мА с разрешением лучше 10 мкА.

Достигнутый диапазон подаваемых напряжений и измеряемых токов полностью соответствует величине контактного электрического сопротивления для типичных металлов при нагрузках вдавливания в диапазон 1 Н – 3 000 Н. Достигнутые характеристики являются достаточными и соответствуют среднему диапазону токов и напряжений, используемых в современных микроомметрах.

Экспериментальный образец iPoRTH обеспечивает измерение всех перечисленных в ТЗ на ПНТЭР величин с требуемой точностью при соответствии геометрических параметров исследуемых образцов следующим требованиям:

- размер области исследования на поверхности образца должен быть не менее 5 мм в произвольных направлениях перпендикулярных направлению индентирования;
- радиусы кривизны индентируемых поверхностей больше 200 мм для выпуклых образцов и больше 1 м для вогнутых и седлообразных;
- толщина образца в исследуемой области больше 10 мм;
- параметр волнистости в исследуемой области Wz не превышает 20 мкм;
- для измерений твердости и модуля упругости согласно ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577-1:2002 параметр шероховатости Ra должен удовлетворять рекомендациям данного стандарта для выбранных рабочих диапазонов нагрузок и глубин индентирования;
- для измерения зависимости напряжение–пластическая деформация, а также соответствующих данной величин: предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения параметр Ra должен быть менее 5 мкм;
- наклон поверхности образца относительно плоскости, перпендикулярной направлению индентирования, должен быть менее 3° .

Данные требования обусловлены физическими особенностями механизма упруго пластического деформирования исследуемого материала, и соблюдаются во всех методиках и всеми приборами, использующими метод контролируемого вдавливания индентора в исследуемый образец. Разработанный индентационный модуль iPoRTH и модуль оперативного контроля iPoRTH соответствуют этим общепринятым требованиям.

Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных имеет функции графического вывода результатов и использовать оконный интерфейс.

Де факто такая организация процесса управления и обработки стала стандартом для программного обеспечения компьютеризированных измерительных систем.

Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи написано с применением языков программирования С и ассемблер.

Как правило язык написания ПО не оговаривается изготовителем. Использование указанных языков соответствует современным тенденциям и отражает гармоничное сочетание в одном ПО как низкоуровневых, так и высокоуровневых систем программирования.

Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи построено без использования предустановленных операционных систем.

Современные системы беспроводной связи, в частности Bluetooth и Wi-Fi, не предполагают наличие полноценных операционных систем на борту электронного оборудования, поскольку большая часть протоколов беспроводной связи поддерживается на аппаратном уровне. Именно такое решение использовано при организации передачи данных между различными блоками iPoRTH, и оно соответствует современным требованиям к блокам беспроводной связи и передачи данных.

Встроенное ПО электронной схемы управления совместимо с компилятором версии XC32.

Используемый компилятор позволяет работать с современными микропроцессорами и обеспечивает совместимость с ожидаемыми новыми схемотехническими решениями. Используемые подходы не закрывают возможности простого перехода на более перспективные и мощные средства цифрового управления процессом измерения и обработкой данных.

Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи обеспечивает возможность приема и передачи данных по интерфейсу Bluetooth версии не ниже 4.2.

Использование Bluetooth версии не ниже 4.2 гарантирует высокоскоростную передачу данных между различными блоками iPoRTH на скорости до 3Мб/с, что более чем достаточно для сбора полного объема данных о процессе инструментального индентирования в режиме реального времени, без существенной буферизации данных.

13.2 Анализ факторов, влияющих на успешную коммерциализацию iPoRTH

В ходе выполнения работы было выявлено и оформлено несколько РИД, повышающих конкурентные преимущества iPoRTH и имеющих ключевое значение для успешной коммерциализации результатов ПНИЭР «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях».

Безусловным обстоятельством, благотворно влияющим на возможность выхода на массовый рынок iPoRTH является учет при разработке опыта эксплуатации его зарубежных аналогов и плотный контакт с потенциальными потребителями разрабатываемого оборудования.

Основным результатом этой деятельности стал модульный принцип сборки различных модификаций iPoRTH и унификация различных измерительных модулей в части механического и электронного интерфейса, позволяющая использовать отдельные измерительные модули, как в составе iPoRTH, так и в других приборах, выпускаемых ФГБНУ ТИСНУМ под торговой маркой НаноСкан [15]. В плане коммерциализации результатов ПНИЭР ключевое значение имеет наладившееся благодаря данной работе плотное взаимодействие с крупным российским дистрибьютором измерительного оборудования фирмой ООО «Остек-АртТул», продающей

приборы для контроля механических свойств, изготавливаемые ФГБНУ ТИСНУМ под торговой маркой NIOS [16,17]. В рамках соглашения о сотрудничестве «Остек-АртТул» планирует осуществлять продвижение всех модификаций iPoRTH, как на Российском, так и зарубежных рынках.

Анализ роли РИД, проведенный Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш», полученных ходе выполнения ПНИЭР дан в разделе 19 данного отчета. Наибольшее значение для успешной коммерциализации различных модификаций iPoRTH на наш взгляд является патент РФ, полученный ФГБНУ ТИСНУМ на изобретение «Инденсор – объектив». Выступления на Российских и зарубежных конференциях и публикации в научных журналах продемонстрировали огромный интерес к данной разработке и ее уникальность в плане открывающихся благодаря данному техническому решению исследовательских возможностей в плане изучения и контроля механических свойств гомогенных и гетерогенных материалов [18].

Полученный патент на изобретение «Инденсор – объектив» закрепляет приоритет в РФ в области оперативного контроля оптических свойств любых материалов в условиях инструментального индентирования. Инденсор - объектив позволяет прямо во время индентирования наблюдать те фазовые превращения, которые происходят в области пластической деформации материала. Крайне перспективно использование такого рода инденсоров при осуществлении склерометрических испытаний, упрочняющих покрытий. При работе с таким инденсором появляется возможность непосредственного наблюдения процесса истирания, разрушения и отрыва покрытия в ходе индентационных и склерометрических испытаний.

Особо стоит отметить, что полученный Патент защищает целый класс инденсоров. Транспарентными, то есть прозрачными, могут быть сделаны не только пирамидальные инденсоры, но и сферические, что особенно важно для испытаний материалов, призванных выявлять диаграмму напряжение

деформация, получаемую в ходе множественного инструментального индентирования с частичной разгрузкой в ходе нагружения [19].

Возможность оптического контроля процессов, происходящих в области взаимодействия алмазного индентора с исследуемым материалом открывает богатые возможности для исследования физики разрушения и изучения состояния вещества в условиях пластической деформации.

Большой интерес к такому рабочему инструменту проявили сотрудники Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ. Поведение материалов изготовленных с использованием лазерных аддитивных технологий и металлической 3D печати существенно отличается от свойств материалов, получаемых обычным литьем и механической обработкой. Открывающаяся при использовании индентора-объектива возможность комплексного анализа процессов, происходящих в области упругопластической деформации крайне важна для широкого внедрения систем контроля изделий производимых с использованием аддитивных технологий.

Данная уникальная разработка уже нашла свое применение в приборах семейства НаноСкан и позволила получить уникальную информацию об изменении фазового состава веществ в процессе инструментального индентирования [20].

Наличие данной возможности – использование индентора-объектива – в измерительном оборудовании разработанном в ходе ПНИЭР «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» делает данную разработку уникальной и обеспечивает ей определенные конкурентные преимущества в сравнении с зарубежными аналогами.

Область использования индентора-объектива не ограничивается использованием в составе iPoRTH. Он уже нашел применение в составе

измерительных систем на основе NanoScan и NIOS, выпускаемых ФГБНУ ТИСНУМ.

Результаты и выводы раздела

Таким образом, можно констатировать полное соответствие достигнутых технических характеристик разработанный экспериментальных образцов индентационного модуля iPoRTH и модуль оперативного контроля iPoRTH требованиям п. 3.54 ТЗ на ПНИЭР и п. 3.13 ПГ. Сравнение с мировым уровнем, описанном в литературном обзоре, входящем в состав отчета, показывает соответствие или превосходство разработанной измерительной системы над зарубежными и отечественными аналогами.

Технико-экономическое обоснование, подтверждающее прогноз доминирующего положения которое займет прибор iPoRTH на Российском рынке, приведено в приложении И.

14 Разработка проекта технического задания на проведение ОКР

При разработке проекта технического задания на ОКР были использованы следующие документы:

- техническое задание на ПНИЭР;
- результаты лабораторных и полевых испытаний приборов iPoRTH (разделы 10 и 22 настоящего отчета);
- данные, полученные в ходе патентных и маркетинговых исследований (разделы 15 и 23 настоящего отчета);
- выводы о полноте решения поставленных в ТЗ на ПНИ задач (раздел 13 настоящего отчета);
- рекомендации по возможности использования результатов ПНИЭР в реальном секторе экономики и оценка потребности промышленности в портативном твердомере (раздел 24 настоящего отчета).

Основанием для разработки проекта ТЗ на ОКР стало успешное завершение ПНИЭР и подтверждение работоспособности разработанных приборов iPoRTH. Проведенные маркетинговые исследования подтвердили востребованность такого рода измерительного оборудования и актуальность проведения ОКР по организации промышленного производства портативных твердомеров для контроля качества поверхностей различных изделий и узлов, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях.

При составлении ТЗ на ОКР за основу было взято ТЗ на ПНИЭР, в которое были внесены изменения, обусловленные использованием разрабатываемых приборов как в условиях промышленного производства, так и в помещении заводской аттестационной или испытательной лаборатории. Опыт эксплуатации опытных образцов разработанных приборов в лабораторных и полевых условиях, а также анализ основных областей применения прибора iPoRTH показали, что некоторые технические характеристики прибора должны быть модифицированы для повышения

эргономики и надежности эксплуатации. Таким образом, при формировании ТЗ на ОКР предложены следующие изменения:

- Вычислительный блок сбора и обработки данных и система электропитания объединены в едином электронном блоке управления. Данное изменение целесообразно внести для повышения эргономики и мобильности прибора в целом. Также данное изменение положительно скажется на разработке корпуса, который для портативного исполнения прибора должен быть пыле- и влагозащищенным. Кроме того, при таком объединении появляется возможность устанавливать модуль беспроводной цифровой связи только для модуля оперативного контроля.

- Аккумуляторная батарея внесена в состав измерительного модуля оперативного контроля.

- Пользовательское программное обеспечение вычислительного блока сбора и обработки данных для визуализации и для администрирования результатов измерений объединено в едином программном модуле. В ходе выполнения ПНИЭР было установлено, что с точки зрения надежности общей архитектуры ПО за счет минимизации внешних вызовов программных функций и сокращения используемых динамических библиотек такое объединение позволит существенно повысить стабильность работы ПО и упростить администрирование процессов разработки ПО.

Результаты и выводы раздела

На основании анализа результатов испытаний опытных образцов приборов iPoRTH и с учетом анализа потребностей в такого рода оборудовании разработан проект Технического задания на ОКР.

При разработке ТЗ на ОКР по организации серийного производства портативных твердомеров iPoRTH учтены как технические особенности прибора, так и технологические возможности индустриального партнера. Развертываемое производство будет полностью соответствовать

требованиям, изложенным в Указе президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технического развития российской федерации».

Полученные результаты соответствуют задачам п. 3.14 плана-графика работ по ПНИЭР и п. 3.55 Технического задания.

15 Патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96

В соответствии с п. 3.15 плана-графика работ по ПНИЭР проведены патентные исследования согласно ГОСТ Р 15.011-96. Объектом патентных исследований являются устройства, осуществляющие измерения механических свойств материалов с помощью контролируемого по глубине и нагрузке вдавливания твердого наконечника в тестируемый материал (типа наноиндентора).

Проводились следующие виды патентных исследований:

- исследование технического уровня разработок в области создания и использования устройств, проводящих измерения механических свойств посредством внедрения алмазного наконечника, в том числе в динамическом режиме, когда траектория движения индентора содержит как монотонную, так и осциллирующую компоненты;

- исследование тенденций развития полнофункциональных приборов, осуществляющих все предусмотренные стандартом на инструментальное индентирование измерительные методики;

- исследование патентоспособности динамического наноиндентора.

Результаты и выводы раздела

Результаты представлены в Приложении Е и соответствуют пункту 5.2 ТЗ, и п. 3.15 ПГ.

16 Разработка Программы и методик проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Общие положения разрабатываемой методики включают в себя:

- наименование объекта испытаний, цель испытаний, условия предъявления объекта испытаний на испытания;
- Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний (Место проведения испытаний, Требования к средствам проведения испытаний, Требования к условиям проведения испытаний, Требования к подготовке объекта к испытаниям).

Требования безопасности при проведении испытаний регламентируются ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

Место и условия должны соответствовать наименованиям испытаний, а именно – это должны быть лабораторные условия.

Программа испытаний должна включать в себя процедуры, необходимые для подтверждения работоспособности разработанного экспериментального образца, а также его соответствие пунктам ТЗ, в которых заявлены требования к экспериментальному образцу, а именно:

4.2.4 Методика измерения твердости и модуля упругости, реализованная в экспериментальном образце iPoRTH, должна обеспечивать измерение следующих параметров:

- твердость H_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1 \text{ ГПа})$;

- модуль упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm(0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$;

4.3.1.1.2 Измерительный модуль оперативного контроля должен быть оснащен радиоэлектронным обеспечением и автономным источником питания.

4.3.1.2.3 Измерительный модуль оперативного контроля должен проводить измерения путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича.

4.3.1.2.4 Измерительный модуль оперативного должен регистрировать измеряемые сигналы, проводить их обработку в автоматическом режиме с индикацией результатов измерения на встроенном дисплее или внешнем электронном устройстве, связанным по проводному или беспроводному цифровому интерфейсу с вычислительным блоком.

4.3.1.3.3 В миниатюрном модуле оперативного контроля должны использоваться наконечники в форме пирамиды Берковича с углом между высотой и гранью $65,3 \pm 0,3^\circ$.

4.3.1.3.4 Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца в режиме измерения твердости и модуля упругости должен составлять от 5 до 5000 мН в зависимости от свойств исследуемого материала и толщины функционального покрытия. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm(0,1 \times P + 1 \text{ мН})$.

4.3.1.3.6 Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения твердости и модуля упругости, должен составлять от 0,5 до 25 мкм. Точность измерения глубины погружения при индентировании d должна быть в пределах $\pm(0,1 \times d + 0,1 \text{ мкм})$.

Для определения соответствия пункту 4.3.1.2.3 Технического задания при проведении испытаний необходимо визуально проконтролировать форму

индентора. Для этого следует воспользоваться визуально-оптическим методом. В качестве аналитического оборудования необходимо воспользоваться микроскопом МБС-10.

Для определения соответствия остальным пунктам Технического задания необходимо произвести серии измерений при помощи МИИ и МИОК на образцах, предусмотренных программой испытаний, а именно на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок. Количество измерений в сериях должно составлять не менее десяти. После проведения измерений на основании полученных результатов необходимо проверить соответствие полученных значений со справочными для измеренных материалов, а также проверить соответствие полученной и требуемой точности измерений.

Результаты и выводы раздела

Разработанные Программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях, приведенные в Приложении Б, соответствует П 3.47 ТЗ и п. 3.16 ПГ.

17 Модернизация стенда для термической обработки образцов труб

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Основным элементом стенда для термической обработки труб является камерная печь с выкатным подом ТермоГаз-ДО-25.75.15/1000-И4-Н. Данный тип печей предназначен для нагрева при обработке давлением и термической обработки (отпуск, нормализация, закалка и т.д.) металлических изделий, в том числе труб и полых литых заготовок. Размеры печи составляют 2,5 м в ширину, 7,5 м в длину и 1,5 м в высоту. В печи используется высококачественная волокнистая теплоизоляция стен, свода и заслонки печи. Футеровка печи позволяет достигать максимальной температуры в 1000 °С, рисунок 73.



Рисунок 73 – Внешний вид печи ТермоГаз- ДО

Для нагрева слитков под ковку используется печь ТермоГаз-ДО 35.51.23/1280. Данная печь имеет размеры 3,5м x 5,1м x 2,3 м и позволяет разогревать заготовки до 1280 °С.

В рамках работы по модернизации стенда термической обработки был проведен следующий комплекс мероприятий:

1) Внедрены энергосберегающие технологии: конструкция стенда доработана под возможность применения современных комплектующих изделий из волокнистых теплоизоляционных материалов. Такие теплоизоляционные материалы характеризуются гораздо большим значение постоянной времени вариативности теплового поля в печи, что позволяет обеспечить ведение технологического процесса в автоматическом режиме при высоком качестве изделий, исключая субъективное влияние человеческого фактора за счет систем автоматизированного управления. Высокая экономичность печей достигается в том числе и за счет рекуперации теплоты отходящих газов (подогрев воздуха на горение до температуры (300-400)°С), снижения потерь тепла на аккумуляцию теплоты кладки путем применения современных волокнистых материалов, использования современных газогорелочных устройств с автоматическим регулированием соотношения «газ-воздух» и рекуперативных горелок фирмы "WS GmbH" (Германия).

2) Разработаны и внедрены выкатные поды принципиально новой конструкции для нагрева изделий весом до 10 т. В печах с подами новой конструкции использована принципиально новая схема теплового нагрева – струйный нагрев – при котором изделия нагреваются за счет непосредственного воздействия продуктов сгорания газа, выходящих из горелочных устройств с повышенными скоростями, на поверхность изделия.

Изоляция рабочего пространства выполнена из легковесных волокнистых огнеупорных материалов. Пол печи имеет возможность подъема для снижения тепловых потерь через затворы, при этом устройство полностью автоматизировано и отвечает всем требованиям газовой инспекции. Нагрев металла производится с минимальным окалинообразованием и без нарушения структуры поверхностного слоя. Время разогрева печи с учетом проведенной модернизации составляет не более 10 минут.

Результаты и выводы раздела.

В результате проведённых на ОАО «Тяжпрессмап» работ была проведена модернизация стенда для термической обработки образцов труб. В рамках работ по модернизации внедрен ряд энергосберегающих технологий, связанных с использованием волокнистых теплоизоляционных материалов, а также введена новая конструкция выкатных под и новая схема струйного теплового нагрева, повышающая качество изделий, подвергающихся термической обработке.

С учетом проведенной модернизации стенд может быть использован для изготовления образцов полых литых заготовок в соответствии с задачами раздела 18 и для термической обработки труб в соответствии с задачами раздела 20 для проведения полевых испытаний экспериментального образца прибора iPoRTH. Акт модернизации стенда приведен в Приложении В.

Полученные результаты соответствуют задачам п. 3.17 ПГ и п.3.48 ТЗ.

18 Изготовление модельных тестовых образцов полых литых заготовок, их механическая и термическая обработка с целью модификации их свойств

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Для проведения лабораторных испытаний экспериментальных образцов прибора iPoRTH была изготовлена серия из трех модельных тестовых образцов полых литых заготовок и осуществлена их механическая и термическая обработка с целью модификации механических свойств.

Начальная стадия процесса изготовления полых литых заготовок в данной работе аналогична описанному в Разделе 20 для труб. Выплавка производится в сталеплавильных печах с последующей заливкой металла из стопорного ковша во вращающиеся изложницы.

После застывания и изъятия из изложницы полые литые заготовки применяются для последующего изготовления различных цилиндрических изделий специального назначения. В зависимости от области применения заготовки подвергаются различным видам термообработки.

Для термической обработки деталей из конструкционных и легированных марок сталей применяется модернизированный стенд, описанный в Разделе 17. Для обеспечения различных вариантов термообработки у ОАО «Тяжпрессмаш» имеется вся необходимая база для проведения таких операций как отжиг, нормализация, закалка, отпуск, азотирование, цементация и закалка ТВЧ. Азотированию подвергаются детали диаметром до 900 мм и длиной до 5800 мм. Осуществляется закалка крупногабаритных деталей: валов, валков, колонн, плунжеров – диаметр 100-500 мм, длина до 9000 мм; из углеродистых, легированных, конструкционных и инструментальных марок сталей весом до 500 кг.

Газовая печь диаметра 1,6 м и высотой 10,5 м используется для закалки и отпуска длинномерных деталей. Печь шестерен диаметром 4 м и высотой 2 м используется для закалки, отжига и отпуска крупногабаритных

деталей. Для азотирования используется электропечь шахтная диаметра 1,2 м и высотой 6 м. Пример выгрузки изделий, прошедших термическую обработку представлен на рисунке 74.

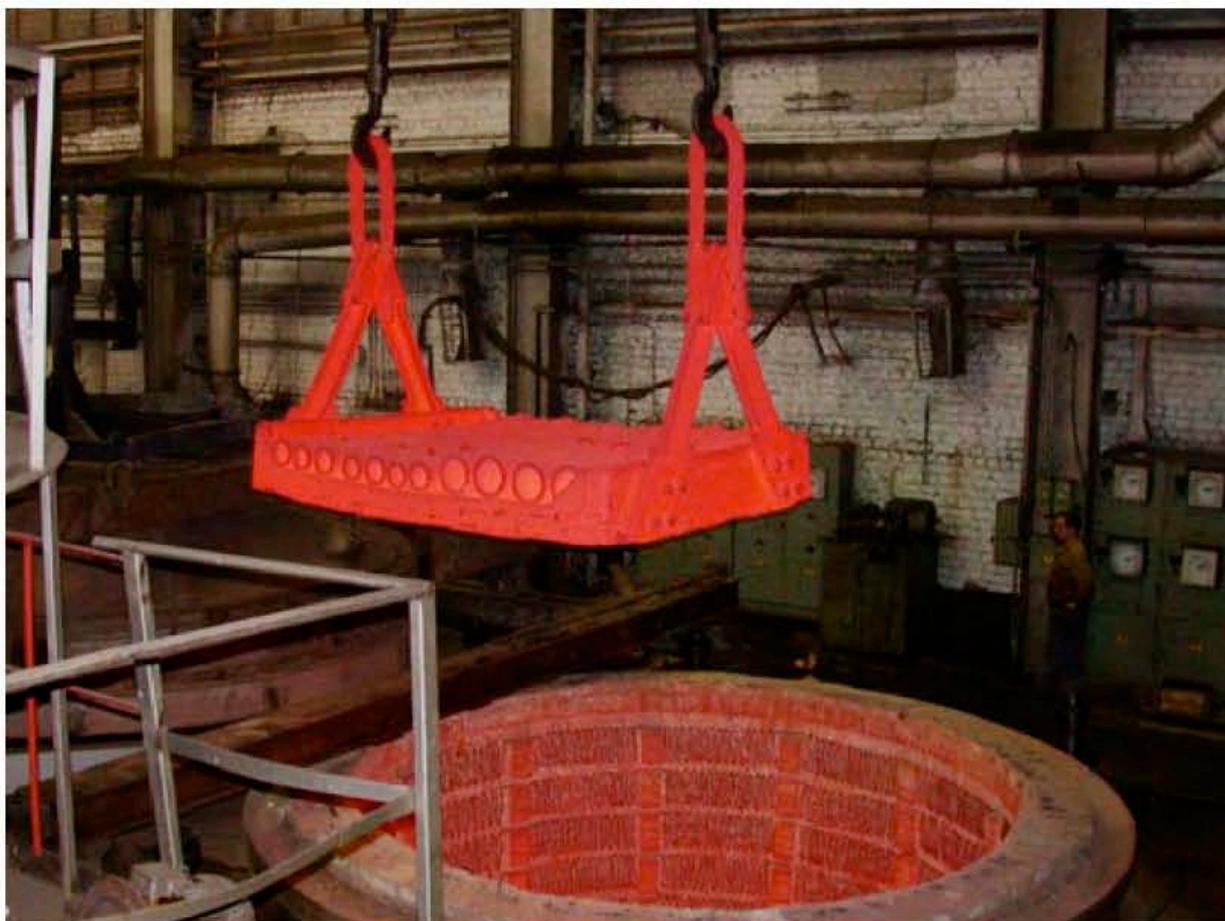


Рисунок 74 – Набор заготовок на транспортере после прохождения термической обработки

В качестве закалочной среды наряду с традиционным маслом используется водный раствор полимера «Унифлок ФБ». Опыт промышленного использования показал, что эта среда обеспечивает качественную закалку конструкционных сталей, включая изделия сложной конфигурации.

В ванне емкостью 200 кубических метров осуществляется закалка крупногабаритных деталей: валов, валков, колонн прессов, плунжеров, коленчатых валов диаметром 200 – 600 мм из сложнолегированных сталей марок 40ХН2МА, 38ХНВА, 35ХМА и других.

Используя добавочные компоненты можно регулировать скорость охлаждения рабочего раствора в зависимости от области назначения

обрабатываемого изделия. Охлаждающая способность среды оценивается по скорости охлаждения в различных температурных интервалах (перлитном и мартенситном), определяемой по кривым охлаждения. Контроль проводится на полуавтоматической установке для контроля закалочных средств. Корректировка концентрации рабочего раствора использование технологических приемов, позволяет избежать трещинообразования. Среда универсальна, технологична, термостойка, обеспечивает требуемую закалываемость и прокаливаемость.

После завершения термообработки полые литые заготовки применяются для последующего изготовления различных цилиндрических изделий специального назначения. Для этого их подвергают механической обработке, целью которой является придание заготовкам заданной геометрии, а также модификация поверхности с целью удаления нарушенных и дефектных слоев, образованных в процессе изготовления и термической обработки.

Механическая обработка производится в цехах, оснащенных современным уникальным технологическим оборудованием, позволяющим выполнять отрезные, токарные, токарно-карусельные, расточно-фрезерные операции, предварительную или чистовую обработку деталей весом до 125 т и габаритами 3000х3000х12000 мм. Это парк расточных станков фирмы «Шкода», продольно-фрезерный станок фирмы «Лине», карусельно-фрезерно-расточно-шлифовальный станок фирмы «Бертъе», зубошлифовальный станок фирмы "Хофлер. В цехах ОАО «Тяжпрессмаш» имеется большое количество современных станков ЧПУ, в том числе «обрабатывающие центры», позволяющие производить механическую обработку с высокой точностью. Всего станочный парк предприятия насчитывает 832 единицы металлообрабатывающего оборудования.

На станках токарной группы проводится обработка заготовок при изготовлении колонн, валов, плунжеров, цилиндров диаметром до 2000 мм и

длиной до 21000 мм. На фрезерных станках с ЧПУ изготавливаются детали повышенной сложности с габаритными размерами до 600х3000 мм.

Изготовленные образцы термически и механически обработанных полых литых заготовок применяются в качестве исходных компонентов при изготовлении цилиндрических изделий различного специального назначения, таких как ниппели, штуцеры, сгоны, патрубки, втулки и т.п. Такие изделия достаточно часто применяются в нефтегазовой и химической промышленности, а также в энергетике.

Были изготовлены следующие модельные тестовые образцы термически и механически обработанных полых литых заготовок:

- Образец полый литой заготовки ПЛЗ-325х9,0 40ХН2МА в количестве 1 шт.
- Образец полый литой заготовки ПЛЗ-273х16 35ЧМА в количестве 1 шт.
- Образец полый литой заготовки ПЛЗ-426х8,0 38ХНВА в количестве 1 шт.

Результаты и выводы раздела

В результате проведенных на ОАО «Тяжпрессмаш» работ были изготовлены модельные тестовые образцы полых литых заготовок в количестве трех штук, проведена из механическая и термическая обработка с целью модификации свойств. Изготовленные в рамках ПНИЭР модельные тестовые образцы создают условия для полноценных испытаний экспериментальных образцов прибора iPoRTH в лабораторных условиях.

Акт изготовления модельных тестовых образцов полых литых заготовок приведен в Приложении В.

Полученные результаты соответствуют задачам п. 3.18 ПГ и п.3.49 ТЗ.

19 Проведение оценки РИД, полученных при выполнении ПНИЭР

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

За время выполнения ПНИЭР подготовлено пять заявок на получение РИД. Было получено одно положительное решение по заявке на изобретение, три Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и один документ подтверждающих результаты интеллектуальной деятельности (РИД) принят к рассмотрению – заявка на изобретение. Документы, подтверждающие выполнение данного пункта ТЗ представлены ниже.

Форма № 43 ПР, БД, ПП-2018

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

| | | |
|---|----|---|
| На № Наш № 2019Э15689 <i>При переписке следует ссылаться на наш № Исходящая корреспонденция от 05.11.2019</i> | от | 108840, Москва, г. Троицк, ул. Центральная, 7а, ФГБНУ "ТИСНУМ", А.С.Усеинову |
|---|----|---|



УВЕДОМЛЕНИЕ
о положительном результате проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ

Ставим Вас в известность о том, что программа для ЭВМ: Программа визуализации и расчёта диаграммы напряжение – пластическая деформация согласно методу АВИ

(21) по заявке № 2019662306/69

(22) Дата поступления заявки 09.10.2019

(71) Заявитель(и) федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов» (RU)

внесена в Реестр программ для ЭВМ, регистрационный № 2019664346 от 05.11.2019

Приложение: 1. заключение на 1 л. в 1 экз.
2. свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

Главный специалист-эксперт отдела
правового обеспечения
предоставления государственных
услуг

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сведения о сертификате ЭП

Сертификат: 0959B400D8A94C954A2811DB7DC2CC27

Владелец: Круглов Вадим Эдуардович

Срок действия с 17.01.2019 по 08.02.2027

Круглов В.Э.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
по результатам проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ

(21) Заявка № 2019662306/69

(22) Дата поступления заявки 09.10.2019

(54) Название: Программа визуализации и расчёта диаграммы напряжение – пластическая деформация согласно методу АВІ

(71) Заявитель(и) федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов» (RU)

В результате проверки заявки, проведенной в соответствии со ст. 1262 Гражданского Кодекса Российской Федерации* и п.п. 60 – 82 Административного Регламента** установлено, что заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ удовлетворяет требованиям, установленным Правилами составления*** и Правилами оформления****.

Осипов В.В. (499)240-33-42

* Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (с изменениями)

** Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных и выдаче свидетельства о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, их дубликатов, утвержден приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 210, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42759.

*** Правила составления документов, являющихся основанием для осуществления юридически значимых действий по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

**** Правила оформления заявки на государственную регистрацию программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

Данная «Программа визуализации и расчета диаграммы напряжении – пластическая деформация согласно методу АВІ» является ключевой для реализации задачи автоматической обработки измеряемых iPoRTN кривых нагрузка – глубина. Реализованный в ней алгоритм позволяет извлекать всю необходимую информацию их экспериментальных данных и представлять ее в удобном для восприятия виде. Также данная Программа позволяет сохранять и открывать обработанные данные и осуществлять повторную обработку исходных данных с учетом полученных в ходе автоматической обработки данных.

Свидетельство о регистрации Программы представлено ниже.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019664346

Программа визуализации и расчёта диаграммы напряжение
– пластическая деформация согласно методу АВІ

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых
углеродных материалов» (RU)*

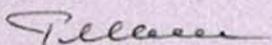
Авторы: *Красногоров Игорь Витальевич (RU), Маслеников Игорь
Игоревич (RU), Усеинов Алексей Серверович (RU)*

Заявк № 2019662306

Дата поступления 09 октября 2019 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 05 ноября 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Изrael



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

| | | |
|---|----|--|
| На № Наш № 2019Э15691 <i>При переписке следует ссылаться на наш № Исходящая корреспонденция от 16.10.2019</i> | от | 108840, Москва, г. Троицк, ул. Центральная, 7а, ФГБНУ "ТИСМНУМ", А.С.Усеинову |
|---|----|--|



**УВЕДОМЛЕНИЕ
о положительном результате проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ**

Ставим Вас в известность о том, что программа для ЭВМ: «Программа поиска точки контакта индентора с поверхностью с помощью нейросети»

(21) по заявке № 2019662298/69

(22) Дата поступления заявки 09.10.2019

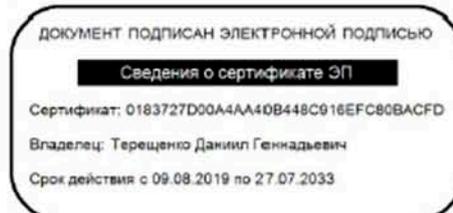
(71) Заявитель(и) федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (RU)

внесена в Реестр программ для ЭВМ, регистрационный № 2019663422 от 16.10.2019

Приложение: 1. заключение на 1 л. в 1 экз.

2. свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

Заместитель начальника
Управления организации
предоставления государственных
услуг



Терещенко Д.Г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
по результатам проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ

(21) Заявка № 2019662298/69

(22) Дата поступления заявки 09.10.2019

(54) Название: «Программа поиска точки контакта индентора с поверхностью с помощью нейросети»

(71) Заявитель(и) федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов» (RU)

В результате проверки заявки, проведенной в соответствии со ст. 1262 Гражданского Кодекса Российской Федерации* и п.п. 60 – 82 Административного Регламента** установлено, что заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ удовлетворяет требованиям, установленным Правилами составления*** и Правилами оформления****.

Стулов В.И. (499)240-33-42

* Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (с изменениями)

** Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных и выдаче свидетельства о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, их дубликатов, утвержден приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 210, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42759.

*** Правила составления документов, являющихся основанием для осуществления юридически значимых действий по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

**** Правила оформления заявки на государственную регистрацию программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

Данная «Программа поиска точки контакта индентора с поверхностью с помощью нейросети» является важной частью задачи автоматической обработки измеряемых iPoRTN кривых нагрузка – глубина. Реализованный в ней алгоритм позволяет гибко настраивать ПО под различные условия эксплуатации и работу с материалами, имеющими различные физические свойства и уровень шероховатости поверхности. Использование нейросетевых технологий позволило существенно повысить быстродействие ПО и повысить точность в определении точки контакта индентора с поверхностью. Данный параметр, точка контакта входит во все алгоритмы обработки кривых нагрузка – глубина и существенно влияет на точность расчетов диаграммы напряжения – пластическая деформация.

Свидетельство о регистрации Программы представлено ниже.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019663422

**«Программа поиска точки контакта индентора с
поверхностью с помощью нейросети»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых
углеродных материалов» (RU)*

Авторы: *Красногоров Игорь Витальевич (RU), Маслеников Игорь
Игоревич (RU), Усеинов Алексей Серверович (RU)*

Заявка № 2019662298

Дата поступления 09 октября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 16 октября 2019 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ислюев Г.П. Ислюев

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № 18-10-11-352 от 11.10.2018

Наш № 2018Э14136

*При переписке следует ссылаться на наш №
Исходящая корреспонденция от 19.11.2018*

108840,
Москва,
г. Троицк, ул. Центральная, 7а,
ФГБНУ ТИСНУМ



УВЕДОМЛЕНИЕ

**о положительном результате проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ**

Ставим Вас в известность о том, что программа для ЭВМ: «Программа построения
объемных карт твердости и модуля упругости с помощью нанотвердомера»

(21) по заявке № 2018661394/69

(22) Дата поступления заявки 19.10.2018

(71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (RU)

внесена в Реестр программ для ЭВМ, регистрационный № 2018664511 от 19.11.2018

Приложение: 1. заключение на 1 л. в 1 экз.

2. свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

Заместитель начальника
Управления организации
предоставления государственных
услуг

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сведения о сертификате ЭП

Сертификат: 25155CA55794A0A3E811CB9ED545A365

Владелец: Терещенко Даниил Геннадьевич

Срок действия с 13.08.2018 по 08.02.2027

Терещенко Д.Г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
по результатам проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ

(21) Заявка № 2018661394/69

(22) Дата поступления заявки 19.10.2018

(54) Название: «Программа построения объемных карт твердости и модуля упругости с помощью нанотвердомера»

(71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (RU)

В результате проверки заявки, проведенной в соответствии со ст. 1262 Гражданского Кодекса Российской Федерации* и п.п. 60 – 82 Административного Регламента** установлено, что заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ удовлетворяет требованиям, установленным Правилами составления*** и Правилами оформления****.

Губкин Я.В. (499)240-33-42

* Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (с изменениями)

** Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных и выдаче свидетельств о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, их дубликатов, утвержден приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 210, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42759.

*** Правила составления документов, являющихся основанием для осуществления юридически значимых действий по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

**** Правила оформления заявки на государственную регистрацию программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 5 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42758.

Данная «Программа построения объемных карт твердости и модуля упругости с помощью нанотвердомера» является важной частью задачи автоматической обработки измеряемых iPoRTN множественных кривых нагрузка – глубина, снятых в различных точках исследуемого изделия. Реализованный в ней алгоритм позволяет оперативно визуализировать объемные карты, показывающие не только распределение измеряемых величин по плоскости образца, но и демонстрирующие зависимость свойств от глубины погружения. Данное обстоятельство особенно важно при работе с гетерогенными материалами, имеющими различные физические свойства и уровень шероховатости поверхности в различных точках своей поверхности. Особенно актуально использование такого рода ПО при исследовании сварных швов и поверхностно упрочненных материалов.

Свидетельство о регистрации Программы представлено ниже.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018664511

«Программа построения объемных карт твердости и модуля упругости с помощью нанотвердомера»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (RU)*

Авторы: *Усеинов Алексей Серверович (RU), Красногоров Игорь Витальевич (RU), Русаков Алексей Андреевич (RU)*

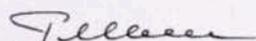
Заявка № 2018661394

Дата поступления 19 октября 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 19 ноября 2018 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)**

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Бережковская наб., д. 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3,
125993, Российская Федерация

Телефон (499) 240-6015 Телекс 114818 ПДЧ
Факс (495) 531-6318

УВЕДОМЛЕНИЕ О ПОСТУПЛЕНИИ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ

| | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|
| 18.05.2018 | 028762 | 2018118400 | TMA180152013 |
| <i>Дата поступления</i> | <i>Входящий №</i> | <i>Регистрационный №</i> | <i>Исходящий №</i> |

| ДАТА ПОСТУПЛЕНИЯ (дата регистрации) оригиналов документов заявки | (21) РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № | ВХОДЯЩИЙ № |
|---|------------------------|--|
| | | (85) ДАТА ПЕРЕВОДА международной заявки на национальную фазу |
| <input type="checkbox"/> (86) (регистрационный номер международной заявки и дата международной подачи, установленные получающим ведомством) <input type="checkbox"/> (87) (номер и дата международной публикации международной заявки) <input type="checkbox"/> (96) (номер евразийской заявки и дата ее подачи) <input type="checkbox"/> (97) (номер и дата публикации евразийской заявки) | | АДРЕС ДЛЯ ПЕРЕПИСКИ (полный почтовый адрес, имя или наименование адресата) Российская Федерация, 117449, Москва, а/я 57, ООО "Интеллектуальная собственность" (117449, Moskva, a/yu 57, ООО "Intellektualnaya sobstvennost") Телефон: +7(495)9884120 Факс: E-mail: info@regtz.ru |
| ЗАЯВЛЕНИЕ о выдаче патента Российской Федерации на изобретение | | В Федеральную службу по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Бережковская наб., д. 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993, Российская Федерация |
| (54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ Индентор - объектив | | |
| (71) ЗАЯВИТЕЛЬ (фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии) физического лица или наименование юридического лица (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, название страны и почтовый индекс) | | |
| федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов" (federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie "Tekhnologicheskij institut sverkhhtverdykh i novykh uglerodnykh materialov") Российская Федерация, 142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д. 7а (142190, g. Moskva, g. Troitsk, ul. Tsentralnaya, d. 7a) <input checked="" type="checkbox"/> Изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: <input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком исполнитель работ (Указать наименование) <input checked="" type="checkbox"/> Исполнителем работ по: <input checked="" type="checkbox"/> государственному контракту <input type="checkbox"/> | | ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ ОГРН: 1025006036439 КПП: 775101001 ИНН: 5046054720 СНИЛС: ДОКУМЕНТ: |

| | |
|---|--|
| муниципальному контракту Заказчик работ Министерство образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) | КОД СТРАНЫ: :RU |
| Контракт от 26.09.2017г. № 14.577.21.0274 | |
| (74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(И) ЗАЯВИТЕЛЯ (указываются фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии) лица, назначенного заявителем своим представителем для ведения дел по получению патента от его имени в Федеральной службе по интеллектуальной собственности или являющееся таковым в силу закона) | <input checked="" type="checkbox"/> патентный поверенный <input type="checkbox"/> представитель по доверенности <input type="checkbox"/> представитель по закону |
| Фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) Ратова Елена Николаевна Адрес Российская Федерация , 117630 , Москва, ул. Старокалужское шоссе, 62 Срок представительства (если к заявлению приложена доверенность представителя заявителя, срок может не указываться): | Телефон: +7(495)9884120 Факс: Адрес электронной почты: info@regtz.ru Регистрационный номер патентного поверенного: 0208 |
| (72) Автор (указывается полное имя) | Адрес места жительства, включающий официальное наименование страны и ее код |
| Масленников Игорь Игоревич (Maslenikov Igor Igorevich) | Российская Федерация, 117624, Москва, ул. Вeneвская, д. 25, кв. 143 (RU) (117624, Moskva, ul. Venevskaya, d. 25, kv. 143) |
| Решетов Владимир Николаевич (Reshetov Vladimir Nikolaevich) | Российская Федерация, 115409, Москва, ул. Кантемировская, д. 20, корп. 2, кв. 638 (RU) (115409, Moskva, ul. Kantemirovskaya, d. 20, korp. 2, kv. 638) |
| Усеинов Алексей Серверович (Useinov Aleksej Serverovich) | Российская Федерация, 108841, г. Москва, г. Троицк, пл. Академическая, д. 4, кв. 430 (RU) (108841, g. Moskva, g. Troitsk, pl. Akademicheskaya, d. 4, kv. 430) |
| Доронин Максим Алексеевич (Doronin Maksim Alekseevich) | Российская Федерация, 169044, рес. Коми, Усть-Вымский р-н, пос. Жешарт, ул. Мира, д. 15, кв. 111 (RU) (169044, res. Komi, Ust-Vymskij r-n, pos. Zheshart, ul. Mira, d. 15, kv. 111) |

| | | |
|---|----|---|
| Количество листов | 31 | Фамилия лица, принявшего документы |
| Количество документов об уплате пошлины | 0 | Автоматизированная система приема заявок на изобретения |
| Количество фотографий/изображений | 12 | 18.05.2018 15:28:22 |

Данная заявка на изобретение «Инденитор – объектив» закрепляет приоритет РФ в области оперативного контроля оптических свойств гетерогенных и гомогенных материалов в условиях инструментального индентирования. Инденитор - объектив позволяет прямо во время индентирования наблюдать те процессы, которые происходят в области пластической деформации. Особенно перспективно использование такого рода индентора при осуществлении склерометрических испытаний, упрочняющих покрытий. Возможность оптического контроля процессов, происходящих в области взаимодействия алмазного индентора с

исследуемым материалом открывает богатые возможности для исследования физики разрушения и изучения состояния вещества в условиях пластической деформации.

Патент на изобретение представлен ниже.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2680853

Индентор-объектив

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов" (RU)*

Авторы: *Маслеников Игорь Игоревич (RU), Решетов Владимир Николаевич (RU), Усеинов Алексей Серверович (RU), Доронин Максим Алексеевич (RU)*

Заявка № 2018118400

Приоритет изобретения 18 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 18 мая 2038 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК
G01N 3/42 (2018.08); G01N 21/01 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018118400, 18.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.05.2018Дата регистрации:
28.02.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.05.2018

(45) Опубликовано: 28.02.2019 Бюл. № 7

Адрес для переписки:
117449, Москва, а/я 57, ООО
"Интеллектуальная собственность"

(72) Автор(ы):

Масленников Игорь Игоревич (RU),
Решетов Владимир Николаевич (RU),
Усеинов Алексей Серверович (RU),
Доронин Максим Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Технологический
институт сверхтвердых и новых углеродных
материалов" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: SU 463038 A1, 05.03.1975. SU 248326
A1, 10.08.1969. SU 239639 A1, 18.03.1969. EP
1478915 B1, 10.09.2014. US 20100064783 A1,
18.03.2010.

(54) Индентор-объектив

(57) Формула изобретения

1. Индентор-объектив, выполненный из оптически прозрачного материала, индентирующий торец тела которого огранен в виде n-гранной пирамиды, отличающийся тем, что неиндентирующий торец индентора также огранен в виде n-гранной пирамиды, при этом боковые грани пирамид ориентированы таким образом, что каждой грани пирамиды индентирующего торца соответствует параллельная ей грань неиндентирующего торца, а высоты пирамид лежат на одной прямой.

2. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что для каждой i-й грани неиндентирующего торца точка, расположенная на биссектрисе угла при вершине на расстоянии l_i от вершины, находится на поверхности данной грани, а l_i соответствует

$$l_i = H \frac{\cos^2 \alpha_i \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \cos^2 \alpha_i} + n_1 \sin \alpha_i \cos^2 \alpha_i}{\sin \alpha_i \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \cos^2 \alpha_i}},$$

где H – высота индентора-объектива между вершинами пирамид;

 n_1 – показатель преломления окружающей среды (воздуха); n_2 – показатель преломления материала индентора-объектива; α_i – угол между высотой пирамиды неиндентирующего торца и её i-й гранью;

i – индекс, соответствующий номеру грани, принимающий целочисленные значения

Стр. 1

RU 2 680 853 C1

от 1 до n , при этом каждому значению i соответствует неравенство: $n_2 > n_1 \cos \alpha_i$.

3. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что торцы индентора выполнены в виде трехгранной пирамиды Берковича.

4. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что торцы индентора выполнены в виде четырехгранной пирамиды Виккерса.

5. Индентор-объектив по пп. 1, 2, отличающийся тем, что неиндентирующий торец огранен в виде усеченной пирамиды.

6. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что он выполнен из алмаза.

7. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что тело индентора выполнено цилиндрической формы.

8. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что тело индентора выполнено призматической формы.

9. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что тело индентора выполнено в виде вертикально усеченного цилиндра.

10. Индентор-объектив по п. 1, отличающийся тем, что на неиндентирующий торец нанесено просветляющее покрытие.

R U 2 6 8 0 8 5 3 C 1

| | |
|--|--|
| (54) НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ Динамический наноиндентор | |
| (71) ЗАЯВИТЕЛЬ (фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) физического лица или наименование юридического лица (согласно учредительному документу), место жительства или место нахождения, название страны и почтовый индекс) федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов» (federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie «Tekhnologicheskii institut sverkhverdykh i novykh uglevodnykh materialov») 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д. 7а (108840, g. Moskva, g. Troitsk, ul. Tsentralnaya, d. 7a) | ИДЕНТИФИКАТОРЫ ЗАЯВИТЕЛЯ ОГРН 1 02 50 06 03643 9 КПП 77 51 01 001 ИНН 50 46 05472 0 СНИЛС ДОКУМЕНТ (серия, номер) КОД СТРАНЫ (если он установлен) RU |
| <input type="checkbox"/> изобретение создано за счет средств федерального бюджета Заявитель является: <input type="checkbox"/> государственным заказчиком <input type="checkbox"/> муниципальным заказчиком исполнитель работ (исключая патентование) <input checked="" type="checkbox"/> исполнителем работ по: <input checked="" type="checkbox"/> государственному контракту <input type="checkbox"/> муниципальной контракту заказчик работ (исключая патентование) Контракт от № 26.09.2017 14.577.21.0274 (ЭБ №075-15-2019-024, № 14.577.21.0274 (ЭБ №075-15-2019-024, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274) | |
| (74) ПРЕДСТАВИТЕЛЬ(Ы) ЗАЯВИТЕЛЯ (указывается фамилия, имя, отчество (последнее – при наличии) лица, наименование заявителя страны, предоставляется для ведения дел по получению патента: от его имени в Федеральном службе по интеллектуальной собственности или авторские патенты в суд (заявка)) | <input checked="" type="checkbox"/> патентный поверенный <input type="checkbox"/> представитель по доверенности <input type="checkbox"/> представитель по закону |

| | | |
|--|----|------------------------------------|
| Общее количество документов в листах | 24 | Лицо, зарегистрировавшее документы |
| Из них: - количество листов комплекта изображений изделия (для промышленного образца) | | Автоматизированная система |
| Количество платежных документов | 1 | |
| Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются на сайте ФИПС по адресу «www.fips.ru» в разделе «Информационные ресурсы / Открытые реестры» | | |

Данная заявка на изобретение «Динамический наноиндентор» закрепляет приоритет РФ в области оперативного контроля частотной зависимости механических свойств материалов в условиях динамического инструментального индентирования. Традиционно такого рода динамические измерения осуществлялись приборами, разработанными первоначально для осуществления динамического индентирования в квазистатическом режиме. Особенно перспективно использование такого рода динамических индентора при исследовании биологических, полимерных, гетерогенных и термически упрочненных материалов и покрытий. Использование динамического наноиндентора открывает богатые возможности для исследования вязкоупругих свойств материалов и изучения состояния вещества в условиях быстрой пластической деформации.

Результаты и выводы раздела

Таким образом, в ходе выполнения ПНИЭР были получены научные результаты, обладающие приоритетов в области научного приборостроения и

методов обработки экспериментальных данных. Полученные документы подтверждают актуальность РИД и говорят о высоком научном и техническом уровне проделанной работы. Результаты соответствуют пункту 3.50 Технического задания и п. 3.19 ПГ.

20 Изготовление образцов термически обработанных труб

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Для проведения полевых испытаний экспериментальных образцов прибора iPoRTH была изготовлена серия из трех модельных тестовых образцов термически обработанных труб.

Начальная стадия процесса изготовления труб в данной работе аналогична описанному в Разделе 21 отчета за 2 этап работ по ПНИЭР. Для изготовления модельных тестовых образцов труб была использована модернизированная машина центробежного литья РМЦ-1000. Машина РМЦ-1000 оснащена изложницей с приводными опорными роликами и устройством для нанесения теплоизоляционного покрытия на внутреннюю поверхность вращаемой изложницы. Перед заливкой на машине проводятся подготовительные работы: изложница с предварительно зафутерованными крышками нагревается в печи до рабочей температуры $\approx 200^{\circ}\text{C}$ и устанавливается на ролики машины; защитный кожух устанавливается на машину; машина плавно раскручивает изложницу до скорости более 600 об/мин; в изложницу в два этапа засыпается разделительное покрытие; устанавливается заливочное устройство. Плавка подготавливает металл необходимой марки стали, расплав сливается в ковш. Производится продувка металла аргоном, обработка при помощи трайбаппарата, ферокальциевой проволокой и берется ковшевая проба. Далее металл в ковше транспортируется к заливочному устройству. Ковш наезжает на воронку заливочного устройства, и производится слив металла в изложницу. Контроль необходимого объема металла проводится по крановым весам. После наполнения изложницы порцией металла кран с ковшем отъезжает, заливочное устройство отодвигается, и в окно крышки изложницы загружается утеплительная смесь. Далее на образующую вращающейся изложницы из форсунок, расположенных на кожухе машины и находящихся

с внешней стороны изложницы, начинает разбрызгиваться вода для охлаждения. По мере охлаждения металл, равномерно распределенный центробежными силами по поверхности изложницы, кристаллизуется. Все легкоплавкие примеси и примеси, имеющие отличную от металла плотность, уходят на внутреннюю поверхность, под флюс. Благодаря этому материал заготовки имеет и в литом состоянии высокие технические характеристики.

При достижении температуры отливки $\approx 900^{\circ}\text{C}$ машина плавно останавливается, защитный кожух снимается, и изложница удаляется на подставку для снятия крышки. Крышка снимается, и заготовка удаляется из изложницы. Далее в технологическом цикле центробежного литья заготовка в горячем состоянии грузится в термосе в транспортное средство и доставляется к нагревательной печи кузнечного цеха, затем загружается в печь для подогрева до ковочной температуры. Перед выносом на ковку заготовка подается на пресс, где легким обжимом от наружной и внутренней поверхности отделяется разделительная смесь и флюс, подогревается до температуры началаковки и подается на ковочный агрегат.

Процесс термической обработки проводился с использованием модернизированного стенда для термической обработки труб, описанного в Разделе 17. Порядок проведения термической обработки аналогичен описанному для полых литых заготовок в Разделе 18.

Изготовленные образцы являются типичными изделиями металлургического производства ОАО «Тяжпрессмаш», потребность в которых имеется как в нефтегазовой и химической промышленности, так и в области энергетики, в том числе, такие трубы востребованы при строительстве инфраструктуры атомных электростанций. Были изготовлены следующие модельные тестовые образцы термически обработанных труб:

Образец трубы ЦЛТ-900/2700 СтЗсп в количестве 1 шт,

Образец трубы ЦЛТ-530/2700 Ст20 в количестве 1 шт,

Образец трубы ЦЛТ-273/2700 Ст15 в количестве 1 шт.

Результаты и выводы раздела

В результате проведенных на ОАО «Тяжпрессмап» работ были изготовлены модельные тестовые образцы термически обработанных труб в количестве трех штук. Изготовленные в рамках ПНИЭР модельные тестовые образцы создают условия для полноценных испытаний экспериментальных образцов прибора iPoRTH в полевых условиях.

Акт изготовления модельных тестовых образцов термически обработанных труб приведен в Приложении В.

Полученные результаты соответствуют задачам п. 3.20 ПГ и п.3.56 ТЗ.

21 Разработка Программы и методик проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Общие положения разрабатываемой методики включают в себя:

- наименование объекта испытаний, цель испытаний, условия предъявления объекта испытаний на испытания;
- Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний (Место проведения испытаний, Требования к средствам проведения испытаний, Требования к условиям проведения испытаний, Требования к подготовке объекта к испытаниям).

Требования безопасности при проведении испытаний регламентируются ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

Место и условия должны соответствовать наименованиям испытаний, а именно – это должны быть лабораторные условия.

Программа испытаний должна включать в себя процедуры, необходимые для подтверждения работоспособности разработанного экспериментального образца, а также его соответствие пунктам ТЗ, в которых заявлены требования к экспериментальному образцу, а именно:

4.2.5 Методика измерения твердости и модуля упругости, реализованная в экспериментальном образце iPoRTH, должна обеспечивать измерение следующих параметров:

- твердость H_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1 \text{ ГПа})$;

- модуль упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm(0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$;

4.3.1.1.2 Измерительный модуль оперативного контроля должен быть оснащен радиоэлектронным обеспечением и автономным источником питания.

4.3.1.2.2 Индентационный измерительный модуль должен проводить измерения путем вдавливания сферообразного наконечника (сфероконического или иного).

4.3.1.2.4 Измерительный модуль оперативного должен регистрировать измеряемые сигналы, проводить их обработку в автоматическом режиме с индикацией результатов измерения на встроенном дисплее или внешнем электронном устройстве, связанном по проводному или беспроводному цифровому интерфейсу с вычислительным блоком.

4.3.1.3.5 Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца в режиме измерения твердости и модуля упругости должен составлять от 5 до 5000 мН в зависимости от свойств исследуемого материала и толщины функционального покрытия. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm(0,1 \times P + 1 \text{ мН})$.

4.3.1.3.7 Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения твердости и модуля упругости, должен составлять от 0,5 до 25 мкм. Точность измерения глубины погружения при индентировании d должна быть в пределах $\pm(0,1 \times d + 0,1 \text{ мкм})$.

Для определения соответствия пункту 4.3.1.2.2 Технического задания при проведении испытаний необходимо визуально проконтролировать форму индентора. Для этого следует воспользоваться визуально-оптическим методом. В качестве аналитического оборудования необходимо воспользоваться микроскопом МБС-10.

Для определения соответствия остальным пунктам Технического задания необходимо произвести серии измерений при помощи МИИ и МИОК на образцах, предусмотренных программой испытаний, а именно на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок. Количество измерений в сериях должно составлять не менее десяти. После проведения измерений на основании полученных результатов необходимо проверить соответствие полученных значений со справочными для измеренных материалов, а также проверить соответствие полученной и требуемой точности измерений.

Результаты и выводы раздела

Разработанная программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях, приведенные в Приложении Б, соответствует П 3.57 ТЗ и п. 3.21 ПГ.

22 Исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTN на образцах термически обработанных труб в полевых условиях

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

После изготовления и настройки экспериментальные образцы iPoRTN были откалиброваны и испытаны в лабораторных условиях ФГБНУ ТИСНУМ. Все требуемые по ТЗ характеристики были подтверждены.

Исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTN в полевых условиях осуществлялись в соответствии с заранее подготовленной Программой и методикой испытаний ЭД.iPoRTN.000.02-ПМ. Испытания осуществлялись на площадке ОАО «Тяжпрессмаш» в городе Рязани.

В качестве модельных тестовых образцов были взяты изготовленные согласно п. 3.20 ПГ и п.3.56 ТЗ термически обработанные трубы, таблица 7.

Таблица 7. Перечень модельных тестовых образцов для проведения испытаний экспериментальных образцов iPoRTN в полевых условиях

| Номер | Тип образца | Наименование |
|-------|-------------------------------|--------------------|
| 1 | термически обработанная труба | ЦЛТ-900/2700 Ст3сп |
| 2 | термически обработанная труба | ЦЛТ-530/2700 Ст20 |
| 3 | термически обработанная труба | ЦЛТ-273/2700 Ст15 |

Образцы металлических труб были подготовлены к испытаниям путем очистки рабочих участков от грязи и следов ржавчины с помощью наждачно-шлифовальной машинки. Пример очищенной поверхности с установленным модулем оперативного контроля представлен на рисунке 75.



Рисунок 75 – Внешний вид подготовленной к измерениям поверхности трубы с установленным модулем оперативного контроля

Значения твердости и модуля упругости, полученные на образцах, приведены в таблице 8.

Таблица 8. Твердость и модуль упругости образцов, измеренные при помощи МИОК iPoRTH в полевых условиях.

| Образец | Твердость по МИОК, ГПа | Модуль упругости, ГПа |
|--------------------|------------------------|-----------------------|
| ЦЛТ-900/2700 СтЗсп | 0,74±0,1 | 213±16 |
| ЦЛТ-530/2700 Ст20 | 0,88±0,1 | 215±20 |
| ЦЛТ-273/2700 Ст15 | 0,75±0,1 | 210±20 |

Исследовательские испытания индентационного измерительного модуля экспериментального образца iPoRTH осуществлялись на тех же технических изделиях в режимах измерения внешней и внутренней поверхности трубных изделий, рис. 76.



Рисунок 76 – Внешний вид iPoRTH, установленного с использованием магнитных захватов на внутренней и внешней поверхности термически обработанных труб

На первом этапе исследовательских испытаний была осуществлена проверка уровня воспроизводимости получаемых с использованием индентационного модуля iPoRTH данных. Для этого было получено несколько серий индентирований с частичным разгрузением в различных точках одного и того же образца. Полученные данные были собраны на один график, позволяющий оценить степень воспроизводимости получаемых данных. Два примера таких измерений представлены на рисунке 77.

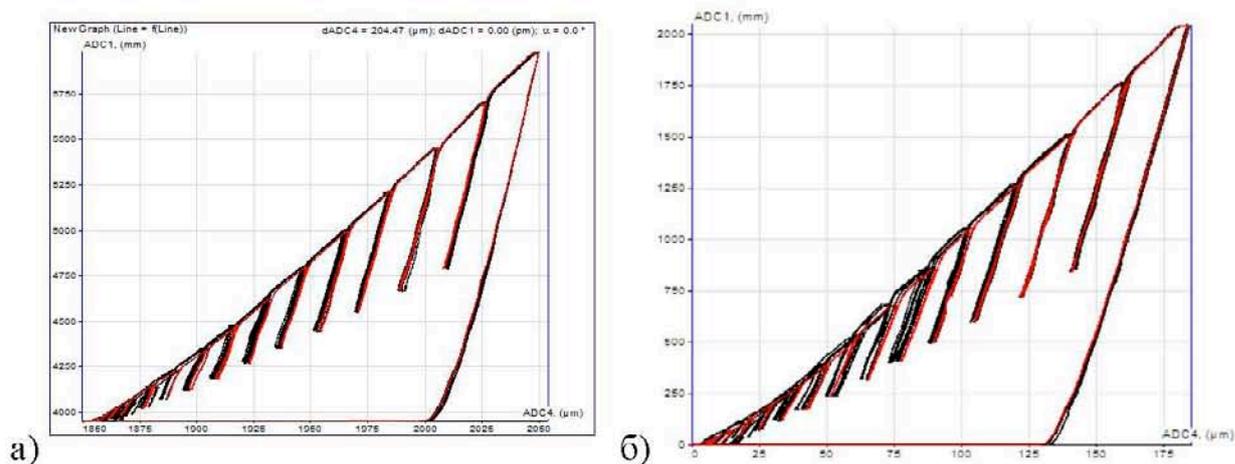


Рисунок 77 – Собранные на один график множественные инденты с частичной разгрузкой, полученные на образцах: а) ЦЛТ-900/2700 СтЗсп, б) ЦЛТ-530/2700 Ст20

Полученные зависимости демонстрируют высокий уровень воспроизводимости получаемых данных. Основные рассогласования кривых нагружения и разгрузки наблюдаются в области малых глубин, где наиболее существенно влияние шероховатости тестируемой поверхности.

Полученные данные хорошо коррелируют с табличными значениями механических свойств для тестируемых материалов и демонстрируют высокий уровень чувствительности используемого метода к механическим свойствам тестируемых материалов.

Таким образом, экспериментальный образец индентационного модуля iPoRTN успешно продемонстрировал свою работоспособность в условиях цехового и полевого испытания. Получаемые данные соответствовали измерениям, проводимым в лабораторном помещении, и не выявили каких-либо особенностей при работе в полевых условиях.

Получаемые в ходе индентирования с частичной нагрузкой экспериментальные данные позволяют также получить зависимость твердости по Бринелю от глубины внедрения сферического индентора. Как видно из представленных на рисунке 78 данных для материалов, упрочняющихся в процессе деформирования, твердость по Бринелю растет с увеличением глубины погружения сферического индентора в материал, при увеличении степени деформирования тестируемого материала.

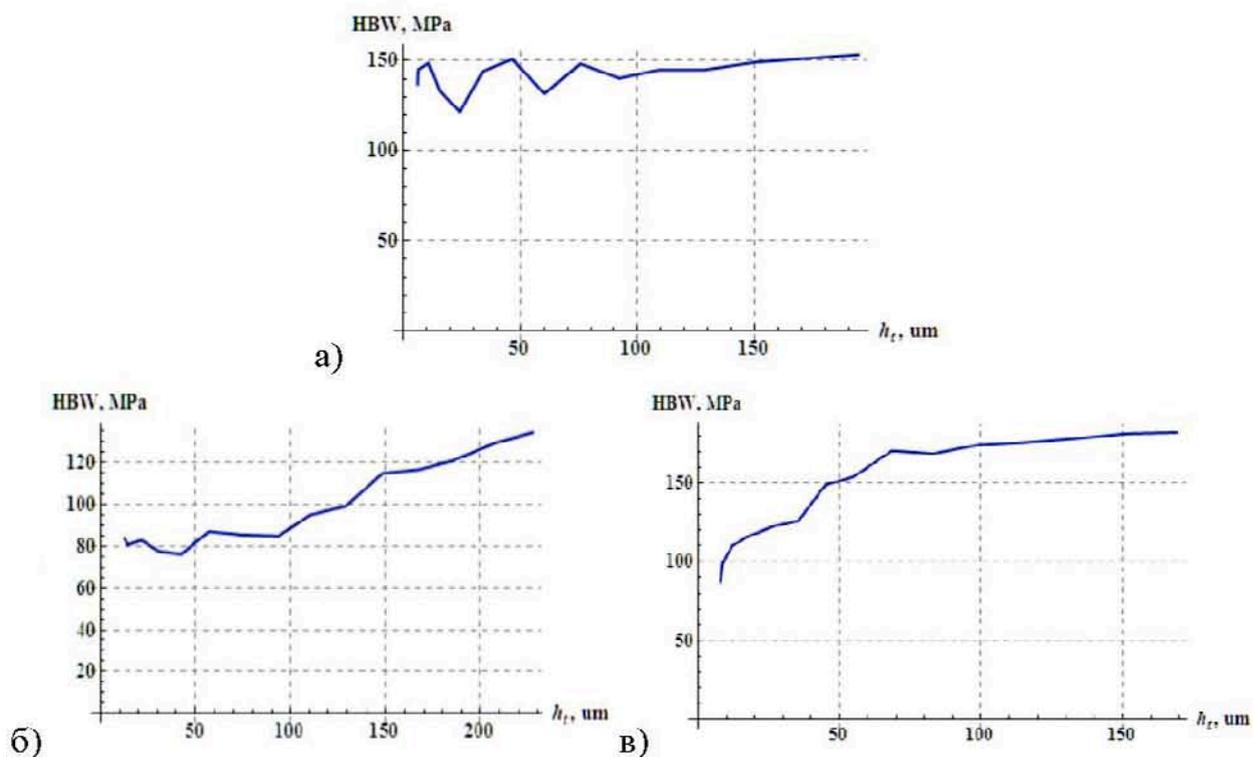


Рисунок 78 – Примеры зависимости твердости по Бринеллю от глубины погружения индентора, полученные с использованием iPoRTN для трех сплавов: а) образец ЦЛТ-900/2700 СтЗсп, б) ЦЛТ-530/2700 Ст20, в) ЦЛТ-273/2700 Ст15

Для одного из образцов термически упрочненной стальной трубы (ЦЛТ-530/2700 Ст20) была произведена серия измерений, позволившая получить детальную зависимость механического напряжения от относительной деформации. На рисунке 79 представлена линейная и модельная аппроксимация полученных экспериментальных данных в соответствии с аппроксимирующей зависимостью – $\sigma = K \cdot \epsilon^n$. При аппроксимации были получены следующие значения $k = 1300$ МПа, $n = 0.14$, что коррелирует с известными данными о данном типе стали.

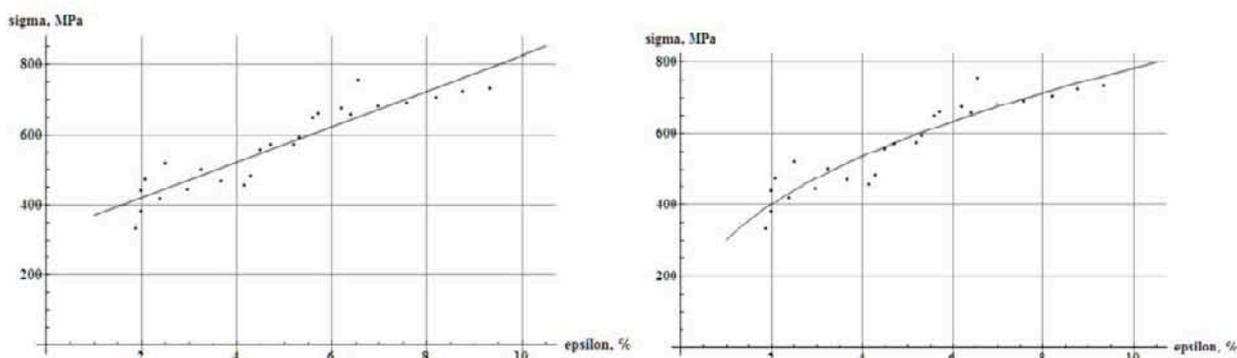


Рисунок 79 – Примеры обработанных кривых, отражающих зависимость сигма-эпсилон, полученных с использованием МИИ iPoRTH

Данные по показателю и степени деформационного упрочнения, а также измеренные и табличные значения предела текучести для всех измеренных образцов приведены в таблице 9.

Таблица 9. Предел текучести, коэффициент и показатель деформационного упрочнения, измеренные при помощи МИИ iPoRTH в полевых условиях и табличные данные для предела текучести.

| Образец | σ_y , ГПа | Предел текучести таблич. $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²) | K, ГПа | n |
|--------------------|------------------|--|-----------|-----------|
| ЦЛГ-900/2700 СтЗсп | 0,24±0,1 | 210-240 | 0.50±0.03 | 0.12±0.03 |
| ЦЛГ-530/2700 Ст20 | 0,31±0,1 | 294 | 0.65±0.06 | 0.09±0.03 |
| ЦЛГ-273/2700 Ст15 | 0,25±0,1 | 220 | 0.48±0.07 | 0.10±0.02 |

Таким образом, проведенные исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях продемонстрировали работоспособность разработанного оборудования в полевых условиях и высокие метрологические возможности в плане диагностики механических свойств широкого круга конструкционных материалов и сплавов.

Результаты и выводы раздела

Исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTN на образцах термически обработанных труб в полевых условиях были проведены согласно Программе и методикам, приведенным в Приложении Б, и соответствуют пункту 3.58 ТЗ и пункту 3.22 ПГ. По результатам испытаний был оформлен акт и протокол испытаний, приведённые в приложении В. Выявлено, что полученные в ходе испытаний количественные характеристики совпадают с заявленными в Программе показателями и точностью их измерений. Таким образом, объект считается выдержавшим испытания.

23 Проведение маркетинговых исследований

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

23.1 Описание продукта

Экспериментальный образец iPoRTH состоит из следующих модулей (п.4.3.1.1.1 ТЗ):

- индентационный измерительный модуль;
- измерительный модуль оперативного контроля;
- цифровой оптический микроскоп;
- оптический конфокальный профилометр;
- система крепления и позиционирования измерительных модулей;
- электронный блок управления;
- вычислительный блок сбора и обработки данных;
- система электропитания;
- аккумуляторная батарея;
- комплект тестовых образцов твердости и шероховатости;
- модуль беспроводной цифровой связи;
- управляющее программное обеспечение;

Среди данных модулей выделяются два основных устройства: индентационный измерительный модуль и измерительный модуль оперативного контроля. Все остальные модули по сути являются вспомогательными и обеспечивают работу данных устройств, в частности оптический микроскоп и конфокальный профилометр используются совместно с индентационным измерительным модулем.

Характеристики данных модулей определены требованиями ТЗ. Для модуля оперативного контроля требования определены п.п. 4.2.4, 4.3.1.3.4, 4.3.1.3.6 ТЗ:

- твердость НТ от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \text{НТ} + 0,1 \text{ ГПа})$;
- модуль упругости ЕТ от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \text{ЕТ} + 0,5 \text{ ГПа})$;
- нагрузка от 5 до 5000 мН с точностью $\pm (0,1 \times \text{Р} + 1 \text{ мН})$.
- диапазон погружения от 0,5 до 25 мкм с точностью $\pm (0,1 \times \text{d} + 0,1 \text{ мкм})$.

Для индентационного измерительного модуля требования определены п.п. 4.2.5, 4.3.1.3.5, 4.3.1.3.7 ТЗ:

- предел текучести σ от 0,1 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \sigma \text{Т} + 20 \text{ МПа})$;
- коэффициент деформационного упрочнения k от 0,5 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times k + 20 \text{ МПа})$;
- нагрузка P от 1 до 3000 Н с точностью $\pm (0,1 \times P + 0,5 \text{ Н})$.
- Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация в зависимости от механических свойств исследуемого материала и толщины покрытия, должен составлять от 1 мкм до 1 мм. Точность измерения итоговой глубины погружения d при индентировании должна быть в пределах $\pm (0,1 \times d + 0,5 \text{ мкм})$.

Основываясь на данных характеристиках можно отметить, что портативный модуль оперативного контроля сравним с портативными тестерами твёрдости (в том числе ультразвуковыми тестерами (UCI tester), использующими пирамиду Виккерса). Кроме ультразвуковых приборов к приборам со сходным принципам функционирования можно отнести портативные твердомеры, измеряющие твёрдость по методу Лееба.

Учитывая принцип работы и диапазон нагрузок, используемый в индентационном измерительном модуле (несколько кН), можно отметить,

что данное изделие имеет прямых конкурентов – приборы, проводящие измерения диаграммы напряжение – пластическая деформация по данным инструментального индентирования при вдавливании сферического наконечника.

23.2 Характеристика конкурентов

23.2.1 Портативные твердомеры

Среди приборов, проводящих измерения ультразвуковым методом (UCI testers) можно выделить устройство SonoDur3, рисунок 80. Данное изделие продолжает линейку приборов, ранее производимых компанией Krautkramer MIC 10, зарекомендовавших себя как точный и надёжный прибор в небольшом корпусе. Ручные устройства доступны на нагрузку 10Н, 50Н и 98Н. Для меньших нагрузок (1Н, 3Н, 8.6Н) используется моторизованное нагружение. Устройство использует систему Андроид, что позволяет использовать такие технологии передачи как Bluetooth, WLAN и USB, присутствует опция экспорта результатов в txt файлы. Начальная цена устройства составляет порядка 4k\$ [21], добавление хотя бы одного зонда, необходимого для проведения измерений определяет стартовую цену в 9k\$, можно отметить, что данная цена является типичной для UCI тестеров и может колебаться примерно на 1 k\$ в зависимости от особенностей прибора [22,23].



Рисунок 80 – Портативный тестер SonoDur 3 компании NewSonic

Можно отметить, что метод звукового импеданса обладает недостатком – пересчёт измеряемого сдвига частоты в твёрдость происходит в предположении, что априорное значение модуля упругости является известным. Данная особенность приводит к тому, что измерения доступны только для заранее выбранного типа материала (например, для стали, с известным модулем упругости 200 ГПа); такой подход является применимым – обычно легирование материала изменяет твёрдость не изменяя модуль упругости, однако, с точки зрения универсальности необходимость в априорных данных является отрицательной чертой.

Данный недостаток отсутствует при измерении твёрдости прямым методом – по величине оставшегося отпечатка. Такой подход присущ прежде всего стационарным устройствам – микротвердомерам, с точки зрения ручных тестеров можно выделить, пожалуй, только одно устройство: TIV (портативный твердомер с прозрачным индентором). Данное устройство изображено на рисунке 81.



Рисунок 81 – Индентер TTV компании KrautKramer

Цена данного устройства превышает 25k\$ [24]. Данное устройство занимает своё место рынке и несмотря на то, что данное устройство является достаточно уникальным и использует запатентованные технологии, имеется его Китайский аналог [25], цена такого устройства практически не отличается от оригинального устройства и по данным [26] составляет более 26k\$. Также, как и в случае ультразвуковых тестеров, для работы устройства TTV используется несколько зондов [27]: доступные ручные зонды с нагрузками 10Н и 50 Н.

Третий тип ручных твердомеров, измеряющих аналогичные iPoRTN свойства – устройства, проводящие измерения твёрдости по методу Лееба (измерения проводятся на основании коэффициента реституции – отношения скоростей после и до отскока). Данные устройства менее всего подходят для измерения локальных свойств материала – типичные минимальная толщина образца составляет 10мм, а минимальный вес образца составляет 5 кг [28]. В целом можно отметить, что цена ручных твердомеров, работающих по методу Лееба меньше (может быть дешевле в несколько раз [29]).

Компания Proceq – является одним из лидеров, производящих ручные твердомеры, производящие измерения как ультразвуковым методом и методом Лееба, так и методом Роквелла. Соответствующая линейка

продуктов имеет названия Equotip. Ультразвуковые приборы имеют название Equotip Live UCI, Equotip 550 UCI, приборы измеряющие твёрдость по методу Лееба: Equotip Live Leeb D, Equotip 550 Leeb и Equotip Bambino 2. Приборы Live позволяют проводить измерения удалённо и передавать их на телефон системы iOS, рисунок 82.



Equotip Live UCI

а)



Equotip 550 UCI

б)

Рисунок 82 – Приборы Proceq Equotip, использующие смартфон (а) и рабочую станцию (б)

Среди отечественных устройств можно отметить приборы МЕТ. Особенностью данных приборов в сравнении с иностранными аналогами является их конкретная цена. Так ультразвуковой и динамический тестеры (изображены на рис. 83) доступны от ~45 тыс. руб. и ~39 тыс. руб. соответственно [30].



Рисунок 83 – Портативные твердомеры MET а): ультразвуковой (UCI) б) динамический (Лееб)

Различные методы работы портативных твердомеров имеют различные применения и подходят для объектов разного типа. В целом можно отметить, что твердомеры, осуществляющие измерения по методу Лееба оставляют достаточно большие отпечатки, и соответственно, применимы в том случае, когда поверхность образца состоит из множества гетерогенных участков и твёрдость необходимо определять, как некоторую усреднённую интегральную величину. Методы ультразвукового контроля (UCI) и Лееба требуют наличия минимальной массы образца ($\sim >0.3$ кг и >5 кг в отсутствии держателя), в то время как метод определения твёрдости по площади отпечатка (используется в TIV) практически освобождён от этого требования – имеются ограничения по площади и толщине образца, однако подобные ограничения имеются и для других методов. Сравнение применимости различных ручных твердомеров приведено в таблице 10.

Таблица 10. Сравнение применимости различных методов [27].

| | ультразвуковой твёрдомер | твёрдомер по методу Лееба | TIV |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----|
| Сплошные детали | + | ++ | ++ |
| крупнозернистые материалы | - | ++ | 0 |
| Стали и алюминиевые сплавы | 0 | ++ | 0 |
| Сварные швы | ++ | - | + |

| | | | |
|--|----|----|----|
| трубы (толщина стенки >20 мм) | ++ | ++ | ++ |
| трубы (толщина стенки <20 мм) | ++ | - | ++ |
| Листовой металл | 0 | - | ++ |
| Негомогенные поверхности | - | + | - |
| Тонкие слои | ++ | + | - |
| ++: идеально подходит / +: подходит / 0: иногда подходит / - не подходит | | | |

С точки зрения оперативного модуля iPoRTH можно отметить, что область применимости данного устройства не является однозначной. Однозначно можно отметить, что преимуществом iPoRTH по сравнению с UCI-тестерами является возможность измерения твёрдости без дополнительной калибровки или априорной информации о модуле упругости. Измерение тонких слоёв или листового металла доступно с использованием специальной насадки, в которую вставляется исследуемый образец. С точки зрения применимости портативного модуля для исследования тонких слоёв можно отметить, что результат будет в значительной мере зависеть от шумов, присутствующих при проведении измерений. В предположении, что прибор проводит измерения в установленном на образец состоянии, а уровень сейсмических помех мал, можно ожидать, что результат будет сравним или лучше, чем в случае применения ультразвуковых методов.

23.2.2 Инструментальные тестеры, измеряющие диаграмму напряжения – деформация методом индентирования

Измерение твёрдости при помощи портативных твердомеров зачастую не приводит к результатам, обладающим достаточной степенью точности. В ряде случаев необходимо определить предел текучести σ – в таком случае возможно измерить твёрдость H и рассчитать искомую величину σ используя полуэмпирическое правило, согласно которому предел текучести составляет одну треть от измеренной твёрдости материала: $\sigma = H/3$. Такой подход

зачастую не приводит к различению эффекта и для определения свойств, характеризующих старение или охрупчивание материала используют диаграмму напряжение – пластическая деформация из которой в частности определяют предел текучести. Данную диаграмму зачастую следует определять при помощи неразрушающих методов, что осуществляется с использованием приборов, осуществляющих внедрение сферического индентора в поверхность с записью сигналов силы и перемещения.

Одним из основоположников метода ABI (automated ball indentation) является F.Haggag, основанная им компания ABI Services LLC производит систему SSM Mobile [31], позволяющую проводить измерения указанным выше методом. Согласно заявленным характеристикам прибора [32] устройство позволяет прикладывать нагрузки до 4.45 кН, причём измерения приложенного усилия производится при помощи двух тензо-датчиков емкостью 1.1 кН (допустимо до 150% перегрузки). Измерение перемещения производится при помощи дифференциального трансформатора (LVDT) с диапазоном ± 0.5 мм и линейностью 0.05%. Обработка результатов измерения производится на основе метода ABI [33], демонстрирующим неплохие результаты при сравнении с прямыми методами [34], однако обладающими эмпирическими значениями, зависящими от типа материала. Внешний вид системы SSM Mobile представлен на рисунке 84.



Рисунок 84 – SSM Mobile компании ABI Services LLC

Метод ABI оказался достаточно популярным в том числе для контроля качества труб контуров охлаждения атомных электростанций. Компания DUCOM производит аналог системы SSM Mobile под названием Automated indentation Tester. Стоимость таких систем составляет порядка 40 к\$ [35]. Изображение систем АМІТ представлено на рис. 85.

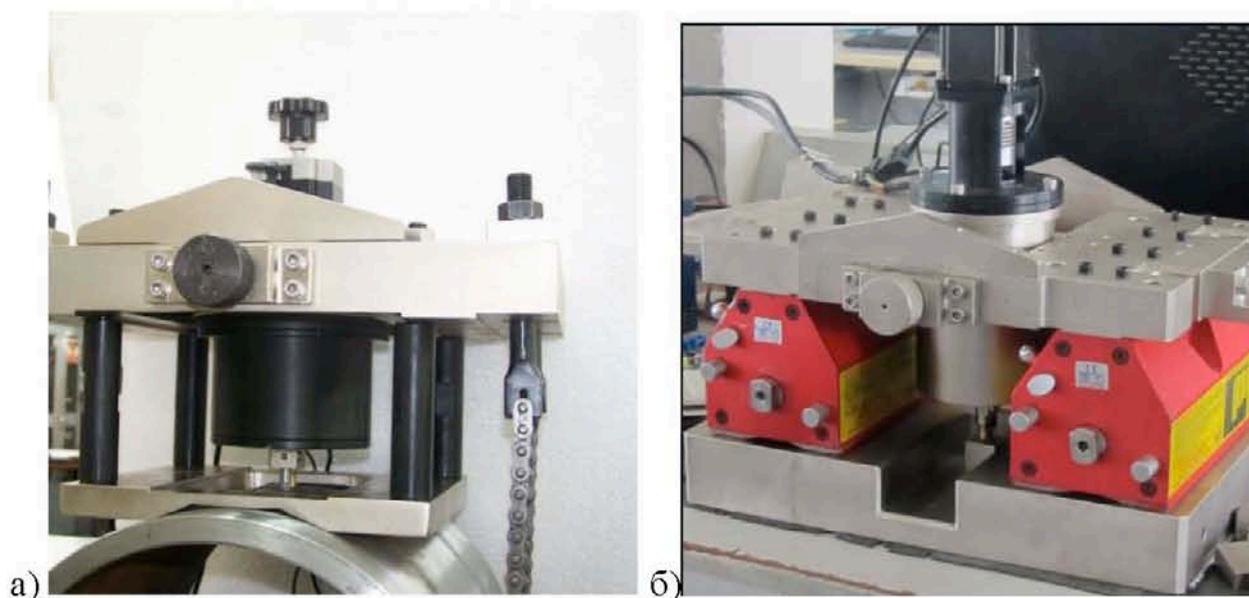


Рисунок 85 – Топография поверхности первого отпечатка на поверхности образца «2.2»

Лидирующей в производстве данного типа приборов компанией на сегодняшний день является компания Frontics. Ряд приборов, позволяющих

измерять диаграмму напряжение – пластическая деформация в лабораторных и полевых условиях имеют названия: Hybrid Micro-AIS, AIS2100, AIS3000, AIS3000 Compact, AIS3000 Compact, AIS3000 HD. Одинаковую вместе с iPoRTH максимальную силу имеют приборы AIS2100, AIS3000: 3кН. Максимальный ход индентора составляет 40мм, а разрешение – 50 мН по силе и 0.1 мкм по глубине. Также, как и iPoRTH данные изделия позволяют измерять диаграмму напряжение – пластическая деформация. Опционально доступно измерение трещиностойкости (fracture toughness). Принципиальным отличием AIS 3000 от модели AIS 2100 является возможность измерения остаточных напряжений. Изображение наиболее нового и наиболее близкого к iPoRTH по нагрузкам прибора AIS 3000 представлено на рисунке 86.



Рисунок 86 – AIS 3000 компании Frontics

Разработанность методик обработки данных и технологий, использующихся в приборах Frontics определяют высокую стоимость приборов: так модель AIS 3000 combo стоит порядка 200 k\$ [36].

Среди отечественных производителей можно отметить прибор ПИМ-ДВ-1 [37] (производитель НПП «РобоТест», рис. 87. Изделие доступно в лабораторной и «полевой» модификациях, позволяет прикладывать нагрузки до 6 кН и регистрировать перемещения до 1.25 мм, погрешность измерения данных величин составляет 0.5% и 0.2 мкм соответственно. Стоимость прибора составляет порядка 1 млн. руб. [38].



Рисунок 87 – ПИВ-ДВ-1, производитель НПП «РобоТест»

23.3 Исследование рынка

23.3.1 Рынок портативных твердомеров

Кроме приведённых выше компаний, можно привести и ряд других производителей портативных устройств; расширенный список включает в себя следующие наименования: VinSyst Technologies, Phynix, Beijing TIME High Technology, Fowler High Precision, AFFRI, Phase II, Proceq, Ultra Przision Messzeuge GmbH, INNOVATEST Europe BV, KERN & SOHN, GE Inspection Technologies, King Tester Corporation, EMCO-TEST Pruefmaschinen, Buehler, Starrett, Mitutoyo, Wenzhou Tripod Instrument Manufacturing, Hildebrand GmbH, Ernst, Wenzhou Weidu Electronics и др. Среди отечественных производителей портативных устройств можно выделить компанию МЕТ, производящую как ультразвуковые, так и динамические твердомеры. Общий размер рынка приборов неразрушающего контроля согласно [39] составлял 3.0 Вн.\$, данная оценка согласуется с оценкой компании MTS [40] – одного из ключевых игроков на данном рынке. Естественно, что приборы неразрушающего контроля занимают только часть данного рынка. Доля Американского региона на рынке составляет порядка 36% [39], причём к 2023 году ожидается снижения до 35%, в то время как Азиатско-Тихоокеанский регион показывает наибольший рост. Аналогичные цифры представлены в отчёте MTS за 2018 год [41].

Согласно исследованию [42], общий размер рынка твердомеров, измеряющих твёрдость по методу Лееба составляет порядка 160M\$, при этом доля портативных устройств на этом рынке составляет 90%. За последние годы темпы роста рынка твердомеров Лееба составляли порядка 5% в год (рис. 88). Учитывая, кроме устройства, основанных на методе Лееба портативные твердомеры также включают в себя UCI (ультразвуковые) тестеры, а также приборы Роквелла, общий объём рынка портативных устройств можно оценить в 450M\$.



Рисунок 88 – Рост размеров рынка твердомеров Лееба в зависимости от года [42]

Ключевыми областями и объектами в которых применяются портативные устройства являются:

нефти-газовая отрасль

сварные швы, конструкционные материалы, зоны, подверженные тепловому влиянию

ёмкости высокого давления

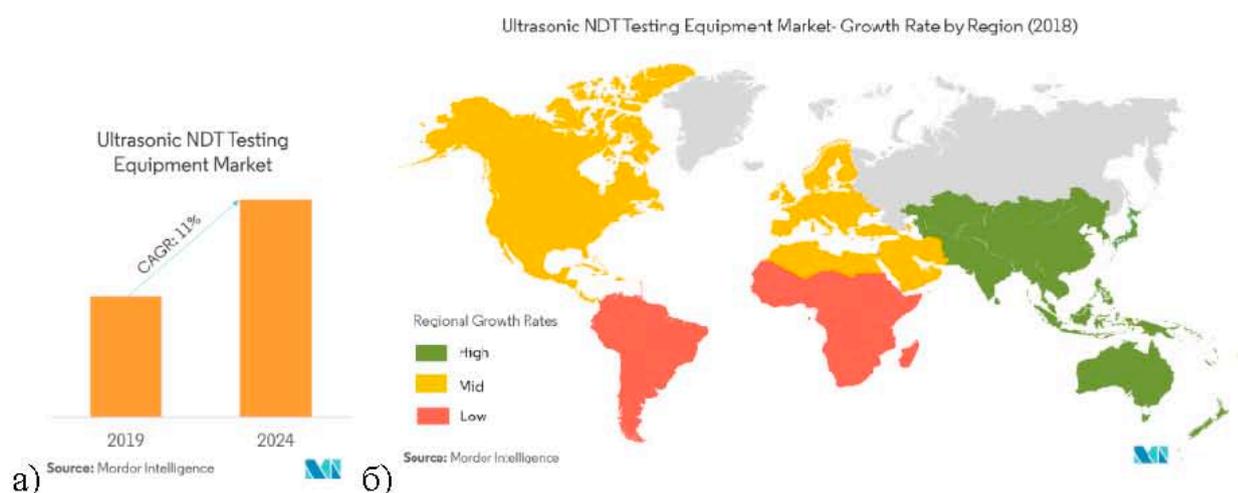
фланцы, трубы, горловины скважин

автомобилестроение

- корпуса моторов
- валы двигателей
- шестерёночные передачи

- системы торможения
- авиастроение
- лопадки и корпуса двигателей
- посадочные шасси
- железнодорожная промышленность

Можно отметить, что рынок растёт незначительными темпами: согласно данным [43] за последние 10 лет объём рынка вырос немногим больше 10% (рис. 89а). Согласно данным этого ресурса основной рост испытывают азиатские рынки, а также Австралия (рис.76). Можно отметить, что данная ситуация не совсем схожа с географией роста рынка неразрушающих методов (NDT) в целом: согласно данным [44] в США и Канаде отмечался высокий рост, при том, что в целом темпы роста рынка NDT были меньше: 6.7%.



а) б)
Рисунок 89 – Рынок неразрушающих ультразвуковых твердомеров: а) темпы роста б) распределение регионов по скорости роста [43]

Также, основываясь на данных [43,44] можно отметить сравнительно большую консолидированность рынка портативных ультразвуковых твердомеров в сравнении со степенью консолидированности рынка NDT в целом. Можно отметить, что типичное число компаний рассматриваемых при обзоре рынка ручных твердомеров насчитывает порядка десяти – двадцати наименований [45,46], в то время как в случае микротвердомеров иногда выделяют более тридцати производителей [47].

В качестве основных факторов, влияющих на развитие и направления движения рынка ручных твердомеров можно отметить законодательно регулирование, развитие электроники и робототехники, в совокупности с увеличением ценовой доступности портативных устройств. Важную роль, определяющую потребительский спрос, играет степень возврата инвестиций в приобретенное оборудование. Согласно [48] проблемой для всего рынка неразрушающего контроля является отсутствие квалифицированной рабочей силы.

23.3.2 Рынок инденторов, измеряющих диаграмму напряжения – деформация

В связи с ограниченным спросом рынок устройств, позволяющих вычислять диаграмму напряжение – деформация по данным инструментального индентирования является чрезвычайно консолидированным. Можно выделить три основных производителя: Frontics, Ducom, а также ABI Services LLC. Компания Frontics является лидером. Для данного производителя присутствует достаточно много информации в открытом доступе. Согласно данным [49] средний оборот компании можно оценить в 10 миллиардов вон, или в эквивалентном исчислении – порядка 9 M\$ (рис. 90).

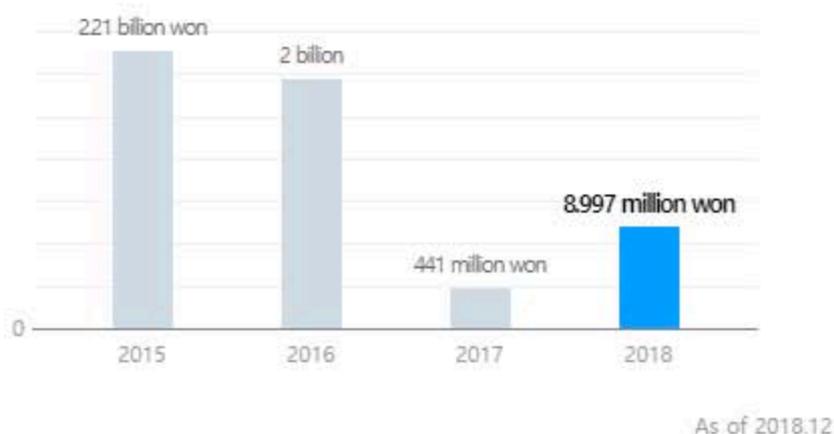


Рисунок 90 – Оборот компании Frontics

Компания Frontics производит также и нанотвердомеры (Nano AIS) и приборы для контроля свойств в лабораторных условиях (AIT U), однако

данные о продажах с 2000 по 2019 год [50] свидетельствуют о том, что наибольшим спросом пользуются именно приборы для неразрушающего определения диаграммы напряжение – деформация в полевых условиях; данная информация представлена в таблице 11. Можно отметить, что с конца 2016 года было поставлено всего один прибор AIS3000 compact и один прибор AIS 3000HD, что видно на из показателей, представленных на рисунке 90.

Таблица 11. Количество реализованной продукции Frontics

| Модель | AIS 2000 | AIS 2100 | AIS 3000 | AIS 3000 Compact | AIS 3000 HD | Micro AIS | Hybrid Micro AIS | AIT U | NANO AIS |
|-----------------|----------|----------|----------|------------------|-------------|-----------|------------------|-------|----------|
| Кол-во поставок | 20 | 21 | 22 | 19 | 4 | 5 | 2 | 3 | 2 |

Предполагая, что доля компании составляет не менее четверти рынка, а также учитывая средний оборот на уровне десяти миллионов долларов, можно оценить весь объем рынка рассматриваемых устройств в 40 M\$.

Учитывая, основную долю продаж компании Frontics составляют именно приборы неразрушающего контроля диаграммы напряжение – деформация в полевых условиях, можно отметить распределение по отраслям, представленное на сайте [51] является типичным для данного типа продукции, рисунок 91.

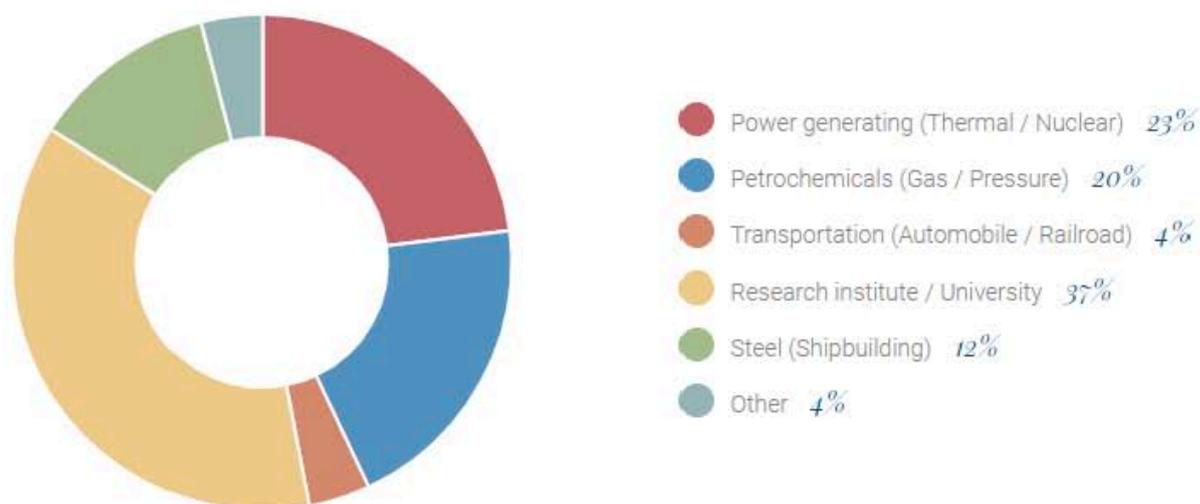


Рисунок 91 – Отрасли, использующие продукцию AIS [51]

Основными потребителями продукции являются академические институты, атомные электростанции, нефтехимическая промышленность, сталелитейная промышленность транспортная промышленность (автомобильная и железнодорожная), рисунок 92.

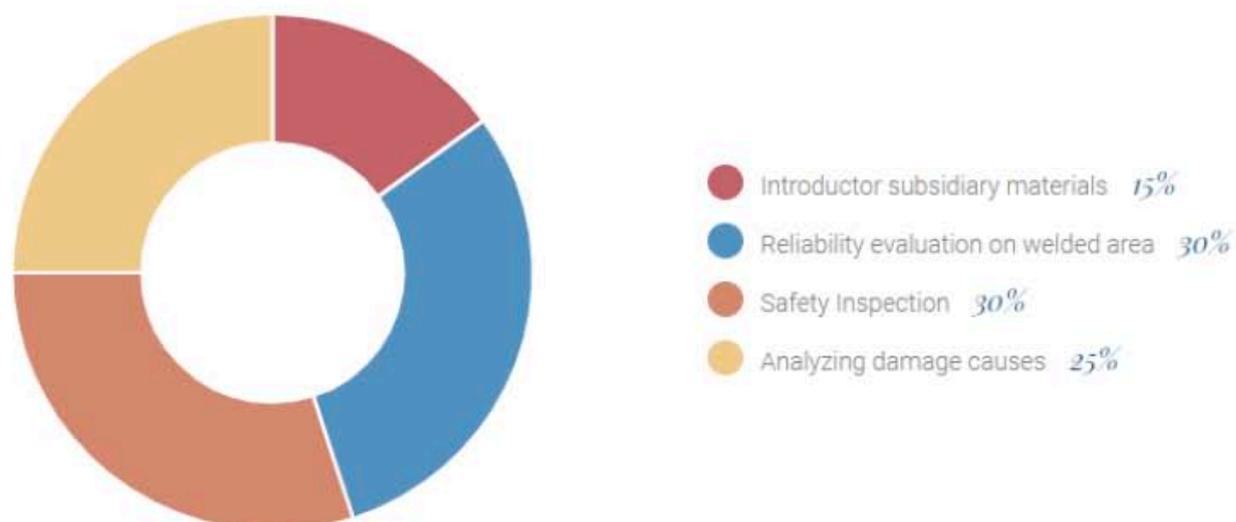


Рисунок 92 - Области применения продукции AIS [51]

Основными областями применения являются контроль сварных соединений и надёжности конструкций.

В целом, учитывая объем материалов и статей, доступных в открытом доступе можно отметить, что приборы неразрушающего контроля диаграммы напряжение – деформация наиболее востребованы в атомной и нефтехимических отраслях – областях где требуется контроль надёжности

труб и болон, контроль хрупкости и надёжности материалов, подверженных влиянию радиации. В сравнении с рынком приборов портативного контроля в области применения рассматриваемых устройств более выражена академическая сфера. Последний факт обусловлен тем, что не смотря на то, что метод определения диаграммы напряжение – пластическая деформация развивается уже более полувека, по – прежнему остаётся много открытых вопросов.

Результаты и выводы раздела

На основе проведённого исследования можно отметить, что основными конкурентами прибора iPoRTH являются портативные ультразвуковые и динамические твердомеры (для портативного модуля), а также устройства неразрушающего контроля диаграммы напряжение – деформация (для индентационного измерительного модуля). При этом ни один из приборов конкурентов не обладает всей полнотой функций разрабатываемого прибора iPoRTH.

Рынок портативных устройств достаточно развит, его объем оценивается в 450 млн. долл. США, на нём представлено достаточно много производителей, предлагающих продукцию по цене от менее чем 1000 долл. до 10 тыс. долл.. Рекомендуемая цена портативного модуля iPoRTH должна укладываться в этот ценовой диапазон. Основными потребителями данного типа устройств является промышленность (нефтехимическая, автомобилестроение, авиационная промышленность).

Рынок устройств измерения неразрушающего контроля диаграммы напряжение – деформация является достаточно маленьким (порядка 40 млн. долл.), на нём присутствует всего несколько производителей. Помимо промышленного применения, устройства также используются в академических институтах. Цена устройств составляет порядка 40 тыс. – 200 тыс. долл. за штуку. Рекомендованная стоимость индентационного

измерительного модуля iPoRTN должна быть близкой к нижней границе данного диапазона.

Работы по данному разделу соответствуют п. 3.23 ПГ и п. 3.59 ТЗ.

24 Разработка рекомендаций по возможности использования результатов ПНИЭР в реальном секторе экономики и оценка потребности промышленности в портативном роботизированном твердомере

Работы по данному разделу были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

К основным целевым группам потребителей можно отнести научно-производственные и промышленные предприятия, которые работают над разработкой и способами нанесения функциональных покрытий, проводят входной/выходной контроль качества изделий, а также центры подготовки специалистов контроля физико-механических характеристик.

Так как результатом ПНИЭР является многофункциональный прибор нужно выделить его функционал:

- Измерение твердости
- Измерение диаграммы напряжение – пластическая деформация
- Измерение предела текучести
- Измерение коэффициента и показателей деформации-упрочнения

Далее будет более подробно расписано применение как для индентационного измерительного модуля, так и для измерительного модуля оперативного контроля в реальных секторах экономики:

- Производство труб
- Применение в сфере нефте – и газопровода
- Машиностроение и металлообработка
- Авиационная промышленность
- Применение в автомобилестроении
- Инструментальное производство.
- Входной / выходной контроль

Измерение твердости металла основных несущих элементов оборудования и их сварных соединений имеет целью проведение косвенной оценки прочностных характеристик металла и выявление элементов

оборудования или отдельных его участков с явно выраженным отклонением прочностных характеристик от стандартных значений.

Измерение твердости обязательно в каждом случае, когда возникает сомнение в соответствии примененного при ремонте или изготовлении металла предусмотренному конструкторской документацией, а также в случае воздействия на металл (в результате нештатных ситуаций) механических или тепловых нагрузок, превышающих допускаемые для данного материала.

24.1 Производство труб: виды труб и технологии производства



Рисунок 93 – Изображение труб большого диаметра

Производство труб в России занимает отдельную и довольно крупную нишу промышленности.

Постоянно возрастающий спрос на изделия и качество их физико-механических характеристик, которые можно применять для транспортировки жидких, газообразных и твердых веществ, которые можно использовать в строительстве, бурении, разработке колодцев и скважин объясняет резкое увеличение предложений на рынке соответствующей продукции. Однако, несмотря на огромное количество компаний, осуществляющих производство полипропиленовых труб из различных сталей

и различного предназначения, подобрать по-настоящему качественное изделие, не так уж и просто.

Существует множество различных стандартов (ГОСТ) для контроля качества выпускаемой и поставляемой трубной продукции. И одним из немаловажных измеряемых параметров как раз является измерение твердости. Который можно разделить на контроль твердости при производстве труб, а также на контроль твердости готового изделия.

Следуя установленным правилам, линия производства труб должна быть выполнена в соответствии с Госстандартом или, если их целью не является массовое использование, в соответствии с тех. условиями согласно их применению.

Стоит отметить, что в данном сегменте рынка существуют свои правила и законы, маркетинг здесь работает иначе, чем в других направлениях бизнеса, поэтому названия крупных компаний-производителей известны только в узких кругах специалистов по эксплуатации, производству и продаже трубопроката. Иногда готовую продукцию потребитель покупает не зная, кто является заводом-производителем, работая исключительно с реализатором или посредником.

24.2 Крупнейший трубопрокатный завод ЧТПЗ

Современный, динамично развивающийся и ориентированный в первую очередь на потребности клиентов складской комплекс крупнейшего трубопрокатного завода-производителя ЧТПЗ предлагает трубы большого диаметра или любых других необходимых размеров.

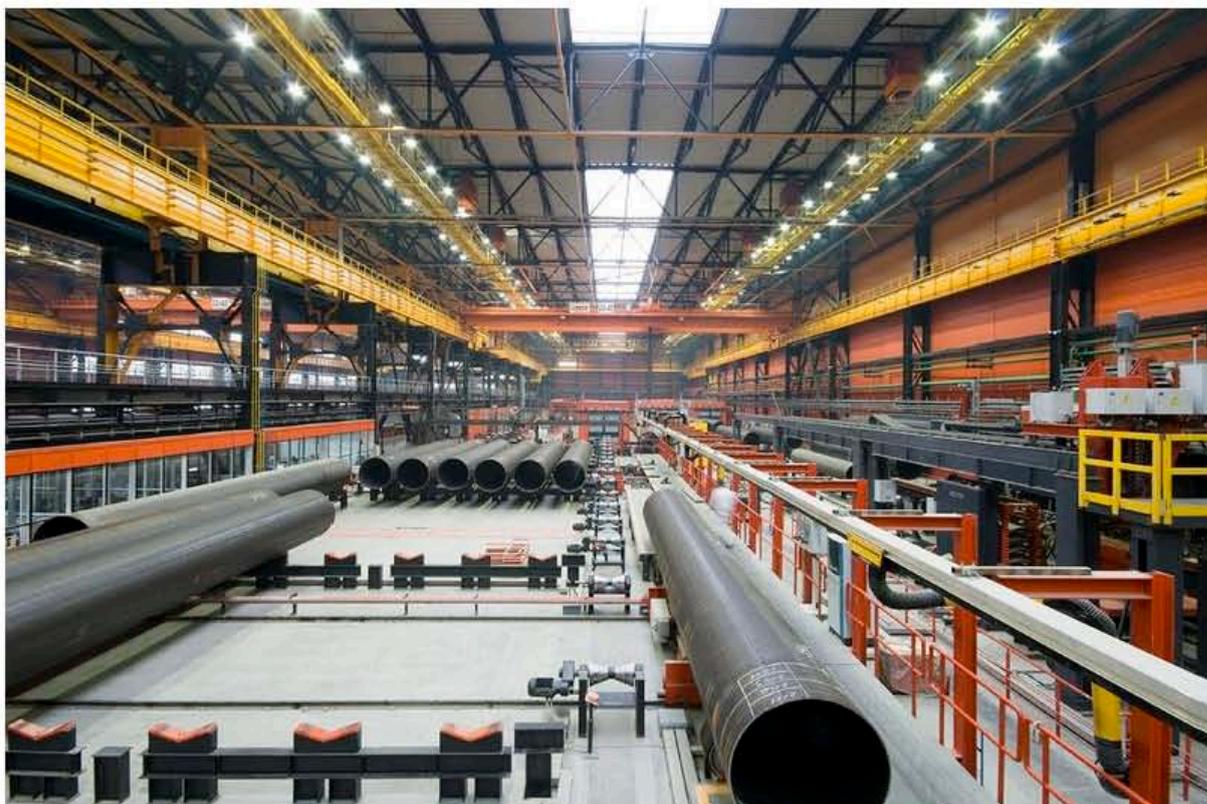


Рисунок 94 – Крупнейший трубопрокатный завод ЧТПЗ

На примере данного производства мы знаем, что выпускаемая продукция контролируется стандартами ГОСТ и им регулярно необходимо проводить испытания на твердость, предел текучести, коэффициент и показатель деформации-упрочнения.

Как раз для решения таких задач и был разработан iPoRTH. В отличие от испытательных машин, которые сейчас используются на этом и других предприятиях, результату ПНИЭР не требуется специальная подготовка образцов, в виде выпиливания отдельных кусков трубы и дальнейших испытаний на них.

Эти процедуры занимают время и требуют выделения большого рабочего пространства для проведения подобных испытаний. iPoRTH же в свою очередь предлагает мобильность и оперативность в измерениях, что потенциально может заинтересовать центральную заводскую лабораторию данного предприятия.

24.3 Основные виды и категории труб, производимых в России

Учитывая повышение спроса на металлопрокат, в модернизацию данной отрасли производства за последние годы было вложено много инвестиций. Проводится разработка и закупка современного оборудования для производства труб, осуществляются исследования и вводятся в эксплуатацию новые технологии, которые значительно повышают качество готовой продукции.

На сегодняшний день наибольшей популярностью среди отечественных и зарубежных покупателей отличаются такие виды труб:

- электросварные (бывают прямошовные и спиральношовные, горяче- и холоднокатаные), которые используются во всех отраслях строительства, а также при организации сложных систем трубопроводов;

- специального назначения, которые нашли применение в автомобилестроении и в производстве бытовой техники (например, стиральные машинки, холодильники и т.п.) не только в России, но и во многих странах ближнего и дальнего зарубежья;

- трубы для магистральных газопроводов;

- трубы для строения подводных газопроводов;

- трубы для добычи нефти;

- Полимерные трубы, применяющиеся для строительства и ремонта трубопроводов для бытовых и промышленных потребностей, а также для защиты более хрупких конструкций (в качестве «рубашки» — защитной оболочки);

- Полипропиленовые трубы;

- трубы ПВХ для водопровода и канализации.



Рисунок 95 – Склад готовой продукции

24.4 Технологии производства труб

Наиболее распространенные технологии, используемые при производстве труб:

- Сварка. Используется в основном для металлических труб. При этом лист сворачивается таким образом, чтобы шов был ровным (прямошовные трубы), или накручивают ленту по спирали (спиралешовная труба);

- Прокат. Этот способ осуществляется за счет прокатки готового слитка через специальное оборудование, которое создает отверстие необходимого диаметра по центру и позволяет изготовить бесшовную трубу;

- Высверливание. При этом способе в заготовке высверливается отверстие. Используется не часто, так как большая часть металла превращается во время такой обработки в стружку и для дальнейшей эксплуатации не годится. Чаще всего применяется для изготовления деталей различных механизмов, в том числе и для оружейного производства;

- Фальцовка с обжатием. В этом случае на заводе при производстве профильной трубы формируется трубчатое сечение трубы и образуется продольный шов;

- Литье. Есть два типа производства литьем стальных труб. Материал разливают в быстро вращающуюся полую форму или в форму со стрижнем необходимого для отверстия диаметра;

- Производство ПНД труб осуществляется из полиэтилена при низком давлении. Изделия подходят для выполнения обвязки газо- и водопровода в бытовых условиях. Производство полиэтиленовых труб может проводиться и другими способами, например, методом экструзии закрытого типа. Тогда трубы получаются более прочными;

- Производство труб ППУ проводится в первую очередь для оборудования теплоизоляционных систем. Изделия имеют дополнительную систему защиты.

Рассмотрим применение iPoRTH при различных способах производства:

- Сварка. При данном типе производства готовое изделие может иметь несколько сварных швов, для чего нужно проводить контроль качества данных соединений.

Результат ПНИЭР позволяет проводить измерение твердости непосредственно до сварного шва, на самом сварном шве и позади него. Благодаря специально разработанной конструкции iPoRTH, прибор может проводить данные измерения за один цикл. Так же благодаря его модульной конструкции можно доработать специальные зажимы под определенные диаметры трубы и проводить измерения с определенным шагом по всему сварному шву готового изделия. Это может привлечь множество производителей труб сварным методом использовать результат ПНИЭР для контроля качества готового изделия.

- Прокат. При данном типе производства контроль непосредственно проводится заготовок для будущего проката. Помимо анализа химического состава производителей еще интересует измерения твердости материала, его упругости (модуль Юнга) а так же измерение коэффициента и показателя деформации-упрочнения. Это означает, что iPoRTH может заменить сразу

несколько приборов на данной стадии контроля. Результат ПНИЭР можно доработать под специфику производства и внедрить непосредственно в прокатную линию, получать, сохранять и обрабатывать полученные данные непосредственно во время произво труб методом проката. Это еще более расширяет сферы потенциального применения разработанного прибора, так как не только трубы производятся технологией проката.

- Литье. В литье контроль физико-механических характеристик можно проводить уже по готовому изделию. Такие производства найдут применение iPoRTH в определении диаграммы "напряжение-деформация" методом инструментального индентирования.

Измерения можно проводить как по выборочному изделию из паритии, так и по контрольному образцу. В связи со спецификами литейного производства – нужно будет изменить систему крешлений прибора к образцу, после чего данный тип производства можно рассматривать как потенциального потребителя результата ПНИЭР.

- Производство ПНД и ППУ труб. При таком типе производства у многофункционального прибора iPoRTH будем множество вариантов применений. Трубы подобного производства производятся и поставляются по различным стандартам, при этом и контролировать твердость и прочность приходится разными методами. Применение найдет локальное измерение твердости методом инструментального индентирования, которое реализовано в измерительном модуле оперативного контроля, так и измерение напряжения–деформация, индентационным измерительным модулем.

24.5 Выводы применения и оценка потребности в трубном производстве

Как уже было описано ранее, областей применения iPoRTH в трубном производстве множество. Тем более в данном сегменте промышленности РФ есть разнообразие типов труб, способов их производства, а также стандартизации и контроля качества.

Результат ПНИЭР, в данном производстве, можно использовать для измерения твердости, что входит в соблюдение положений ГОСТ для разных типов труб, а так же такой параметр как прочность, для измерений которой подходит индентационный измерительный модуль.

Производители труб заинтересованы в повышении качества своей продукции и ее соответствия отечественным и международным стандартам, в повышении скорости контроля и его точности. Так же немаловажным фактором является мобильность и компактность прибора, которым соответствует результат ПНИЭР.

Еще нужно отметить, что при внесении прибора в реестр СИ и аттестация методики его контроля прочности труб, то область применения и количество потенциальных потребителей значительно расширится в трубной промышленности РФ.

По оценкам ФРТП, в 2018 году спрос на трубы поднялся на 2% по сравнению с 2017 годом, до 10,085 млн тонн в результате роста потребления труб на российском рынке на 18%, до 1,9 млн тонн. Внутренний спрос на трубы стимулировало строительство ПАО «Газпром» в 2018 году второй нитки магистрального газопровода «Северо-Европейский газопровод. Участок «Грязовец-Выборг» и увеличение спроса ПАО «Транснефть» на ремонтно-эксплуатационные нужды. В 2019 году потребление труб в России вырастет на 1% в годовом сопоставлении, до 10,2 млн тонн, прогнозируют в ФРТП.

В связи с большим количеством производимых труб и разных участков их производства и контроля потребность в результате ПНИЭР в данной отрасли оценивается около 30 штук в год. Это обусловлено разными участками производства и входного/выходного контроля комплектующих и готовых изделий.

24.6 Применение в сфере нефте – и газопровода

На территории России действуют система магистральных трубопроводов общей протяженностью более 250 тыс. км. Более половины нефте- и газопроводов находятся в эксплуатации 25 – 35 лет, т.е. требуют немедленного повторного обследования и соответствующего профилактического ремонта. Иначе может произойти серия крупных экологических катастроф из-за разрыва труб. Внутритрубная магнитная или ультразвуковая дефектоскопия для этих целей не всегда возможна и достаточно дорога, поэтому в последние годы резко возросла актуальность применения других методов при обслуживании нефте- и газопроводного транспорта.



Рисунок 96 – Прокладка трубопровода

Помимо этого существует проблема обнаружения участков с наибольшим механическим напряжением, которые вызывают значительные аварии на трубопроводе. Были проанализированы причины отказов и активно разрабатываются новые правила проверки целостности, учитывая местные условия нагружения. Установлено, что повреждения и последующий разрыв труб происходят в следствие превышенных нагрузок, которые могут

возникать по причине уплотнения или размыва грунта, последующего проседания почвы, усталостных трещин, гофров или вмятин. В новых трубопроводах часто происходит разрушение сварных швов, причиной чему являются сниженные физико-механические характеристики, микротрещины, появляющиеся в области концентрации напряжения.

Применение. Сейчас в РФ активно используются портативные твердомеры которые относятся к исследованию материалов путем определения их химических или физических свойств, в частности к исследованию прочностных свойств твердых материалов путем приложения к ним механических усилий, а именно путем измерения высоты отскакивания ударного тела. Но у этого метода есть минусы и высокий разброс показаний.



Рисунок 97 – Пример измерение твердости стенки трубопровода портативным прибором

В iPoRTH реализован как метод инструментального индентирования, который позволяет измерять не только твердость, с высокой точностью и повторяемостью, а и модуль упругости, что расширяет его практичность и область применения. Так же стоит обратить внимание на то, что в областях повышенной нагрузки на трубу может быть использован модуль измерения коэффициента и показателя деформации-упрочнения.

Но стоит понимать, что труба – это не единственный важный элемент трубопровода который проходит регулярный контроль. Особое внимание стоит уделить контролю качества запорной арматуры, фланцев, задвижек, болтов и т.д.

Все эти элементы в процессе эксплуатации подвергаются механическим и физическим воздействиям, следовательно и их характеристики могут меняться, что повлечет за собой ослабление прочности всей конструкции.



Рисунок 98 – Пример запорной арматуры в трубопроводе

Разработанный прибор iPoRTH позволяет проводить оперативный контроль разных элементов сразу. Можно разработать специализированную

методику контроля элементов трубопровода сразу несколькими iPoRTH в автоматическом режиме, для увеличения скорости входного контроля.

Но основной упор нужно делать именно на контроль уже введенного в эксплуатацию трубопровода.

24.7 Выводы применения и оценка потребности в сфере обслуживания трубопровода

Такие крупнейшие предприятия в РФ как ПАО «Газпром», ПАО «НК «Роснефть» постоянно заинтересованы в новых технологиях входного/выходного контроля качества. Заинтересованы в приборах, позволяющих ускорять процесс измерения параметров используемой продукции, новых методиках контроля и измерений.

Из чего можно сделать выводы о заинтересованности этой отрасли в использовании iPoRTH.

В России действует крупная сеть нефте- и газопроводов, снабжающая углеводородами экономику России, а также Западную Европу, Турцию, Юго-Восточную Азию. Протяжённость магистральных трубопроводов в России составляет более 250 тыс. км.

В связи с большой протяженностью трубопроводов в России можно оценить потребность данной области, в результате ПНИЭР, около 100 штук в год. Это обусловлено современной тенденцией закупаемых портативных твердомеров. После успешных запусков в эксплуатации и сбора данных с участков контроля, заинтересованность может очень сильно увеличиться вплоть до 300 штук в год, что в свою очередь стимулирует и производство запасных частей и комплектующих для iPoRTH которые будут изнашиваться в процессе эксплуатации.

24.8 Машиностроение и металлообработка

На сегодняшний день машиностроение и металлообработка являются одними из наиболее развитых отраслей промышленности в нашей стране.

Значение этих отраслей для экономики страны сложно переоценить. Предприятия машиностроительной промышленности обеспечивают потребности общества в машинах и оборудовании, которые применяются практически во всех сферах деятельности — в сельском хозяйстве, в промышленности, на транспорте и в повседневной жизни.



Рисунок 99 – Пример готовой продукции машиностроения

Машиностроение и металлообработка имеют не только сугубо практическое значение, они также играют немаловажную роль в научно-техническом прогрессе. Развитие машиностроения в развитом государстве должно происходить в соответствии с определенными законами: машиностроение должно развиваться в два раза быстрее средних темпов развития хозяйства в стране (если принять эти темпы за единицу), а наиболее значимые из отраслей машиностроения — в четыре раза быстрее. К этим показателям необходимо стремиться всякому современному государству.

Машиностроение и металлообработка как единая отрасль может быть подразделено на следующие сферы:

- Машиностроение как таковое
- Ремонт оборудования, машин и механизмов
- Производство металлоконструкций и металлических изделий различного назначения.

Итак, как мы выяснили, машиностроение и металлообработка в наши дни имеют решающее значение для процветания научно-технического прогресса, экономики и успешного развития всех прочих отраслей производства. Сегодня все отрасли промышленности имеют тесную взаимосвязь и зачастую обеспечивают потребности друг друга. Производства, связанные с машиностроением и обработкой металлов, наиболее важны и востребованы в данных условиях. Металлообрабатывающие заводы поставляют всевозможные детали и комплектующие машин и оборудования, станки и т.д., обеспечивая саму возможность существования других сфер производства, предприятий легкой и пищевой промышленности и т.д.

24.9 Применение iPoRTH

Данная область ежедневно сталкивается с производством и эксплуатацией изделий из металлов, что в свою очередь ведет к необходимости постоянного входного/выходного контроля. Контроль этот ведется сразу по нескольким направлениям:

- контроль линейных размеров
- измерение твердости
- анализ химического состава
- измерение прочностных характеристик

Прибор iPoRTH в отличии от своих конкурентов покрывает сразу два направления, это измерение твердости и прочностных характеристик, что дает возможность предполагать о потенциальной заинтересованности предприятий отрасли машиностроения и металлообработки в разработанном приборе.

Сейчас данные предприятия для измерения твердости используют портативные и стационарные твердомеры которые работают по шкалам Роквелла и Бринелля. Прибор iPoRTN предлагает более современный подход в измерениях методом инструментального индетирования, что в свою очередь должно повысить качество и скорость контроля.

24.10 Выводы применения и оценка потребности в отрасли машиностроения и металлообработки

Эта отрасль постоянно развивается и требует все более современных и универсальных приборов, таких как iPoRTN. После внесения его в реестр СИ РФ можно будет говорить о проведения испытаний на таких крупных предприятиях как:

- ФГУП "Ижевский механический завод"
- "Туламашзавод"
- ФГУП "Уралтрансмаш"
- и другие.

Производить предварительную оценку потребности в результате ПНИЭР в данной области достаточно сложно, это обусловлено спецификой конкретно взятого предприятия и производимой продукции. Но по предварительным просчетам заводские лаборатории могут обеспечить спрос в виде 1 прибора на предприятие.

В России более 10 крупных предприятий данной отрасли из чего можно сделать вывод о потребности около 10 штук в год.

24.11 Авиационная промышленность

Авиационная промышленность – это отрасль, в которой проводятся исследования, научные разработки, строительство и испытания опытных образцов, серийный выпуск летательных аппаратов и их элементов (двигатели и другое оборудование).

В ВПК авиационная индустрия представлена 220 предприятиями и 150 научными организациями. Большая часть их расположена в районе Поволжья и на Урале. На крупных промышленных базах собираются готовые изделия из поставляемых деталей и узлов. Ключевыми факторами размещения производственных комбинатов являются наличие квалифицированных специалистов и транспортная инфраструктура. Разработки и проектирование осуществляется в конструкторских бюро Москвы и Московской области. Кроме строительства самолетов-амфибий. Они разрабатываются в Таганроге. Важными факторами размещения авиастроительных предприятий считаются отдаленность от границ с другими государствами, обеспечение полной безопасности для населения, а также наличие дешевых ресурсов (электроэнергия, алюминий и др.).



Рисунок 100 – Авиационный сборочный цех

Основные производственные процессы в самолетостроении представлены:

- заготовкой деталей;
- их обработкой;
- сборкой отдельных узлов и агрегатов;

- сборкой целого изделия.

Как и во многих других производствах, в авиационной промышленности особое внимание уделяют качеству деталей и комплектующих. iPoRTH может найти себе применение в центральных лабораториях а так же в подразделениях входного/выходного контроля.

24.12 Применение в авиационной промышленности

В авиационной промышленности постоянно разрабатывают новые материалы, композиты, волокна и т.д. Для тестирования и исследования физико-механических свойств можно применять многофункциональный прибор iPoRTH.

Большинство готовых изделий авиационной промышленности состоят из множества деталей и составляющих, что означает постоянную загрузку и востребованность.

Детали и комплектующие регулярно проходят контроль по таким характеристикам:

- Химический состав
- Твердость изделий и покрытий
- Прочность
- Износостойкость
- Адгезивные показатели
- Упругость
- и др.

Как и в областях описанных выше разработанный прибор iPoRTH может закрывать потребность измерений сразу нескольких характеристик:

- **Измерение твердости** будет проводится измерительным модулем оперативного контроля, методом инструментального индентирования. Применение данного метода в авиационной промышленности может быть обусловленным «мягкостью» и упругости материалов которые используются в авиационной промышленности.

- **Измерение упругости** проводится как измерительным модулем оперативного контроля так и индентационным измерительным модулем.

В зависимости от специфики изделий можно разработать специальную конструкцию крепления прибора к образцу, что повысит скорость и качество измерений.

- **Измерение адгезии** может осуществляться внесением конструкторских изменений в прибор.

- **Износостойкость** материалов, композитов и готовых изделий можно осуществлять индентационным измерительным модулем измеряя коэффициент и показатели деформации-упрочнения.

Выводы применения и оценка потребности в авиационной промышленности.

После внесения прибора iPoRTH в реестр СИ можно рассчитывать на потенциальный интерес и спрос от таких предприятий как:

- РСК «МиГ»
- ПАО "Туполев"
- ПАО «Компания «Сухой»
- и другие.

Как и в других секторах промышленности РФ, данная отрасль очень разнообразна в своих потребностях в измерительной техники и выпускаемой продукции.

Для оценки потребности нужно проводить дополнительные испытания на самих предприятиях, в связи со спецификой производства в авиационной промышленности.

По предварительной оценке можно рассчитывать на спрос от 3 штук в год, для лабораторий входного/выходного контроля крупных предприятий перечисленных выше.

После успешных испытаний можно рассчитывать на увеличения спроса среди других производителей и смежных с этой отраслью производств, в размере около 30 штук в год.

24.13 Автомобилестроение

Автомобильные заводы – предприятия автомобильной промышленности (автомобилестроения), продукцией которых являются легковые и грузовые автомобили. Автомобилестроение считается ведущей и постоянно развивающейся отраслью машиностроительного комплекса, наиболее ориентированной на потребительский рынок. Развитием автопрома во многом определяется уровень экономического и социального развития государства, обеспечения его национальной безопасности.

Кроме автомобильных заводов, в производстве автомобильной техники задействованы предприятия смежных (моторо-, станко- и роботостроение, шинная промышленность), так и иных отраслей (металлургия, электротехническая, химическая, легкая промышленность и др.). Таким образом, автомобилестроение стимулирует развитие всей промышленности страны.



Рисунок 101 – Автомобильная конвейерная сборка

Для производства одного автомобиля необходимо изготовить и закупить свыше 10 тыс. деталей, осуществить их сборку в узлы и агрегаты, из которых затем получается автомобиль. Автомобилестроение отличается

высокой степенью механизации, автоматизации, специализации и стандартизации производственных процессов.

24.14 Применение

Как и в авиационной промышленности готовые изделия и комплектующие состоят из множества отдельных деталей и модулей, которые в свою очередь так же проходят через отделы входного/выходного контроля и исследовательские лаборатории. Ведется постоянная разработка новых материалов и сплавов, где в свою очередь так же может найти себе применение iPoRTH.

Почти все поставляемые комплектующие на автомобилестроительные предприятия проходят входной контроль по таким же параметрам, как описано выше в авиационной промышленности.

iPoRTH может производить входной контроль комплектующих сразу по нескольким параметрам. На данный момент в этой отрасли активно используются портативные твердомеры динамического действия и стационарные твердомеры.

У портативных динамических твердомеров относительно невысокая повторяемость измерений и заметный остаточный отпечаток после измерений. Мы же в свою очередь можем предложить измерительный модуль оперативного контроля для решения этой задачи, при этом оставляя гораздо меньший отпечаток и более высокую повторяемость измерений. Но нужно учесть, что приемка деталей для данной отрасли промышленности ведется по уже установленным в ГОСТ стандартам и от разработанного прибора будет требоваться его внесение в реестр СИ РФ.

Индентационный измерительный модуль способен заменить собой громоздкие стационарные твердомеры при этом будучи переносным, что позволит устанавливать его в конкретные линии или участки приемки/выдачи.

Оптический конфокальный профилометр позволит измерять шероховатость изделий, что является важным параметром для автомобилестроения, так на большинство деталей наносится функциональное покрытие или краска.

Так же нужно учесть, что в данной отрасли активно используется конвейерное производство и можно предположить об интересе со стороны автомобилестроителей в модификации прибора для автоматизированного контроля таких параметров как: твердость, прочность, шероховатость и адгезия.

24.15 Выводы применения и оценка потребности в автомобилестроении

Можно рассчитывать на потенциальный интерес от крупных производителей, автомобилестроительной отрасли в России как:

- Горьковский автомобильный завод (ГАЗ)
- Ульяновский автомобильный завод (УАЗ)
- Волжский автомобильный завод (АвтоВАЗ)
- Камский автомобильный завод (КамАЗ)
- Павловский автобус (ПАЗ)

Многофункциональный прибор iPORTN уже сейчас готов работать на разных участках этих предприятий, но нужно учесть, что для каждого отдельно взятого предприятия потребуется вносить корректировки в систему крепления прибора к образцу, внесение прибора в реестр СИ РФ, проведение дополнительных испытаний на образцах заказчика и возможно аттестация методики измерительного контроля, что бы соответствовать уже установленным стандартам контроля физико-механических характеристик.

В данном секторе экономике заинтересованность предприятий в результате ПНИЭР может достигать около 50 приборов в год. Эту обусловлено большим количеством изделий которые подвергаются входному/выходному контролю и разным участкам проведения этого контроля.

24.16 Инструментальное производство

В цехах инструментального производства изготавливается инструмент, оснастка и нестандартное оборудование для освоения новых видов продукции и оснащения серийных изделий.



Рисунок 102 – Фреза с упрочняющими вставками

В производстве эксплуатируется универсальное оборудование различного назначения, которое позволяет изготавливать достаточно широкий спектр режущего и сложно режущего инструмента: червячные, модульные фрезы, долбяки, протяжки. Осевой режущий инструмент изготавливается в диапазоне от 1 до 100 мм в диаметре.

Наличие координатно-расточных, координатно-шлифовальных станков позволяет изготавливать оснастку (штампы, прессформы, кондукторы) с заданными минимальными допусками на расположение и форму поверхностей.

Также инструментальное производство производит следующие виды обработки:

- Фрезерную обработку
- Шлифовальные работы
- Заточку режущего инструмента
- Термообработку конструкционных и инструментальных сталей

24.17 Применение iPoRTN в инструментальном производстве

Особое внимание следует уделить режущему инструменту. Подобный тип инструмента поддается множеству разных способов обеспечения его режущих свойств.

К примеру заточка, при которой на специальных станках, изделию придают режущую кромку и для подтверждения ее функциональных качеств требуется проводить серию измерений сразу по нескольким параметрам. После подобного типа обработки на самой кромке режущего инструмента прибором iPoRTN можно измерить шероховатость, благодаря наличию оптического конфокального профилометра.

Функционал прибора позволяет также измерить твердость режущего инструмента, что может требовать от изделия служба контроля качества, в зависимости от специфики изделия.

По скольку производимая продукция инструментального производства очень разнообразна, можно просто выделить основные измерения:

- Твердость изделий и покрытий
- Прочность
- Износостойкость
- Упругость

Все эти свойства **iPoRTN** может измерять, но из за специфики данного сектора производства есть вероятность подготовки специальной системы крепления прибора к образцу и разработки методики контроля.

24.18 Выводы применения и оценка потребности в инструментальном производстве

Инструментально производство в России производит большое количество разнообразного по функционалу и размеру инструмента, подготовить универсальное решение которое бы подходило для измерения физико-механических характеристик практически невозможно, но при индивидуальном подходе можно рассчитывать о заинтересованности в многофункциональном приборе со стороны таких крупных производителей как:

- Крона
- Лада Инструмент (ЛИИ)
- Димитровградский инструментальный завод (ДИЗ)
- НПФ Завод «Измерон»
- Казанский медико-инструментальный завод (КМИЗ)

Особое внимание следует уделить производителям режущего инструмента. Объем производства растет с каждым годом как и требование к контролю качества готового изделия. Потенциальная потребность будет у лабораторий и отделов контроля качества. По предварительным подсчетам спрос может составлять около 10 приборов в год

24.19 Выводы о возможности использования результатов ПНИЭР в реальных секторах экономики и оценка потребности промышленности в портативном роботизированном твердомере

Результатом ПНИЭР является многофункциональный прибор для измерения твердости и других физико-механических характеристик. Как перечислено выше, областей его применения очень много и заинтересованность в нем может ожидаться от свыше 10 отраслей Машиностроения и металлообработки России. Так же отдельное внимание стоит уделить технологическим институтам, которые разрабатывают и

исследуют функциональные покрытия, различным конструкторским бюро и подразделениям контроля качества изделий и комплектующих.

Общий объем спроса предприятий в результате ПНИЭР можно оценить около 130 штук в год.

В зависимости от полученных положительных результатов опыта эксплуатации можно предполагать о повышении спроса в несколько раз.

Результаты и выводы раздела

Основным критерием оценки спроса является успешность работы результата ПНИЭР в отрасли производства труб разного диаметра, а также предприятий, эксплуатирующих и обслуживающих трубопровод. По предварительной оценке – это главные потребители результата ПНИЭР в реальном секторе экономики.

Работы по данному разделу были выполнены в соответствии с пунктом 3.24 ПП и п. 3.60 ТЗ.

25 Приобретение оборудования / комплектующих / материалов, необходимых для выполнения ПНИЭР

Работы данного раздела были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш».

Для выполнения ПНИЭР были закуплены необходимые материалы и оборудование.

Для модернизации стенда термической обработки образцов труб, описанной в разделе 17, были использованы закупленные трубы, металл, многоуровневая система управления для промышленных печей, рекуперативные горелки REKUMAT M250.

Многоуровневая система управления промышленных печей с электрическим нагревом строится на базе контроллеров Siemens. Регулировка температуры в печи предусматривается для каждой зоны нагрева. Регулировка температур при нагреве и при выдержке (выравнивании) происходит от термоэлектрических преобразователей (термопар), расположенных в боковых стенах камеры нагрева. Защита от превышения максимальной температуры в печи предусматривается при помощи независимой термопары и предохранительного регулятора температуры.

Для контроля, изображения и управления на передней стороне щита управления находится коммуникационное табло, соединенное с регулятором. Все оборудование для управления и регулирования печи (ручной выключатель, предохранители - входные, выходные, контакторы, переключатели, сигнальные лампы, гудок) помещены в главный электрощите управления, который вынесен вместе с управляющей рабочей станцией. Для информирования оператора об отклонении от нормального состояния используется аварийный сигнал — звуковой и световой. Аварийные сигналы изображаются вместе с описанием на панели оператора и на контрольной системе. Все аварийные сигналы сохраняются в памяти аварийных сигналов.

Регулятор Siemens в электрощите печи подключен к ПЭВМ, где загружена программа контроля, обеспечивающая визуализацию всего процесса печи и сохранение данных. Компьютерная программа работает в операционной среде Windows. Время выборки данных в ПЭВМ настраивается в диапазоне (1 мин - 15 мин). Изображенные данные на ПЭВМ сохраняются в особом файле. Система управления предусматривает минимальную степень участия оператора в процессе термообработки: задание режима и запуск работы (в автоматическом режиме).

На дисплее визуально изображаются следующие данные:

- желаемая температура в печи;
- действительная температура в печи;
- время длительности процесса;
- время до конца процесса (в часах);
- аварийные сигналы;
- работа вентиляторов;
- прочая служебная информация;

Промышленные газовые горелки REKUMAT служат для преобразования энергии газа в технологическое тепло. При прямом нагреве тепло передается преимущественно путем конвекции на материал и на стенки печи. При косвенном нагреве это относится ко внутреннему пространству излучающих труб, так как эти трубы передают тепло печи преимущественно путем излучения.

На первом месте при модернизации стенда стояла задача оптимизации распределения температуры в печи. Затем следует экономичность с учетом коэффициента полезного действия преобразования энергии, влияние на окружающую среду из-за эмиссии вредных веществ и шума и, наконец, безопасность процесса с использованием автоматики не требующей, по возможности, технического обслуживания.

Горелки REKUMAT экономят газ благодаря высокому коэффициенту использования топлива (КИТ) — до 90% и отличаются очень малым

выбросом вредных веществ CO и NOx. Горелки и излучающие трубы изготовлены с большим количеством деталей из устойчивой к термическому износу керамики, что обеспечивает долгий срок службы оборудования, вплоть до его морального износа. Горелки WS поставляются полностью готовыми к эксплуатации (собранными и предварительно настроенными), с комплектной автоматикой управления и безопасности, со всей необходимой электрической разводкой. Для установки горелок WS не требуется специальная подготовка. Каждая из горелок снабжена собственным устройством управления и безопасности, что позволяет моделировать систему нагрева печи самостоятельными модулями. Регулирование работой горелки происходит по принципу «Вкл./Выкл.» (импульсно), что соответствует современной цифровой технике управления. Настройки горючей смеси для каждой горелки оптимизируются под единственно возможную оптимальную рабочую точку и не изменяются под влиянием регулировки температуры. Это позволяет избежать снижения эффективности из-за колебаний соотношения воздух/топливо.

Конструкция рекуперативной горелки базируется на встроенном в горелку рекуператоре-теплообменнике: дымовые газы удаляются из печи через саму горелку, а воздух идущий на горение нагревается, охлаждая отходящие газы. Горелки такой конструкции позволяют добиться коэффициента использования топлива до 85 %, что выгодно отличает их в сравнении с горелками без догрева воздуха с коэффициентом использования топлива не более 40 % или системами с центральным рекуператором с КИТ около 65 %. При этом рекуперативная горелка оптимизирована таким образом, что могут быть достигнуты очень низкие, практически нулевые выбросы CO и NOx. Поскольку горелка и рекуператор-теплообменник являются одним целым, то в этом случае практически отсутствуют потери в трубопроводах, которые есть при применении центрального рекуператора.

Для работ по изготовлению модельных тестовых образцов полых литых заготовок и образцов термически обработанных труб, описанных в

разделах 18 и 20, были закуплены ферросплавы, проволока сварочная, песок хромитовый. Данные материалы были использованы при производстве стали, из которой изготавливались образцы.

Результаты и выводы раздела

В соответствии с пунктом 3.25 ПГ и п. 3.61 ТЗ была проведена закупка оборудования, комплектующих и материалов, необходимых для выполнения ПНИЭР. Данное оборудование и материалы были использованы при выполнении работ согласно пп. 3.17, 3.18, 3.20, 3.22 ПГ.

26 Монтаж/пуско-наладочные работы на оборудовании, необходимом для выполнения ПНИЭР

Работы данного раздела были выполнены Индустриальным партнером ОАО «Тяжпрессмаш». Для выполнения ПНИЭР было закуплено необходимое оборудование, перечень и назначение оборудования приведены в разделе 25 настоящего отчета. В данном разделе приведено описание основных процедур, выполненных во время монтажных и пуско-наладочных работ.

Рекуперативные горелки REKUMAT.

При модернизации стенда значимым является вопрос о наиболее благоприятном расположении горелок с целью равномерного распределения температуры. Для увеличения конвекции при прямом нагреве импульс пламени преобразуется в энергию потока, для чего наиболее приемлемым является, как правило, тангенциальное обтекание полезного пространства.

Для снижения пика температур в пламени требуется определенная длина потока в отношении к диаметру сопел горелки, чтобы избежать высокотемпературных перегревов или же температурных пятен на противоположной стенке. Длина струи должна быть в 50 раз больше диаметра горелки. Проточные каналы также должны обладать достаточными размерами, чтобы тепловой поток смог полностью покрыть полезное пространство.

Данная взаимосвязь четко показывает, что при высоких требованиях к равномерности температуры в печи, подача энергии в печь должна быть распределена между как можно большим количеством горелок. Это значит увеличение пространства нагрева, однако соответственно увеличиваются расходы на строительные работы и потери вследствие большей теплоотдачи стен печи.

Подвод энергии полностью достигается с помощью тактового или кругового управления. Время горения 10 с является типичным для такого

рода управления. Для систем нагрева необходимо достаточное количество горелок, в особенности, если регулировочное число велико и из-за давления в печи необходима постоянная работа минимум одной горелки. При управлении вкл./выкл., которое используется в стенде термообработки, трубная разводка становится проще, чем при пропорциональном зональном управлении. Поток газа, сжигаемого воздуха и отходящего газа настраивается на каждой горелке на единственно возможную оптимальную рабочую точку. Для достижения наилучших результатов работы управления вкл./выкл. в систему включается многоуровневая система управления промышленных печей.

Хотя избыток воздуха у рекуперативных горелок из-за низкой температуры отходящего газа не так сильно влияет на потери, необходимо в процессе монтажа и настройки стенда удерживать смесь в узком диапазоне с отклонением до 10%. Так как сопротивление рекуператора изменяется вместе с температурой предварительного нагрева, обычная регулировка для постоянного давления здесь неприменима. Пневматическая регулировка соотношения может держать постоянной смесь, а не потоки. При пуске при холодной горелке они становятся максимальными, что нежелательно для стабильности сгорания. Регулировка соотношения применяется при пропорциональном управлении зонами, но для каждой отдельной горелки это очень проблематично.

При регулировании потоки газа, равно как и воздуха, удерживаются в рабочей точке постоянными по отдельности с помощью регулятора разности давления. Колебания давлений в сети, которые неизбежны из-за конструктивной формы вентилятора или системы трубопроводов, компенсируются на каждой горелке, равно как и колебания встречного давления в рекуператоре, печи или системе отвода дымовых газов.

Дымовые газы отсасываются с помощью воздушного потока через каждую горелку, для чего к эдуктору подводится воздух по объему до 1,5 раз больше, чем объем воздуха для горения. Тепло отходящего газа используется

для отопления пространства вокруг стенда термической обработки. С помощью давления отсоса регулируется давление в печи. Настройка рециркуляции отходящего газа каждой горелки не оказывает большого воздействия на рекуперацию тепла. Пламя остается стабильным также при большом избытке воздуха, таким образом, импульс горелки в печи остается сохраненным при умеренных затратах, так как воздух на горение предварительно сильно нагревается.

Многоуровневая система управления промышленных печей.

Система управления является технически сложным устройством, в состав которой входит контроллер управления. Перед монтажом оборудования оператор обязан ознакомиться с руководством оператора и техническим паспортом. Перед монтажом нужно подготовить рабочее место оператора, в соответствии с техническими требованиями, изложенными в технической документации на систему управления.

Монтаж и запуск в эксплуатацию многоуровневой системы управления промышленных печей заключается в выполнении следующей последовательности обобщенных операций:

- распаковка и проверка комплектности, согласно предоставленной технической документации;
- установка шкафа управления;
- устройство кабель-каналов, прокладка коммуникационных и силовых кабелей;
- подключение датчиков температуры;
- подключение датчиков давления;
- подключение пусковых устройств рекуперативных горелок;
- запуск диагностической программы управляющего контроллера Siemens;
- настройка выходных данных информационного табло контроллера;
- установка управляющих коэффициентов системы регулирования;
- выполнение калибровочных процедур для измерительных датчиков;

- проведение тестового запуска каждой из зон нагрева;
- корректировка (при необходимости) управляющих коэффициентов по результатам показаний поверочных датчиков.

Результаты и выводы раздела

В соответствии с п. 3.26 ПГ и п. 3.62 ТЗ Индустриальным партнером проведен монтаж и пуско-наладочные работы на приобретенном для выполнения ПНИЭР оборудовании. По результатам составлен Акт монтажа и наладки оборудования (Приложение В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ПНИЭР «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» были осуществлены следующие работы, призванные продемонстрировать полноту решения поставленных перед ПНИЭР задач и указывающие на перспективы использования разработанных технических решений в реальном секторе машиностроения.

Было осуществлено изготовление экспериментальных образцов iPoRTH. По результатам исследовательских испытаний в лабораторных и полевых условиях была скорректирована ЭКД.

Завершилась разработка встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи, и было произведено тестирование работоспособности данного модуля в составе модуля оперативного контроля iPoRTH. Испытание модуля осуществлялось в соответствии с разработанной Программой и методикой испытаний встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи. Проведенное испытание встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи продемонстрировало работоспособность всей измерительной системы в целом. Таким образом показано, что модуль оперативного контроля iPoRTH может функционировать как в проводном, так и беспроводном режиме, что существенно расширяет возможности его применения, как в условиях заводской лаборатории, так и в полевых условиях.

Разработанное пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений продемонстрировало высокий уровень надежности и устойчивости по отношению к качеству входных экспериментальных данных о кривых нагрузка-глубина погружения индентора. Созданный интерфейс проведения

измерений, обработки данных и администрирования оказался удобен в использовании и доступен операторам, не являющимся специалистами в области компьютерных технологий.

Разработанные Программы и методики испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений были реализованы в полном объеме и продемонстрировали свою эффективность при тестировании роботизированного комплекса для контроля механических свойств металлических изделий.

Проведенное испытание пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений показало его пригодность для работы, как в ручном, так и автоматическом режиме измерений.

Экспериментальное исследование методики измерения площади отпечатка с использованием информации о контактном электрическом сопротивлении и данных оптической конфокальной микроскопии показало более высокую точность в определении площади отпечатка для оптических методов. Данные о контактном электрическом сопротивлении оказались более критичны к качеству обработки тестируемой поверхности и степени окисления тестируемого материала. Возникающая при электрических измерениях систематическая ошибка не позволяет рекомендовать данный метод в качестве единственного метода контроля площади отпечатка. Обязательным условием его использования является интеграция получаемых данных с характеристиками, диагностируемыми другими методами, в том числе методами конфокальной оптической микроскопии.

Проведенное экспериментальное исследование методики измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности с использованием конфокальной оптической микроскопии продемонстрировало высокую эффективность, быстрдействие и достоверность получаемых данных о форме тестируемой поверхности и ее шероховатости.

Исследовательские испытания экспериментальных образцов iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях показали высокую информативность получаемых данных и хорошую воспроизводимость измеряемых величин.

Произведенная корректировка технической документации на экспериментальный образец iPoRTH и измерительные методики по результатам испытаний позволили повысить технологичность изготовления iPoRTH и достоверность информации о механических свойствах тестируемых изделий.

Осуществленная разработка руководства по эксплуатации экспериментального образца iPoRTH и проведенное тестирование степени подробности руководства по эксплуатации продемонстрировали адекватность подготовленного документа требованиям со стороны оператора, осуществляющего эксплуатацию iPoRTH.

Оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИЭР показала полное соответствие поставленных целей и достигнутых результатов. Сравнение с современным научно-техническим уровнем и оценка эффективности примененных решений продемонстрировали соответствие результатов ПНИЭР современному уровню развития науки и техники. Подтверждением этого являются успешные выступления на международных конференциях, публикации в ведущих журналах и полученные охранные документы, подтверждающие результаты интеллектуальной деятельности. В ходе проекта в целом, подано две заявки на изобретение и зарегистрировано три программы для ЭВМ.

В процессе разработки проекта технического задания на проведение ОКР, посвященной созданию промышленных образцов индентационного модуля и модуля оперативного контроля iPoRTH, определены наиболее существенные особенности создаваемого оборудования, определяющие его

высокие эксплуатационные качества и конкурентные преимущества в сравнении с зарубежными аналогами.

Патентные исследования, проведенные на данном этапе работ, позволили определить нуждающиеся в патентной защите результаты интеллектуальной деятельности и позволили подать одну заявку на изобретение.

В соответствии с разработанной «Программой и методикой проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях» было проведено широкомасштабное исследование технических характеристик разработанного оборудования и программного обеспечения, осуществляющего измерение и обработку получаемых при тестировании данных.

Проведенная индустриальным партнером модернизация стенда для термической обработки образцов труб позволила повысить производительность труда и расширить технологические возможности стенда в части способов термической обработки полых заготовок. На модернизированном стенде были изготовлены все необходимые для тестирования рабочих модулей iPoRTH образцы заготовок.

Изготовленные индустриальным партнером модельные тестовые образцы полых литых заготовок, прошедшие механическую и термическую обработку с целью модификации их свойств, были подвергнуты всестороннему исследованию их механических свойств и геометрических характеристик поверхности. Изготовленные образцы термически обработанных труб продемонстрировали высокие прочностные характеристики, соответствующие предусмотренным технологическим процессом механическим свойствам, возникающим в процессе термической и механической обработки. Полученные данные подтвердили возможность неразрушающего контроля механических свойств материалов методами

инструментального индентирования пирамидальными и сферическими инденторами.

Проведенная оценка РИД, полученных при выполнении ПНИЭР, продемонстрировала высокий научно-технический уровень проведенных исследований и их соответствие мировым тенденциям развития методов неразрушающего контроля изделий, изменяющих свои свойства в ходе термической обработки и последующей эксплуатации.

Разработанная Программа и методика проведения исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях прошла экспертную оценку и была полностью реализована при проведении исследовательских испытаний.

Исследовательские испытания экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях продемонстрировали работоспособность всех модулей в полевых условиях и соответствие получаемых данных данным, полученным в лабораторных условиях. Результаты испытаний отражены в соответствующих протоколах.

Проведенные маркетинговые исследования показали актуальность данной разработки и ее конкурентоспособность по сравнению с зарубежными аналогами. Детальный анализ ситуации на рынке приборостроения для неразрушающего контроля механических и геометрических свойств крупногабаритных изделий продемонстрировал наличие потребности в таких измерениях. При этом на сегодня она не обеспечена в полной мере имеющимся в продаже оборудованием.

Были разработаны рекомендации по использованию результатов ПНИЭР в реальном секторе экономики и проведена оценка потребности промышленности в портативном роботизированном твердомере. Подготовлены рекомендации по продвижению индентационного модуля iPoRTH и модуля оперативного контроля iPoRTH. По количественным показателям возможный рынок модуля оперативного контроля iPoRTH на порядок превосходит рынок индентационных модулей iPoRTH. В денежном

исчислении эти рынки примерно одинаковы, учитывая большую цену индентационного модуля в сравнении с модулем оперативного контроля.

Все оборудование, комплектующие и материалы, необходимые для выполнения ПНИЭР были приобретены в полном объеме и в установленные сроки. Монтаж, пуско-наладочные работы на оборудовании, необходимом для выполнения ПНИЭР, были проведены в сроки, предусмотренные План-графиком, и позволили, выполнить исследовательские испытания в полном объеме.

Полученные в ходе выполнения ПНИЭР «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» научные результаты и опыт позволяют научному коллективу, выполнявшему данную работу, перейти к этапу ОКР и заняться изготовлением роботизированных модулей iPoRTH, адаптированных под задачи конкретных заказчиков.

Задачи, поставленные на отчетном периоде, решены в полном объеме в соответствии с Техническим заданием и Планом-графиком, все работы выполнены на должном уровне.

Информация о ходе выполнения ПНИЭР и основных результатах, полученных при выполнении проекта, размещена в Интернет на веб-сайте ФГБНУ ТИСНУМ по адресу <http://www.tisncm/fcp.html>.

По результатам выполнения работ третьего этапа были достигнуты следующие индикаторы и показатели:

| № п/п | Наименование | Единица измерения | Значение |
|-------|--|-------------------|----------|
| 1 | Число публикаций по результатам проекта в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science), обеспечивающем продвижение результатов проекта и расширение круга заинтересованных в использовании результатов организаций, не менее | единиц | 4 |
| 2 | Число результатов интеллектуальной деятельности и средств индивидуализации, планируемых к получению при выполнении ГНИЭР и обеспечивающих возможность получателю субсидии и (или) промышленному партнёру исключительного положения на рынках продукции (товаров, услуг) и (или) технологий, в том числе рынках Национальной технологической инициативы | единиц | 1 |
| 3 | Число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок, не менее | единиц | 3 |
| 4 | Доля исследователей в возрасте до 39 лет в общей численности исследователей - участников проекта, не менее | процентов | 52,6 |
| 5 | Объем привлеченных внебюджетных средств | Млн. руб. | 52,5 |
| 6 | Средний возраст исследователей – участников проекта, не более | лет | 38,6 |
| 7 | Количество мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, в которых приняла участие и представила результаты проекта организация - исполнитель проекта, не менее результатов проекта организация - исполнитель проекта, не менее | единиц | 3 |
| 8 | Ожидаемая аудитория мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, на которых представлены результаты проекта, не менее | человек | 2619 |
| 9 | Ожидаемая интернет-аудитория мероприятий по демонстрации и популяризации результатов и достижений науки, на которых представлены результаты проекта, не менее | пользователей | 1821 |
| 10 | Число диссертаций на соискание ученых степеней, защищенных по результатам исследований и разработок | единиц | 1 |
| 11 | Количество использованных при проведении исследований и разработок в рамках проекта уникальных научных установок и центров коллективного пользования научным оборудованием, научное оборудование которых использовалось при проведении исследований и разработок в рамках проекта | единиц | 2 |
| 12 | Количество используемых при проведении исследований и разработок объектов зарубежной инфраструктуры сектора исследований и разработок | единиц | 0 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Holm R. Electric contacts. Fourth. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981.
2. Greenwood J.A. Constriction resistance and the real area of contact // Br. J. Appl. Phys. 1966. Vol. 17, № 12. P. 1621–1632.
3. <http://www.radiomexanik.spb.ru/7.-izmeritelnyie-priboryi/9.-chetyirehprovodnoe-izmerenie-soprotivleniya-metodom-kelvina.html> [Electronic resource].
4. Taljat B., Pharr G.M. Development of pile-up during spherical indentation of elastic-plastic solids // Int. J. Solids Struct. 2004. Vol. 41, № 14. P. 3891–3904.
5. Maslenikov I.I., Popkov D.O. A numerical investigation of material's stresses near the contact edge of a spherical indentation // Mater. Today Proc. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 5, № 12. P. 26078–26083.
6. Lee H., Haeng Lee J., Pharr G.M. A numerical approach to spherical indentation techniques for material property evaluation // J. Mech. Phys. Solids. 2005. Vol. 53, № 9. P. 2037–2069.
7. ISO 11562 1996 Geometrical Product Specification (GPS) – surface Texture: Profile method – Metrological characteristics of phase correct filters.
8. Lindeberg T. Scale-Space for Discrete Signals // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1990. Vol. 12, № 3. P. 234–254.
9. Maslenikov I.I. et al. Statistics-Based Correction to Measurements of Hardness of Rough Surfaces by Instrumented Indentation // Phys. SOLID STATE. PLEIADES PUBLISHING INC, MOSCOW, 00000, RUSSIA: PLEIADES PUBLISHING INC, 2018. Vol. 60, № 11. P. 2259–2263.
10. Kim J.-Y. et al. Surface roughness effect in instrumented indentation: A simple contact depth model and its verification // J. Mater. Res. 2006. Vol. 21, № 12. P. 2975–2978.
11. ГОСТ Р 8.748-2011 (ИСО 14577-1:2002) ГСИ. Металлы и сплавы. Измерение твердости и других характеристик материалов при инструментальном индентировании. Часть 1. Метод испытаний.
12. BS EN ISO 14577: 2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters.
13. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. 1992. Vol. 7, № 6. P. 1564B1583.
14. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. 2004. Vol. 19, № 1. P. 3–20.

15. <http://nanoscan.info/> [Electronic resource].
16. <https://www.arttool.ru/catalog/equipment/nanotverdomery/> [Electronic resource].
17. <http://nanoscan.info/nashi-partnery> [Electronic resource].
18. Maslenikov I.I., Reshetov V.N., Useinov A.S. Raman Spectroscopy through the Indenter Working as an Optical Objective // Mater. Trans. 2019. Vol. 60, № 8. P. 1433–1435.
19. Маслеников И.И. et al. Индентор-объектив: пат. 2 680 853 USA. Россия, 2018.
20. <http://nanoscan.info/indenter-obektiv> [Electronic resource].
21. <https://www.bergeng.com/product/SONODUR3.html> [Electronic resource].
22. <https://irss.ca/product/uci-3000-ultrasonic-portable-hardness-tester/> [Electronic resource].
23. <https://www.accusizetools.com/phase-ii-portable-ultrasonic-hardness-tester-w-10kg-probe-manual-pht-6010/> [Electronic resource].
24. <https://www.geo-ndt.ru/pribor-534-tverdomer-tiv.htm> [Electronic resource].
25. <http://www.digitalhardnesstesters.com/sale-9481765-automatic-loading-portable-hardness-tester-pot-portable-vicker-durometer.html> [Electronic resource].
26. <http://digitalhardnesstesters.sell.everychina.com/p-106993338-manual-loading-portable-hardness-tester-durometer-tester-100-hv-1000-hv.html> [Electronic resource].
27. <http://www.tcontrol.ro/Content/prospecte/HardnessGuide.pdf> [Electronic resource].
28. <http://novotest.biz/how-to-choose-the-hardness-tester/> [Electronic resource].
29. <https://www.samruddhi-industries.com/hardness-testing-machine.html> [Electronic resource].
30. <http://www.tverdomer.ru/price/> [Electronic resource].
31. <http://abiservices-usa.com/ssm-mobile-1> [Electronic resource].
32. <https://static1.squarespace.com/static/514c9dcde4b0b45af33e225b/t/5cbe5f65652dea24f3a98c8d/1555980135358/Model+SSM-Mobile+Specifications.pdf> [Electronic resource].
33. <https://www.gruppofrattura.it/ocs/index.php/ICF/ICF12/paper/download/2376/9158> [Electronic resource].
34. https://www.researchgate.net/publication/307466320_In-Situ_Automated_Ball_IndentationR_ABIR_Testing_of_A350_Steel_Flanges_at_Ambient_Temperature_for_Offshore_Qualifications_at_-46C_-50F

- [Electronic resource].
35. http://mpt2010.in/download/Tech_HB/files/assets/downloads/page0037.pdf [Electronic resource].
 36. https://www.ppuritech.re.kr/popup/info_equipment.php?seq=106 [Electronic resource].
 37. <http://www.robotest.ru/www.shtml?index=2-1> [Electronic resource].
 38. <https://zakupki.kontur.ru/0307100000411000031> [Electronic resource].
 39. <https://www.industryarc.com/Report/15297/material-testing-equipment-market.html> [Electronic resource].
 40. https://www.mts.com/cs/groups/public/documents/corporatedocuments/dev_004099.pdf [Electronic resource].
 41. http://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NASDAQ_MTSC_2018.pdf [Electronic resource].
 42. <http://www.gosreports.com/global-leeb-hardness-tester-market-worth-159-million-by-2018/> [Electronic resource].
 43. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ultrasonic-ndt-testing-equipment-market> [Electronic resource].
 44. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-non-destructive-testing-market-industry> [Electronic resource].
 45. <http://www.chroniclevoice.com/portable-hardness-tester-market-size-business-overview-status-and-prospect-forecast-2019-2026/> [Electronic resource].
 46. <https://www.proaxivereports.com/global-portable-hardness-testers-market-report-2018/106-48796> [Electronic resource].
 47. <https://marketersmedia.com/hardness-tester-market-2017-global-key-players-trends-share-industry-size-growth-opportunities-forecast-to-2022/252442> [Electronic resource].
 48. <http://www.dtec-ndt.com/html/non-destructive-testing-equipment-and-services-market-688-billion-by-2020-24.html> [Electronic resource].
 49. http://www.jobkorea.co.kr/recruit/Co_Read/C/frontics80?Oem_Code=C164 [Electronic resource].
 50. <http://www.frontics.com/about/company#performance> [Electronic resource].
 51. <http://www.frontics.com/products/ais> [Electronic resource].

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

УДК 531.7; 620.17.08

ВГК ОКП 39 7290 7

№ Госрегистрации _____

Инв. № 251

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«31» декабря 2019 г.

М.П.

ОТЧЕТ

О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАЗРАБОТКАХ

«Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» по теме: «Изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов приборов iPoRTH.

Оценка результатов исследований»
(заключительный)

Этап третий

Соглашение о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г.
№ 14.577.21.0274

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»
Приоритетное направление «Индустрия наносистем»

Часть 2 ПРИЛОЖЕНИЯ

Руководитель работ,
Заведующий отделом исследования
физико-механических свойств
ФГБНУ ТИСНУМ, к.ф.-м.н.

 / А.С. Усеинов

г. Москва, г. Троицк 2019

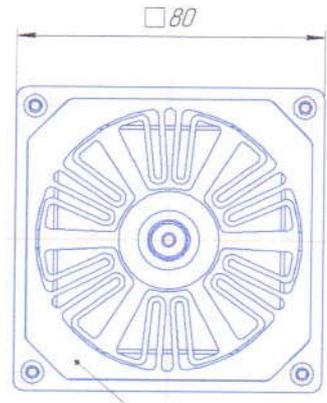
ПРИЛОЖЕНИЕ А

СКОРРЕКТИРОВАННАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ iPORTH

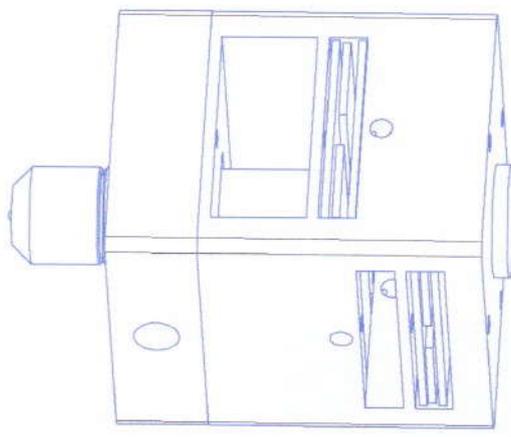
- Схема деления структурная модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 E1;
- Чертеж общего вида модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 BO;
- Схема электрическая функциональная модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 Э2;
- Перечень элементов схемы электрической функциональной модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 ПЭ Э2;
- Чертеж Корпус-основание ЭД.iPoRTH.МИИ-1.001;
- Чертеж Пластина подвижная1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.002;
- Чертеж Пластина подвижная2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.003;
- Чертеж Пластина верхняя ЭД.iPoRTH.МИИ-1.004;
- Чертеж Стенка боковая1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.005;
- Чертеж Стенка боковая2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.006;
- Чертеж Стенка боковая ЭД.iPoRTH.МИИ-1.007;
- Чертеж Крышка ЭД.iPoRTH.МИИ-1.008;
- Чертеж Стакан ЭД.iPoRTH.МИИ-1.009;
- Чертеж Муфта ЭД.iPoRTH.МИИ-1.010;
- Чертеж Вал направляющий ЭД.iPoRTH.МИИ-1.011;
- Чертеж Винт трапецеидальный ЭД.iPoRTH.МИИ-1.012;
- Схема электрическая функциональная модуля беспроводной цифровой связи ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000 Э2;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.МИИ МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Микроскоп МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Профилومتر МЭ.

Датчик

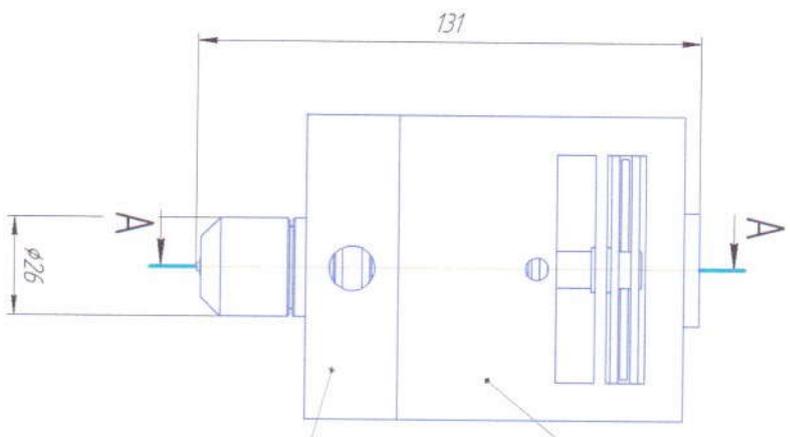
Внешний вид датчика



Мембрана



131



Корпус датчика силы

Пластина емкостная
подвижная

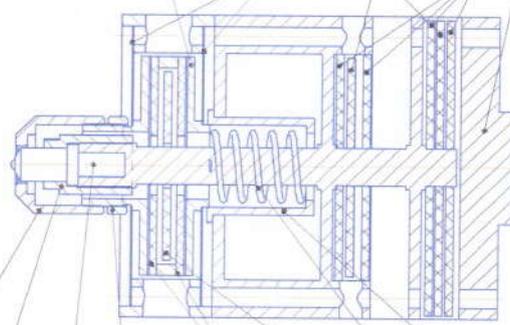
Пластина емкостная
неподвижная

Мембрана

Корпус датчика
перемещения

Корпус мембран

A-A(1:1)



Стакан

Пружина сжатия

Пластина емкостная
неподвижная

Пластина емкостная
подвижная

Контргайка

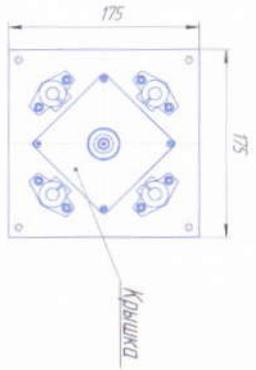
Наконечник индентрирующий

Гайка наклонная

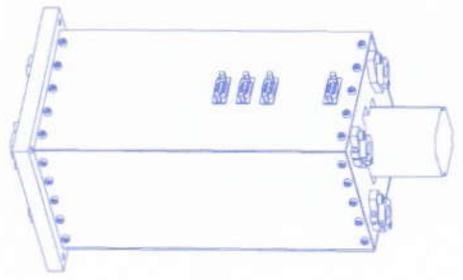
Гайка упорная

| | | | | | | |
|--------|-------|------|--------------|--------|-------|------|
| Изм. № | Подп. | Дата | Взам. изм. № | Изм. № | Подп. | Дата |
|--------|-------|------|--------------|--------|-------|------|

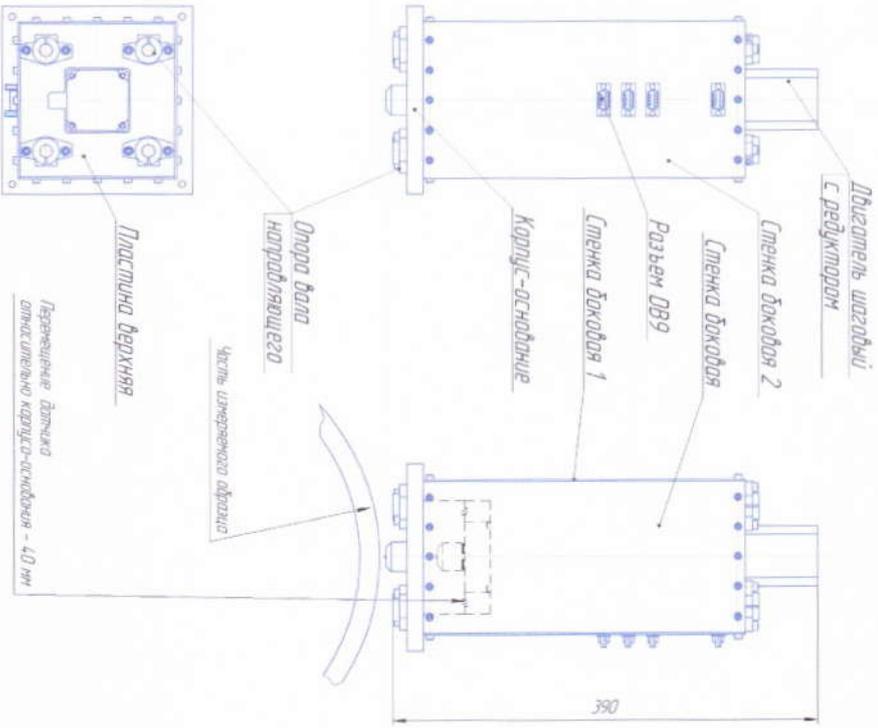
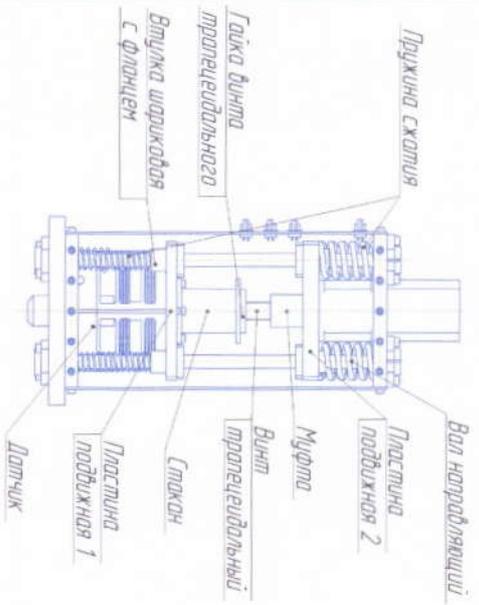
| | | | | | | |
|-----------------------|-------|------|--------------|--------|-------|------|
| Изм. № | Подп. | Дата | Взам. изм. № | Изм. № | Подп. | Дата |
| ЭД.Р.ОРТН.МИИ-1000.В0 | | | | | | |
| Лист | | | | | | 2 |



Внешний вид модуля измерительного идентификационного



На виде схема датчиков не показана



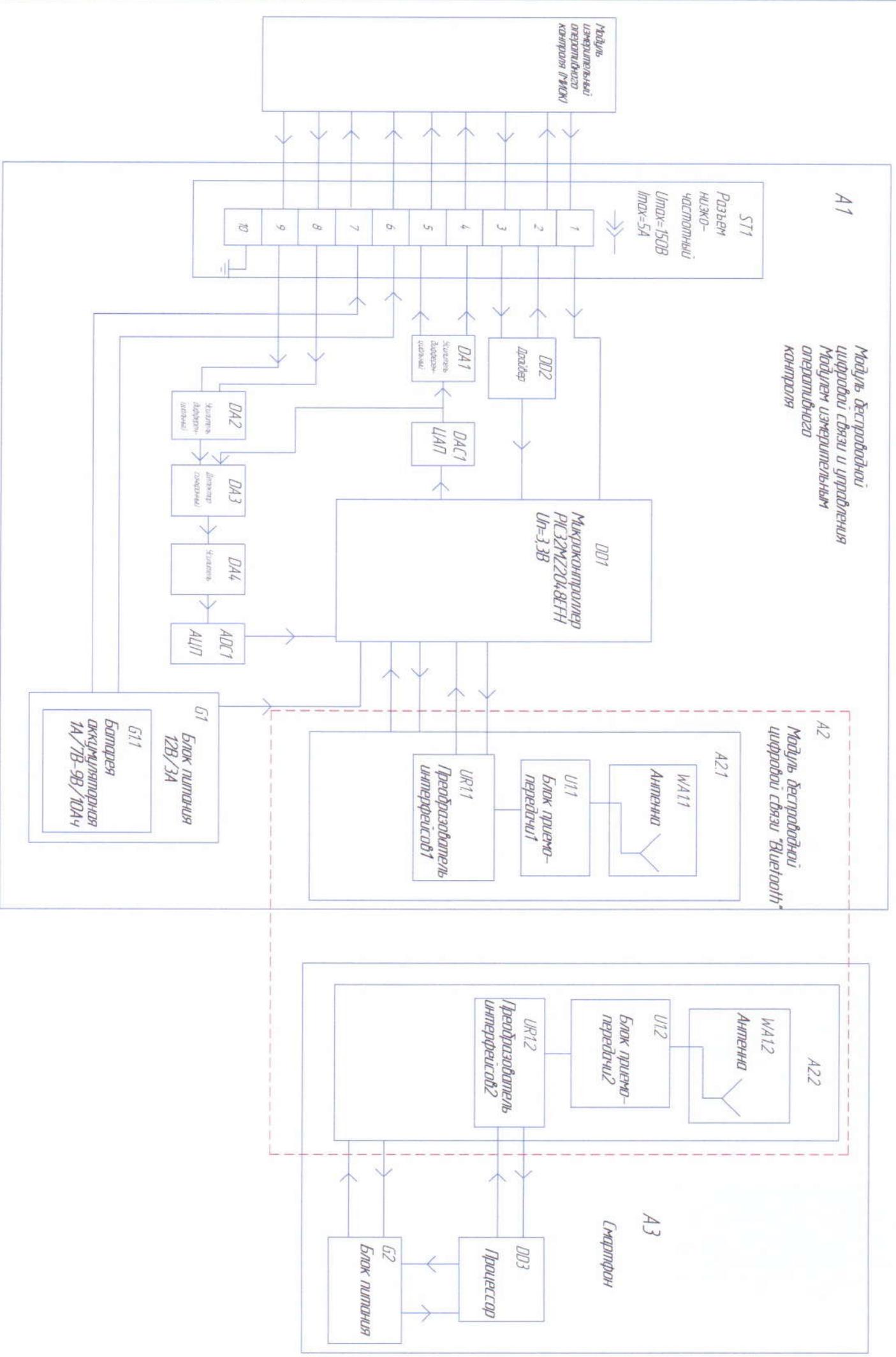
Техническая характеристика

| | |
|---|--|
| Рабочие условия предельные измеренный | Температура воздуха -10 °С до +30 °С Амплитудное давление от 700 до 760 мм рт.ст. Увлажнительная влажность от 20% до 80% Импульсный ток в электрическом и выключенном состоянии в диапазоне частот от 1 Гц до 100 Гц по диаметру конденсатора не более 10 мкФ |
| Тип монтажного идентификационного для подключения измеренный | Сварочные или сварочные (флюсованные или без) датчики идентификационного корпуса-основания от 300 мм до 2,5 мм |
| Цифровой измерительный датчик | предельный |
| Диапазон измеренных значений подвижной части от с погрешностью ±0,1 х 0, -20МПа | от 0,1 до 15 МПа |
| Диапазон измеренных значений коэффициента деформации от 0,01 х 0, -20МПа с погрешностью ±0,1 х 0, -20МПа | от 0,5 до 15 МПа |
| Диапазон измеренных значений идентификационного датчика от 1 мм до 1 мм с погрешностью ±0,1 х 0, -0,5 мм | от 1 мм до 1 мм |
| Диапазон нагрузок Р, прикладываемых к поверхности образца в режиме измерения нагрузки-идентификационной с погрешностью ±0,1 х 0, -0,5 Н | от 1 Н до 3000 Н |
| Диапазон нагрузочных характеристик в области контакта с образцом не более 100 мН | от -2 В до 2 В не менее 100 мА |
| Время проведения измеренного измеренный | от 10 с до 300 с |
| Вес, не более | 5 кг |

Чертеж разработать совместно с соответствующим элитным отчетом по прикладному научному исследованию экспериментальной разработки

ЭИ.Р.Г.ИИМ-1000.80

| | | | |
|---------------|----------------------|------|-----|
| Исполнитель | Модель измерительный | Лист | 125 |
| Разработчик | Идентификационный | Лист | 1 |
| Проверенный | Универсальный | Лист | 2 |
| Утвержденный | Чрезвычайно | Лист | 3 |
| Согласованный | Специальный | Лист | 4 |



| | | | | | | |
|-----|------|---------|------|-------|------------------------|------|
| ИМН | А/ОП | № докум | Лист | Штрих | ЭЭ.Р.ОРТН.МБЦС-1000 ЭЭ | Лист |
| | | | | | | |

| Перв. примен. | Справ. № | Поз. обозн. | Наименование | Кол. | Примечание |
|-------------------------------------|---|-------------|---|--|------------|
| | | A1 | Двигатель шаговый с редуктором 24В, 3000 Н | 1 | |
| B1 | Датчик силы элемента P1 | 1 | | | |
| B2 | Датчик перемещения элемента P1 | 1 | | | |
| M1 | Двигатель элемента A1 | 1 | | | |
| C1 | Преобразователь емкостной элемента B1 | 1 | | | |
| C2 | Преобразователь емкостной элемента B2 | 1 | | | |
| P1 | Модуль измерительный индентационный | 1 | | | |
| P2 | Блок управления электронный | 1 | | | |
| SA1,SA2 | Микрорелеконтактор концевой элемента A1 | 2 | | | |
| <h2>ЭД. iPORTH.MII-1.000 ПЭ Э2</h2> | | | | | |
| Изм. Лист | № докум. | Подп. | Дата | | |
| Разраб. | Мелекесова | <i>СМ</i> | 20.12.19 | | |
| Проб. | Решетов | <i>РР</i> | 20.12.19 | | |
| Н.контр. | Соловьев | <i>С</i> | 20.12.19 | | |
| Утв. | Усеинов | <i>У</i> | 20.12.19 | | |
| | | | | Твердомер портативный роботизированный (Instrumented Portable Robotic Tester for Hardness) Модуль измерительный индентационный | |
| | | | | Перечень элементов схемы электрической функциональной | |
| | | | | Лит. | Лист |
| | | | | | 1 |
| | | | | Листов | |
| | | | | 1 | |
| | | | | ФГБНУ ТИСНУМ | |

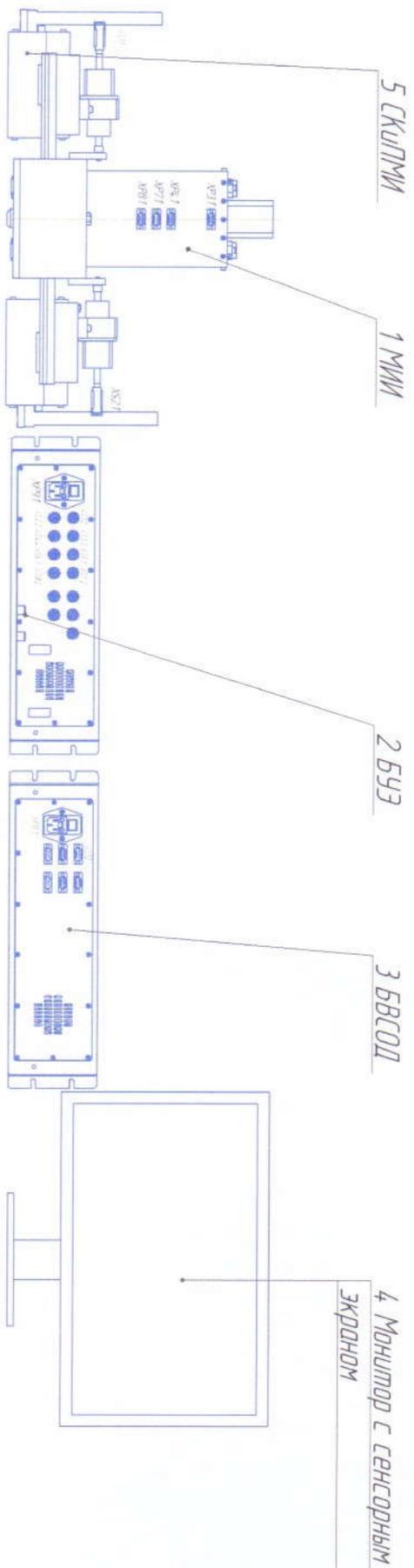


Таблица электромонтажных соединений

| Кабель-Электронический № | Комплектное решение | Разъем | Вилка | Примечание |
|--------------------------|---------------------|--------|-------|--------------------------|
| 1 | ХТ11 | XS11 | ХР11 | Длина кабеля 1,00м - БУЭ |
| | ХТ12 | XS12 | ХР12 | |
| 2 | ХТ21 | XS21 | ХР21 | Длина кабеля 1,00м - БУЭ |
| | ХТ22 | XS22 | ХР22 | |
| 3 | ХТ31 | XS31 | ХР31 | Длина кабеля 1,00м - БУЭ |
| | ХТ32 | XS32 | ХР32 | |
| 4 | ХТ4.1 | XS4.1 | ХР4.1 | 1,8м - кабель №4 |
| | ХТ4.2 | XS4.2 | | |
| 5 | ХТ4.3 | XS4.3 | | кабель №4 |
| | ХТ4.2 | | ХР4.2 | |
| 6 | ХТ5.1 | XS5.1 | ХР5.1 | кабель №5 - БУЭ |
| | ХТ4.3 | | ХР4.3 | |
| 7 | ХТ7.1 | XS7.1 | ХР7.1 | МИИ-БУЭ |
| | ХТ7.2 | XS7.2 | ХР7.2 | |

| Кабель-Электронический № | Комплектное решение | Разъем | Вилка | Примечание |
|--------------------------|---------------------|--------|--------|--------------------------|
| 8 | ХТ8.1 | XS8.1 | ХР8.1 | МИИ-БУЭ |
| | ХТ8.2 | XS8.2 | ХР8.2 | |
| 9 | ХТ9.1 | XS9.1 | ХР9.1 | Длина кабеля 1,00м - БУЭ |
| | ХТ10.1 | XS10.1 | ХР10.1 | |
| 10 | ХТ12 | XS12 | ХР12 | Длина кабеля 1,00м - БУЭ |
| | USB | | | |

Стандартный кабель монитора

ЭД.РПТ.МИИ МЭ

| Имя | Подп. | Дата | Место | Четкость |
|---------------|----------|----------|--------|----------|
| Иванов И.И. | Иванов | 15.03.19 | 158.03 | 15 |
| Петров П.П. | Петров | | | |
| Сидоров С.С. | Сидоров | | | |
| Кузнецов К.К. | Кузнецов | | | |
| Лебедев Л.Л. | Лебедев | | | |
| Землянский | | | | |

ФГБУ ТИСУМ

6 Контроллер профилометра

5 SKLPMI

1 Профилометр оптический

2 БУЭ

3 БВСОД

4 Монитор с сенсорным экраном

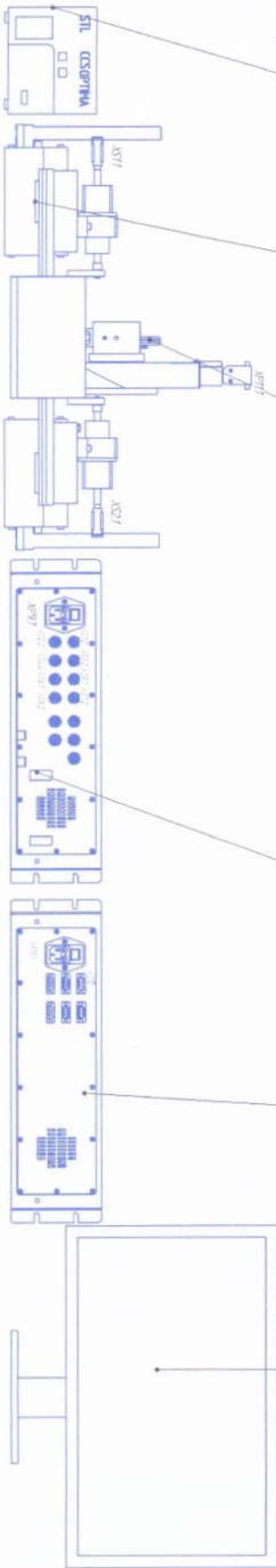
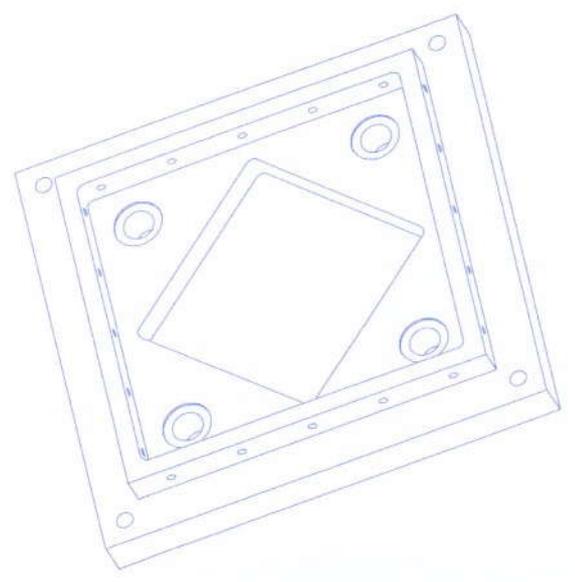
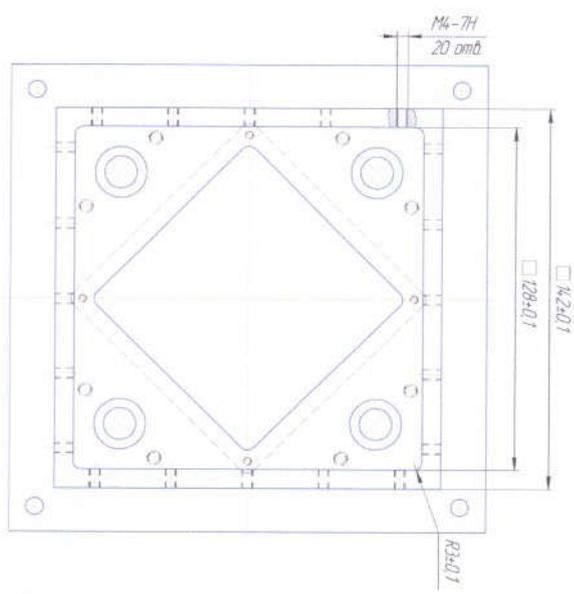
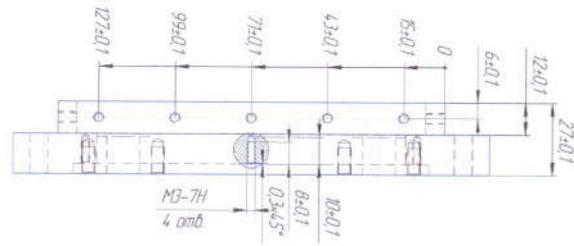
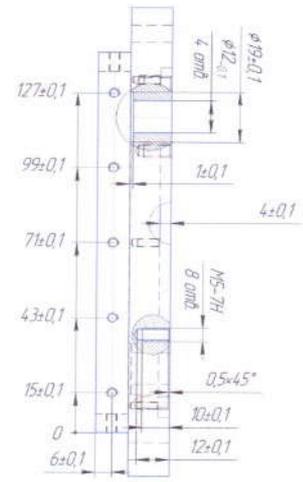
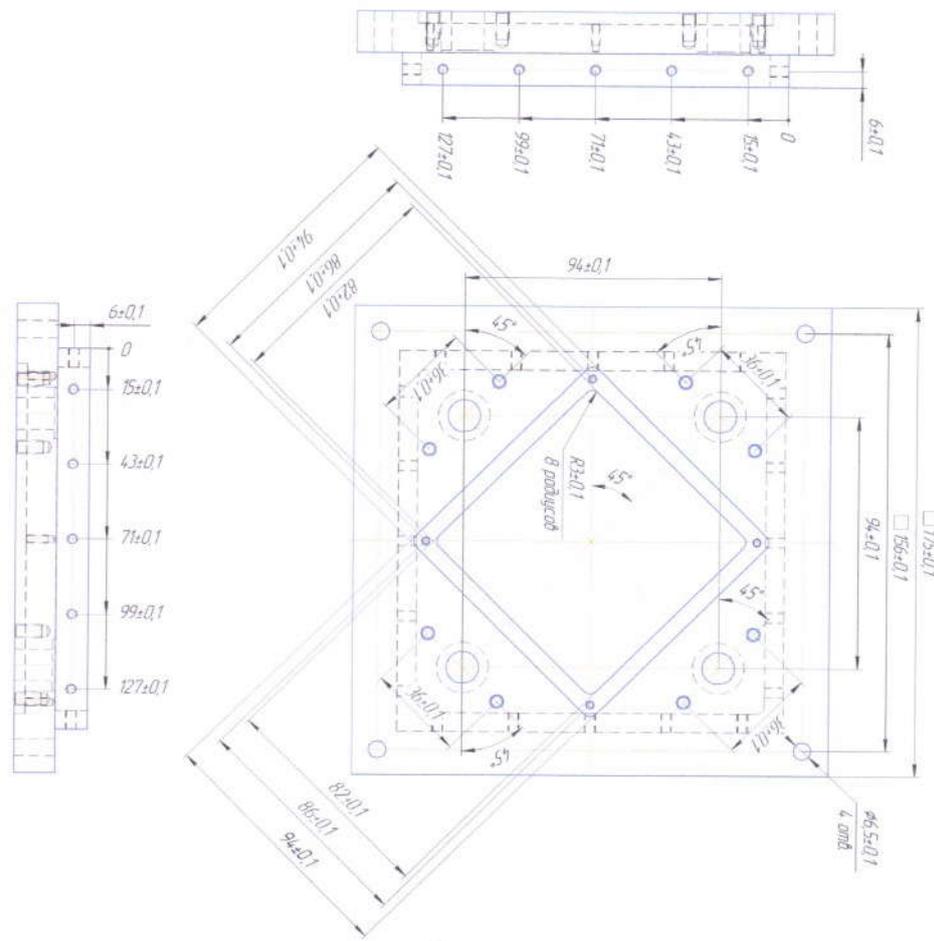


Таблица электромонтажных соединений

| Кабель элементной № | Комплекты кабельных изделий | Разъемы | Вилки | Примечание |
|---------------------|-----------------------------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | ХТ111 | XS11 по3.5 | XP11 кабель№1 | Вилка кабель 100V - 5V3 |
| | ХТ112 | XS12 по3.2 | XP12 кабель№1 | |
| 2 | ХТ21 | XS21 по3.5 | XP21 кабель№2 | Вилка кабель 100V - 5V3 |
| | ХТ22 | XS22 по3.2 | XP22 кабель№2 | |
| 11 | ХТ111 | XS111 | XP111 | Вилка кабель 220V - 5V3 |
| | ХТ112 | XS112 по3.2 | XP112 кабель№11 | |
| 9 | ХТ91 | XS91 по3.2 | XP91 по3.2 | Вилка кабель 220V - 5V3 |
| | | кабель№9 | XP9,2 кабель№9 | |
| 10 | ХТ101 | XS101 по3.3 | XP101 по3.3 | Вилка кабель 220V - 5V3 |
| | | кабель№10 | XP9,2 кабель№10 | |
| | | | | БВСОД - монитор |
| | | | | Контроллер профилометра - БУЭ |
| | | | | БВСОД - монитор |

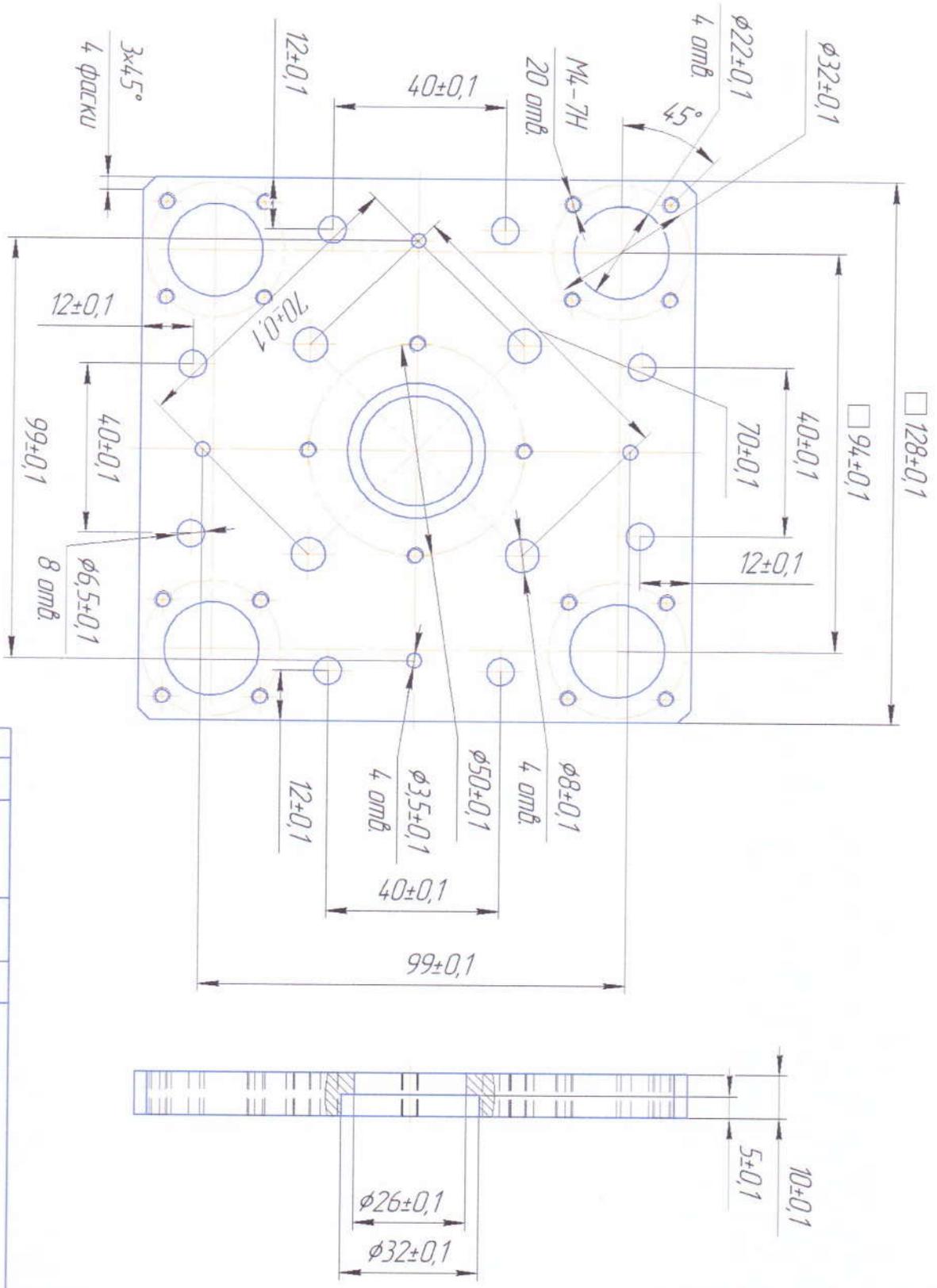
| | | | | | | | |
|-----------|----------|------|-----------|---------------------------|------|-------|---------|
| Имя / Имя | № докум. | Дата | Должность | ЭД. Портн. Профилометр МЭ | Доп. | Класс | Уровень |
| Имя / Имя | № докум. | Дата | Должность | | Доп. | Класс | Уровень |
| Имя / Имя | № докум. | Дата | Должность | Эксплуатационный чертеж | 15 | | |
| Имя / Имя | | | | Ф.И.В.Н.У.Т.И.С.И.М. | | | |



| | | | |
|----------------|-----|------|------|
| ЭЛПАРТНМН-1001 | Дат | Исте | Исте |
| 107 | 11 | | |

2001-ИИИ.НЛ.Р.01.ДЕ

3.2
√(√)



| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дцкл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|

| | | | |
|-----------|------------|-------|--------|
| Изм./Лист | № докум. | Подп. | Листов |
| Разработ | Материалов | ИИИ | 1/1 |
| Проб. | Решетов | ИИИ | 1/1 |
| Т.контр. | | | |
| Н.контр. | Соловьев | ИИИ | 1/1 |
| Смб. | Утелин | ИИИ | 1/1 |

ЭД.Р.01.НЛ.МИИ-1.002

Пластина
подвижная 1

Листов 1

Масса 0,38

Масштаб 1:1

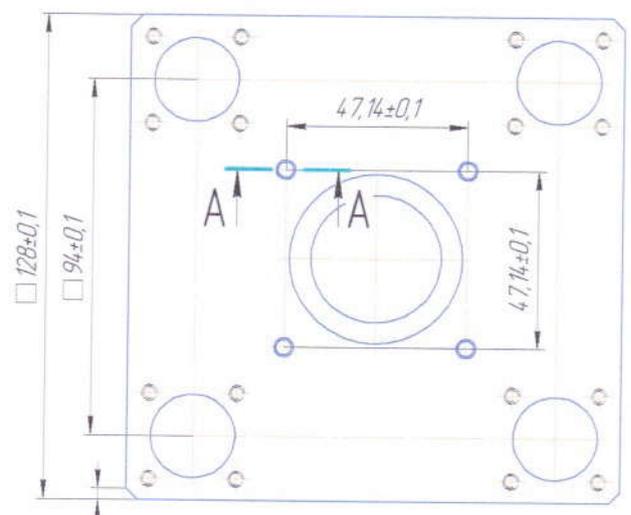
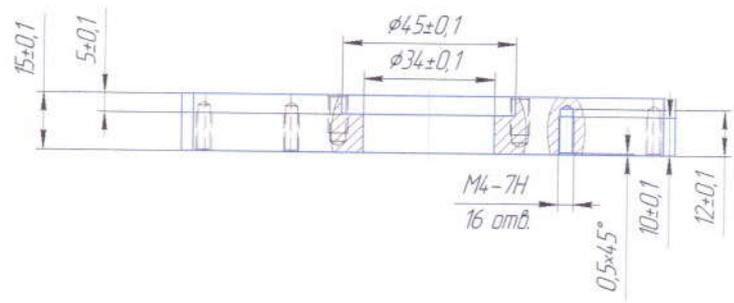
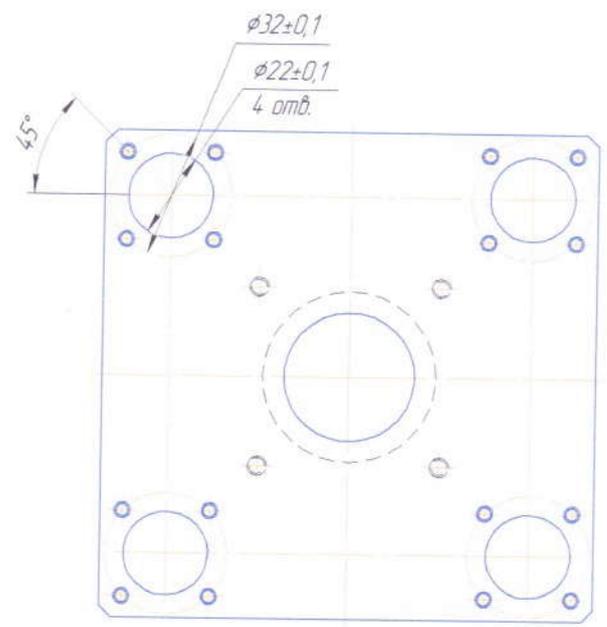
Лист 1

ФГБНУ ТИСКУМ

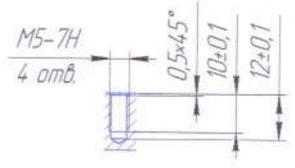
Д16 ГОСТ 4784-97

3,2 ✓(✓)

ЭД.Р0RTH.MИИ-1003



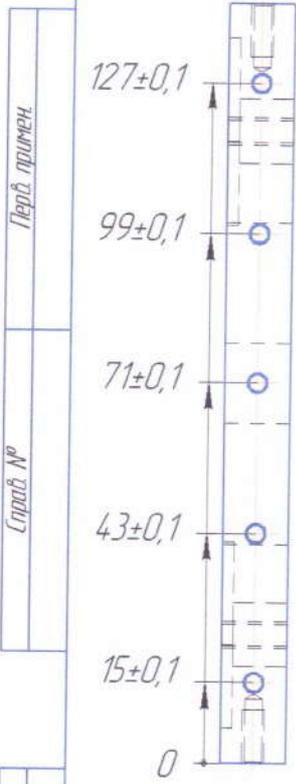
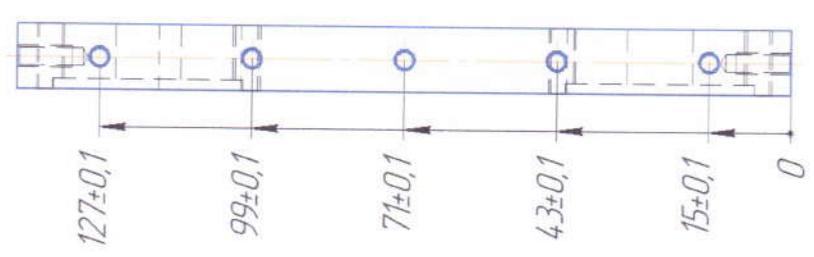
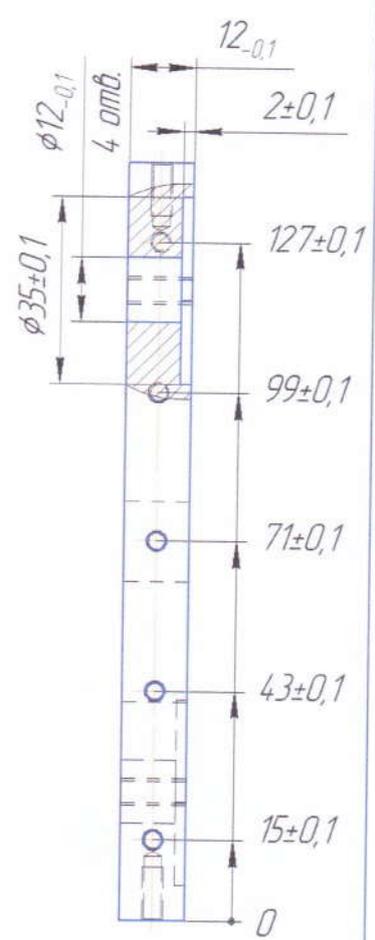
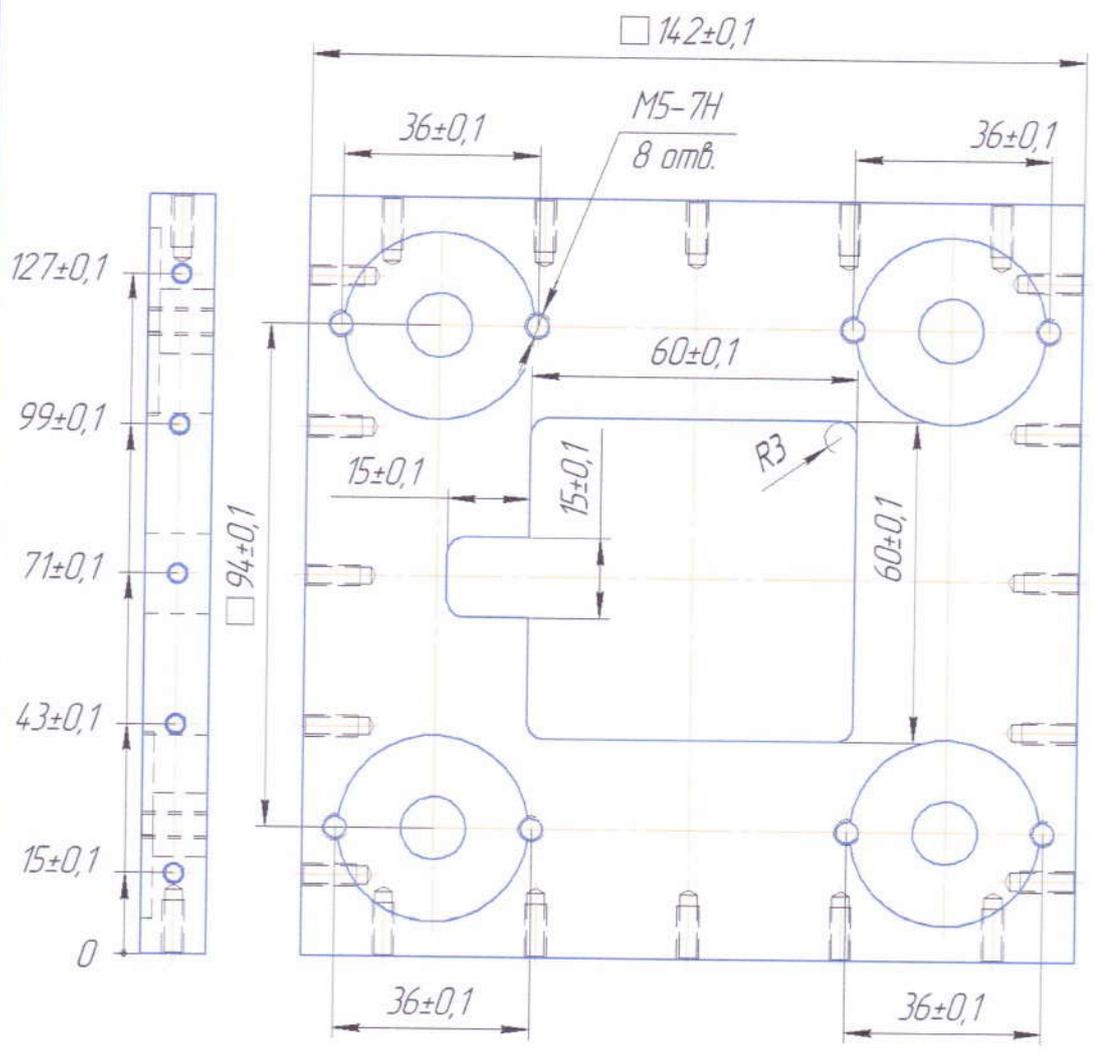
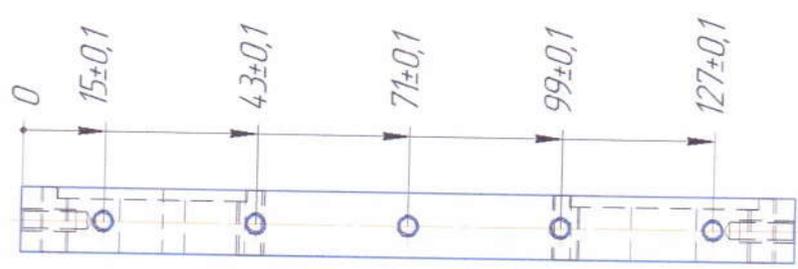
A-A(1:1)



Изм. и дата
 Разраб. №
 Провер. №
 Утверд. №
 Дата

| | | | | | | |
|-------------------|------------|-------|----------|------------------|--------|--------------|
| ЭД.Р0RTH.MИИ-1003 | | | | Лист | Масса | Масштаб |
| Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата | | 0,57 | 11 |
| Разраб. | Мелекесова | В.И. | 20.12.19 | | | |
| Провер. | Решетов | В.В. | 20.12.19 | | | |
| Утверд. | | | | | | |
| Исполн. | Соловьев | С.В. | 20.12.19 | Лист | Листов | 1 |
| Утв. | Усачева | | | Д16 ГОСТ 4784-97 | | ФГБНУ ТИСЧУМ |

3,2
✓(✓)



Перв. примен.
Старый №

Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

| | | | | | | | |
|-----------|------------|--------|----------|---------------------|------|--------------|---------|
| | | | | ЭД.ІРОРТН.МІИ-1.004 | | | |
| Изм./Лист | № док-м. | Подп. | Дата | Пластина верхняя | Лит. | Масса | Масштаб |
| Разраб. | Мелекесова | СМ | 20.12.19 | | | 0,51 | 1:1 |
| Проб. | Решетов | Р.И.И. | 01.12.19 | | Лист | Листов | 1 |
| Т.контр. | | | | | | | |
| Исполн. | Соловьев | С.С. | 20.12.19 | Д16 ГОСТ 4784-97 | | ФГБНУ ТИСЧУМ | |
| Утв. | Усенов | У.У. | 20.12.19 | | | | |

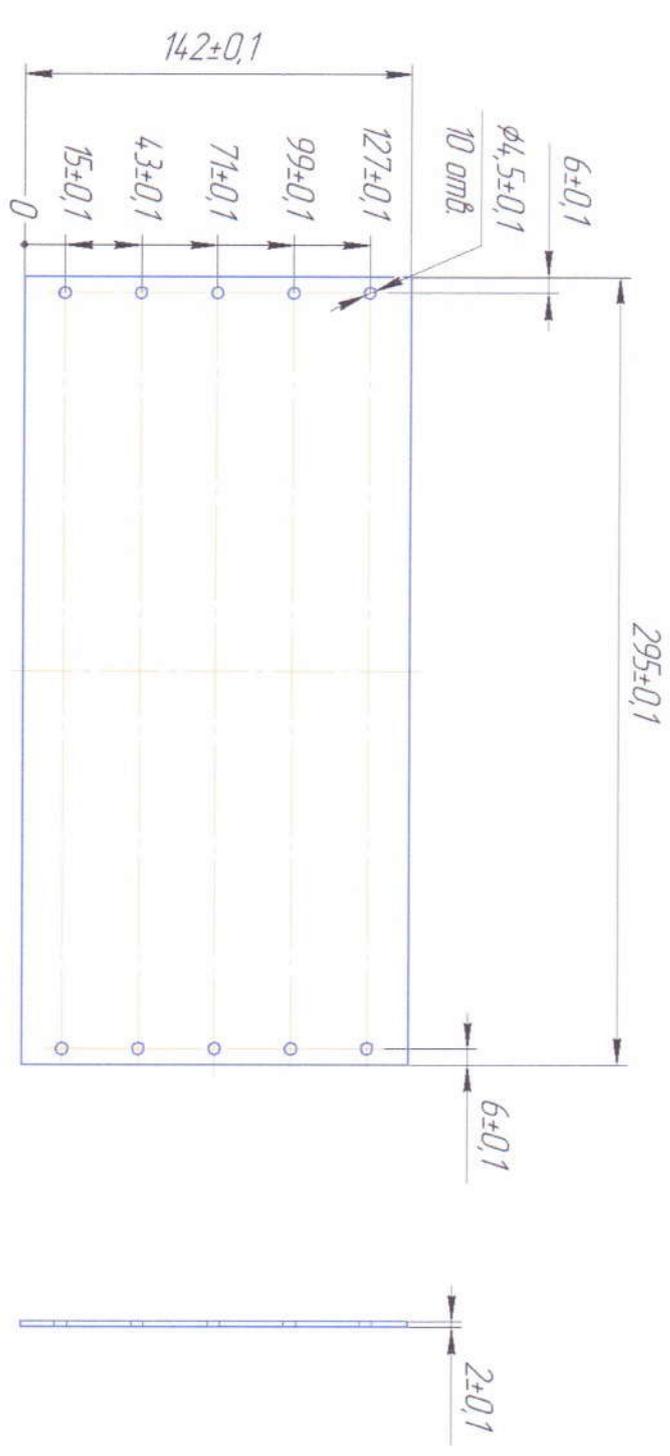


| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|

| | | | | | |
|------------------|------------|-----------|----------|------|--------------------|
| Исполн. | Соловьев | № докум. | Подп. | Дата | ЭД.ПОРТН.МИИ-1.005 |
| Разработ. | Мельникова | СЧД | Колпак | | |
| Проект. | Решетов | М.Решетов | В.Колпак | | |
| Техникр. | | | | | |
| Начальн. Упр. | Чегина | | | | |
| Д16 ГОСТ 4784-97 | | | | | Лист |
| Стенка доковая 1 | | | | | Масса |
| | | | | | 0,24 |
| | | | | | Масштаб |
| | | | | | 1:2 |
| ФГБНУ ТИИСУМ | | | | | Листов |
| | | | | | 1 |

ЭД.Р.ОРТН.МИИ-1.007

3.2
√(✓)

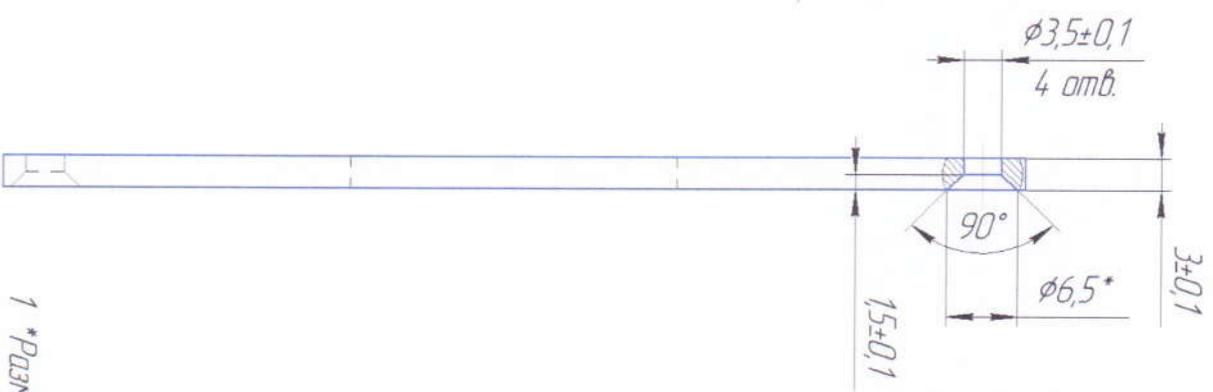
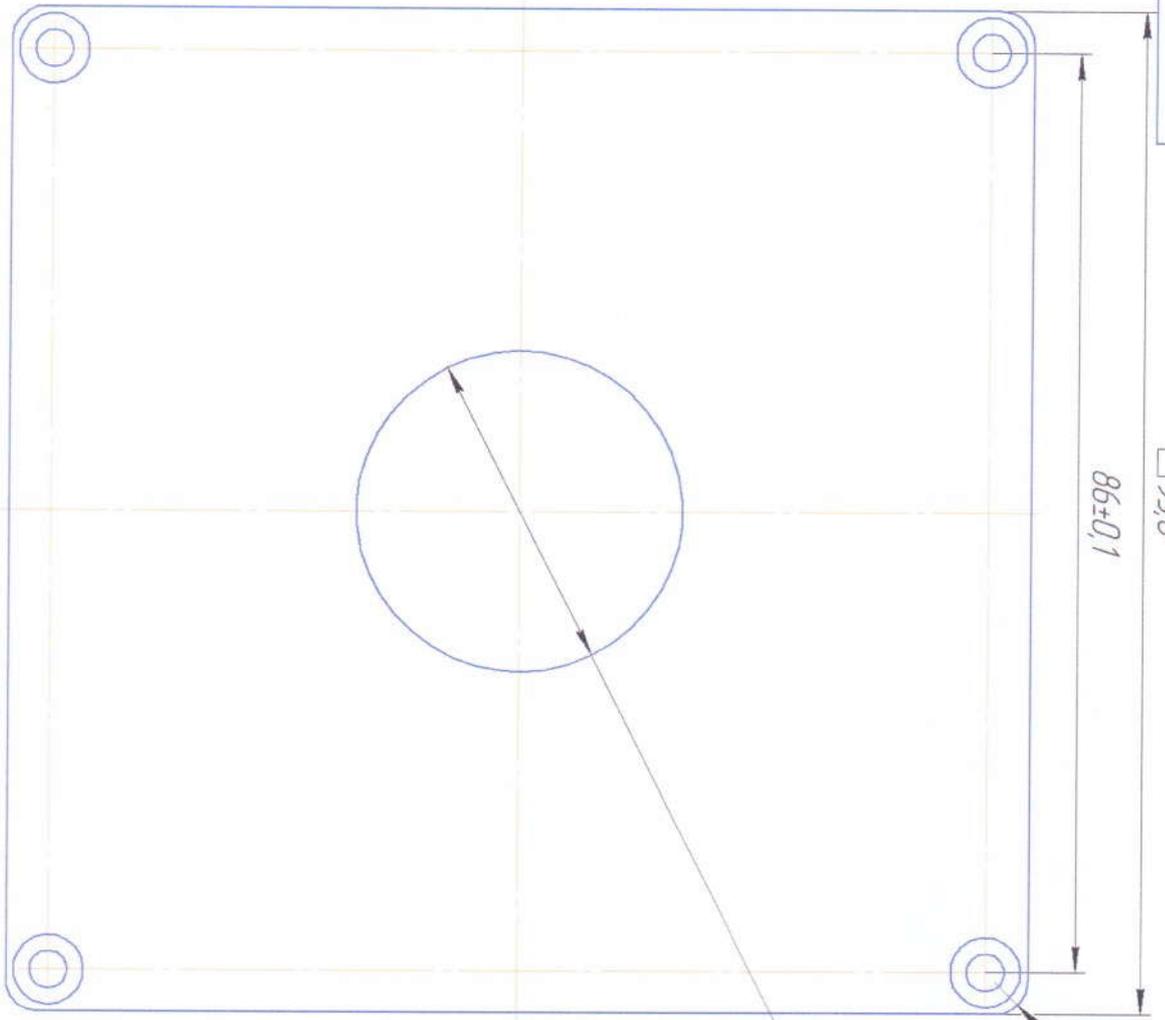


| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дцкл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|--|----------|--|-----------|--|---------|--|------|--|
| Изм. | | Лист | | № докум. | | Подп. | | Дата | |
| Разработ | | Менеджер | | Инж. Волы | | | | | |
| Проб. | | Решено | | 12.12.14 | | | | | |
| Технир. | | | | | | | | | |
| Исполн. | | Соловьев | | 10.12.14 | | | | | |
| Умб. | | Зеленов | | 12.12.14 | | | | | |
| ЭД.Р.ОРТН.МИИ-1.007 | | | | | | | | | |
| Стенка доковая | | | | | | | | | |
| Д16 ГОСТ 4784-97 | | | | | | | | | |
| | | Лист | | Масса | | Масштаб | | | |
| | | 0,23 | | 1:2 | | | | | |
| | | Листов | | 1 | | | | | |
| ФГБНУ ТИСПУМ | | | | | | | | | |

ЭД.ІР.ОРТН.МИИ-1.008

□ 93,8^{+0,1}



1 *Размер для справки.

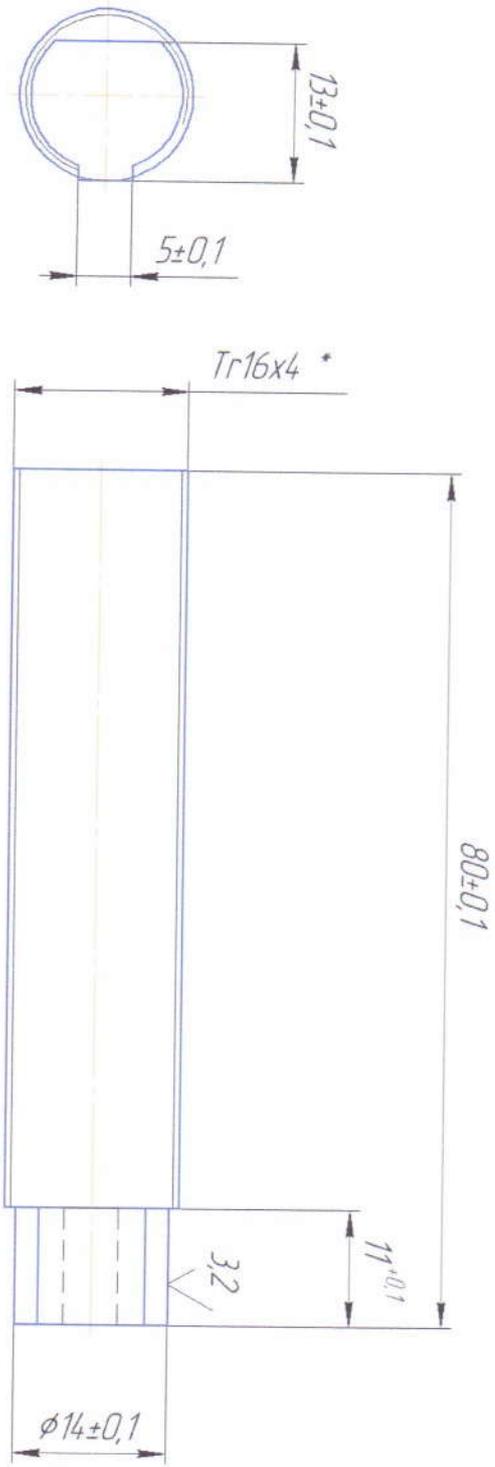
3.2
√(√)

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инд. № подл. | Подп. и дата | Взам. инд. № | Инд. № дцкл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|

| | | | | |
|-----------------------------|--------------|------------|-------|-------|
| Изм./Лист | № докум. | Подф. | Листа | Итого |
| Разработ | Материаловед | САД | 1 | 1 |
| Проб. | Решетов | 12.07.2018 | | |
| Техн.пр. | | | | |
| Начальн. Упр. | Соловьев | 20.08.18 | | |
| Упр. | Степанов | 20.08.18 | | |
| ЭД.ІР.ОРТН.МИИ-1.008 | | | | |
| Крышка | | | | |
| Д16 ГОСТ 4784-97 | | | | |
| Лист | Масса | Масштаб | | |
| 1 | 0,07 | 2:1 | | |
| ФГБНУ ТИСПНУМ | | | | |

ЭД.ІР.ОРТН.МИИ-1.012

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дцкл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|



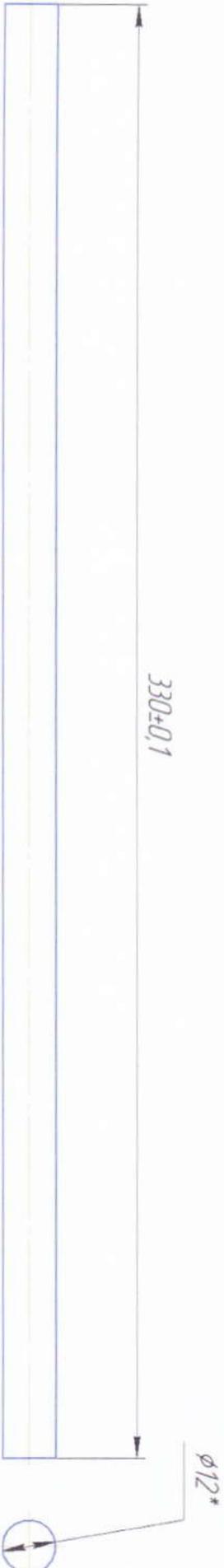
1 *Размер для справки.

| | | | | |
|-----------------------|------------|----------|--------|---|
| Исполн. | Сотруд. | 10.02.18 | Лист | 1 |
| Провер. | Решетов | 10.02.18 | Лист | 1 |
| Т.контр. | | | Лист | 1 |
| Разработ. | Мельникова | 10.02.18 | Лист | 1 |
| Инж.Лист | № докум. | Подп. | Дата | |
| ЭД.ІР.ОРТН.МИИ-1.012 | | | | |
| Винт | | | | |
| трапецеидальный | | | | |
| Заготовка | | | | |
| Винт трапецевид. 16x4 | | | | |
| ФГУП | ТИСНУМ | Лист | Листов | 1 |
| | | 0,12 | 2,1 | |

ЭД.РОРТН.МИИ-1011

Справ. № _____
Перв. примен. _____

Инв. № подл. _____ Подп. и дата _____
Взам. инв. № _____ Инв. № дубл. _____ Подп. и дата _____

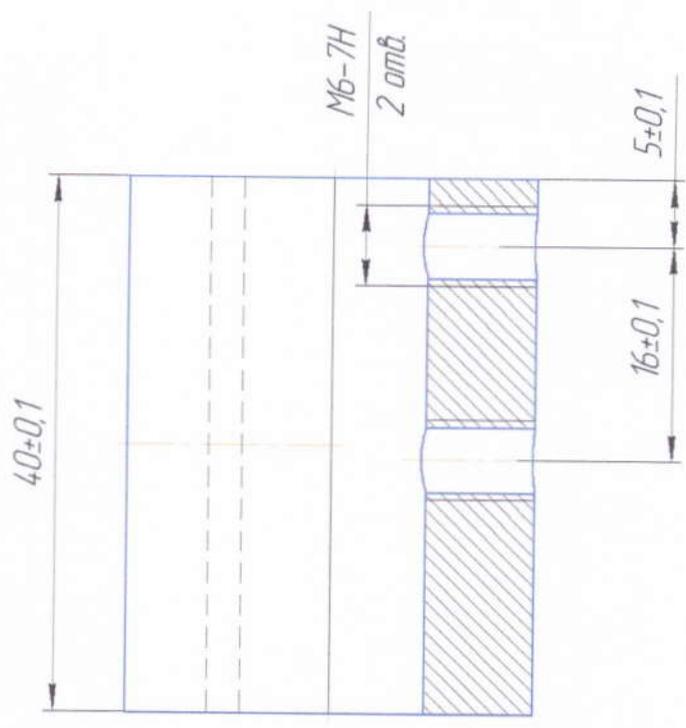
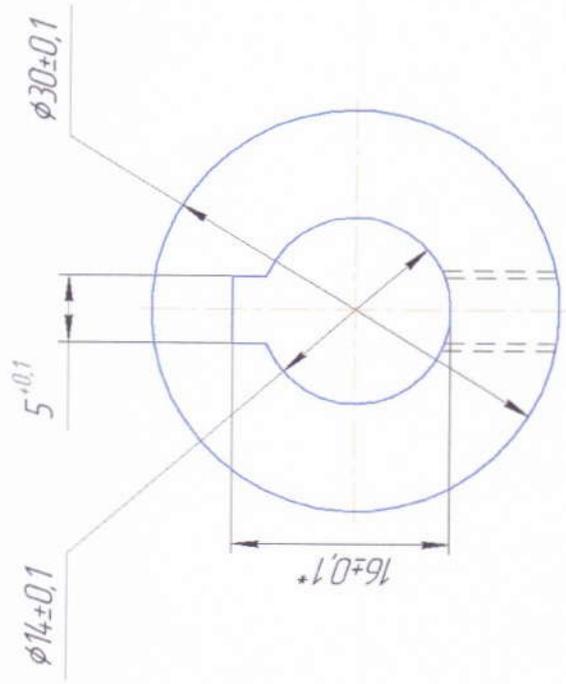


1 *Размер для справки.

| | | | | | | | |
|-----------|----------|---------|--------|---|--------------|--------|---------|
| Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата | <p>ЭД.РОРТН.МИИ-1011</p> <p>Вал направляющий</p> <p>Заготовка Вал направляющий</p> <p>Сталь Ст-15</p> | Лист | Масса | Масштаб |
| Разработ | Материал | Исполн | Провер | | 0,29 | 1:1 | |
| Технир | | | | | Лист | Листов | 1 |
| Начитр | Содввед | Увелнад | | | ФТБНУ ТИСНУМ | | |

ЭД.ІРОРТН.МІИ-1.010

3.2 ✓(✓)



1 *Размер уточнить по сопрягаемой детали Двигатель шагобый.

ЭД.ІРОРТН.МІИ-1.010

Муфта

| | | | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------|----------|--------------------------------------|----------|
| Изм./Лист | № докум. | Подп. | Дата | Лист | Масштаб |
| Разработ. Лист | Мелекесова Рашетов | Евд В.В. | 20.12.19 | 0,17 | 2,5:1 |
| Т.контр. | | | | Лист | Листов 1 |
| Исполн. Утв. | Соловьев Усевичев | С. У. | 20.12.19 | Сталь 65Г ГОСТ 14959-79 ФГБНУ ТИСКУМ | |

Клинтон

Л.З

| | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Инд. № подл. | Взам инд. № | Инд. № дубл. | Подп и дата |
| Лист и дата | | | |
| Склад № | Репр. номер | | |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»


М.П.  А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «РЭА-Т»


М.П.  С.Е. Федосеев
«7» октября 2019 год

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ №1
ИСПЫТАНИЙ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДУЛЯ
БЕСПРОВОДНОЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

RU.iPoRTH.00001-01 51 03

Технический директор



М.А.Галкин

Инженер



М.Н. Куклев

Нормоконтролер



Ю.В. Орешников

г. Москва – 2019 г.

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

ВПОМБЦС Встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH

ТЗ Техническое задание

ПМ Программа и методика испытаний

1. Общие положения

1.1 Наименование и обозначение образца продукции (далее – объект испытаний).

Встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH (далее по тексту ВПОМБЦС)

1.2 Цель испытаний: подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ, в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации (применения, использования).

1.3 Условия предъявления объекта испытаний на испытания

1.3.1 Испытания проводятся на одном объекте испытания

1.3.2 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:

- Руководство оператора для ВПОМБЦС;
- модуль беспроводной цифровой связи экспериментального образца iPoRTH;
- вычислительный блок сбора и обработки данных
- техническое задание по Соглашению 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274);
- настоящая ПМ;

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе ФГБНУ ТИСНУМ, г.Москва, г. Троицк, Центральная 7а.

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | от -10 до +30 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

2.3 Требования к подготовке изделия к испытаниям

ВПОМБЦС и средства проведения испытаний следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией.

2.4 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания.

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний.

3 Требования безопасности

Требования безопасности при проведении испытаний

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

4 Программа испытаний

Определяемые показатели и точность их измерений:

| Пункт программы испытаний | Наименование показателя | Пункт требований ТЗ | Ед. изм. | Номинальное значение | Пункт методики |
|---------------------------|--|--------------------------|----------|----------------------|----------------|
| 4.1 | Проверка программной документации | - | | соответствие | 6.1 |
| 4.2 | Установление идентификационных данных (признаков) ВПОМБЦС | - | | соответствие | 6.2 |
| 4.3 | Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи должно быть написано с применением языков программирования С и ассемблер | 4.3.1.3.15 4.3.1.3.14 | | Соответствие | 6.3 |
| 4.4 | Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи предназначено для обмена данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных | 4.3.1.2.15 | | Обеспечение | 6.4 |

5 Режимы испытаний

5.1 Порядок испытаний.

Контроль полноты, достоверности и объективности хода и результатов исследовательских испытаний, полноты информации, соблюдения сроков испытаний и документальное оформление их результатов осуществляет комиссия, назначаемая приказом руководителя организации-исполнителя. Испытания проводятся в соответствии с планом-графиком, утверждаемым врио директора ФГБНУ ТИСНУМ. Последовательность проведения испытаний может быть изменена по решению комиссии.

5.2 Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний:

Испытания прекращаются в случаях:

- несоответствия получаемых результатов требованиям ТЗ;
- возникновения аварийных ситуаций.

5.3 Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

6 Методы испытаний

К этапам испытаний относятся:

- Проверка документации
- Проверка разделения программного обеспечения
- Установление идентификационных данных (признаков) и проверка методов идентификации программного обеспечения
- Проверка структуры программного обеспечения
- Оценка влияния программного обеспечения на метрологические характеристики средств измерений

6.1 Проверка по п. 4.1 Программы выполняется следующим образом:

Проверить наличие программной документации в соответствии с требованиями настоящей методики.

Убедиться, что перечень всех команд интерфейса пользователя соответствует описанному перечню команд в программной документации.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если наличие всех команд интерфейса пользователя, их описание, назначение и воздействие на функции прибора и данные соответствует требованиям программной документации, что соответствует требованиям п.4.1 Программы.

6.2 Проверка по п. 4.2 Программы выполняется следующим образом:

Установление идентификационных данных (признаков) ВПОМБЦС проводится путём проверки размера, наименования и контрольной суммой прошивки непосредственно перед прошиванием модуля беспроводной цифровой связи.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку в случае, если полученные данные соответствуют следующим условиям:

Наименование ПО: SI-MBCS.hex;

Номер версии ПО: 1.0;

Контрольная сумма (CRC32): 0x BVB2EFA2;

Размер файла: 736171 байт

Прошивка для блока управления модулем беспроводной цифровой связи должна соответствовать следующим требованиям:

Наименование ПО: mbcс.exe;

Номер версии ПО: 1.0;

Контрольная сумма (CRC32): 0x663AB377;

Размер файла: 161280 байт.

Язык программирования, который был использован при написании ПО относится к семейству программных языков группы C, что соответствует требованиям п.4.2 Программы.

6.3 Проверка по п. 4.3 Программы выполняется следующим образом:

Для проверки соответствия объекта испытания требованиям данного пункта Программы необходимо провести проверку структуры программного обеспечения в два этапа:

6.3.1 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через интерфейс пользователя, выполняется следующим образом:

Произвести нажатие кнопок настройки параметров измерений в процессе работы измерительной схемы. В случае, если данная функция не работает, что соответствует руководству оператора, и при этом процесс измерения не нарушается и не прерывается, поскольку не происходит передача данных в блок электроники, при этом приём данных из блока электроники производится штатно. Удостовериться, что нажатие кнопок настройки параметров измерений не функционирует, что соответствует руководству оператора, при этом процесс измерения не нарушается и не прерывается, поскольку не происходит передача данных в блок электроники. Приём данных из блока электроники производится штатно.

6.3.2 Проверка на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО, осуществляемого через беспроводной интерфейс связи проводится в следующей последовательности:

Убедиться, что соединение модуля беспроводной цифровой связи с блоком вычислительным сбора и обработки данных осуществляется посредством интерфейса Bluetooth версии не ниже 4.2.

Осуществить проверку на отсутствие недопустимого влияния на метрологически значимую часть ПО при помощи сверки контрольных сумм пакетов в соответствии со стандартным алгоритмом CRC-16.

В пользовательском интерфейсе модуля беспроводной цифровой связи установить режим тестирования в соответствии с требованиями программной документации.

Программный алгоритм производит передачу контрольного пакета данных из модуля беспроводной цифровой связи в блок вычислительный сбора и

обработки данных, который в свою очередь принимает данный пакет, сравнивает вычисленную и установленную контрольные суммы пакета проверочных данных и, в случае их совпадения, формирует ответ и пересылает их обратно в модуль беспроводной цифровой связи. Таким образом, в случае, если в модуль беспроводной цифровой связи получен ответ от блока вычислительный сбора и обработки данных, можно сделать вывод, что схема работает корректно и влияние на метрологически значимую часть ПО при передаче данных отсутствует.

В случае, если требования пп.6.3.1 и 6.3.2 выполнены, объект испытаний считать выдержавшим проверку, что соответствует требованиям п.4.3 Программы.

6.4 Проверка по п. 4.4 Программы выполняется следующим образом:

Проверка встроенного ПО на предмет обеспечения с его помощью обмена данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных проводится аналогично п. 6.3.2, различие данных этапов испытания объекта заключается в том, что вместо контрольных пакетов используются модельные пакеты, которые имитируют пакеты реальных измерительных данных (верхний диапазон, нижний диапазон и т.д.) в соответствии с рекомендациями программной документации.

В случае принятия модулем беспроводной цифровой связи ответа от вычислительного блока сбора и обработки данных объект испытаний считается прошедшим проверку, что соответствует требованиям п.4.4 Программы.

7. Отчетность

7.1 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, представляемыми на заседание комиссии. Типовая форма протокола испытаний приведена в приложении А. В согласованных случаях допускается оформлять одним протоколом данные, полученные при испытаниях по нескольким пунктам программы.

7.2 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется акт испытаний. Акт испытаний должен содержать:

- подтверждение выполнения программы испытаний;
- оценку результатов испытаний с конкретными точными формулировками, отражающими соответствие объекта испытаний требованиям ТЗ;
- выводы по результатам испытаний;
- заключение возможности промышленного производства и реализации объекта испытаний.

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

7.3 Первичные материалы испытаний хранятся ФГБНУ ТИСНУМ в течение 5 лет со дня окончания испытаний.

Приложение Типовая форма протокола испытаний

Приложение ПРОТОКОЛ

испытания по пункту № 4.1 - 4.4

Программы и методики исследовательских испытаний встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH
RU. iPoRTH.00001-01 51 03

№ 1

«__» _____ 2019 г.

1. Объект испытания: встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4 технического задания: 4.3.1.2.12; 4.3.1.2.7

3. Дата начала испытания: _____ 2017 г

4. Дата окончания испытания: _____ 2017 г

5. Место проведения испытания: ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, 7а.

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|--------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Проверка программной документации | - | 6.1 | | Соответствие | |
| Установление идентификационных данных (признаков) ВПОМБЦС | | 6.2 | | Соответствие | |
| Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи должно быть написано с применением языков программирования С и ассемблер | 4.3.1.3.15 4.3.1.3.14 | 6.3 | | Соответствие | |
| Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи предназначено для обмена данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных | 4.3.1.2.15 | 6.4 | мм | Обеспечение | |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH, выдержало/не выдержало испытание по пункту № 4.1-4.4 Программы и методики RU.iPoRTH.00001-01 51 03.

8.2 Объект испытания:

Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи соответствует / не соответствует требованиям пункта № 4 технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Перечисляются сотрудники, проводившие испытания

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО БЛОКА СБОРА И
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ АДМИНИСТРИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИЙ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



/ А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«1» октября 2019 год

М.П.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ №2
ИСПЫТАНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО БЛОКА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

RU. iPoRTH.00001-01 51 04

Начальник
исследования
механических свойств

отдела
физико-

А.С.Усеинов

Научный сотрудник

В.В. Соловьев

Мл. научный сотрудник

А.А. Русаков

г. Москва, г. Троицк – 2019

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

| | |
|-------|---|
| ПШОВБ | Пользовательское программное обеспечение вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений |
| ТЗ | Техническое задание |
| ПМ | Программа и методика испытаний |

1. Общие положения

1.1 Наименование и обозначение образца продукции (далее – объект испытаний).

Пользовательское ПО вычислительного блока обработки данных для визуализации результатов измерений (далее по тексту ПШОВБ)

1.2 Цель испытаний: подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ, в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации (применения, использования).

1.3 Условия предъявления объекта испытаний на испытания

1.3.1 Испытания проводятся на одном объекте испытания

1.3.2 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:

- Руководство оператора для ПШОВБ;
- вычислительный блок сбора и обработки данных
- техническое задание по Соглашению 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274);

- настоящая ПМ;

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, Центральная 7а.

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

2.3 Требования к подготовке изделия к испытаниям

ПШОВБ и средства проведения испытаний следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией.

2.4 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания.

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний.

3 Требования безопасности

Требования безопасности при проведении испытаний

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

4 Программа испытаний

Определяемые показатели и точность их измерений:

| Пункт программы испытаний | Наименование показателя | Пункт требований ТЗ | Ед. изм. | Номинальное значение | Пункт методики |
|---------------------------|--|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| 4.1 | Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно обеспечивать сбор, обработку, визуализацию и хранение результатов измерений, с возможностью их последующего анализа, вывода на печать или сохранения на внешний носитель информации. | 4.3.1.2.13 | | обеспечение | 6.1 |
| 4.2 | Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно иметь функции графического вывода результатов и использовать оконный интерфейс. | 4.3.1.3.13 | | обеспечение | 6.2 |

5 Режимы испытаний

5.1 Порядок испытаний.

Контроль полноты, достоверности и объективности хода и результатов исследовательских испытаний, полноты информации, соблюдения сроков испытаний и документальное оформление их результатов осуществляет комиссия, назначаемая приказом руководителя организации-исполнителя. Испытания проводятся в соответствии с планом-графиком, утверждаемым врио директора ФГБНУ ТИСНУМ. Последовательность проведения испытаний может быть изменена по решению комиссии.

5.2 Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний:

Испытания прекращаются в случаях:

- несоответствия получаемых результатов требованиям ТЗ;
- возникновения аварийных ситуаций.

5.3 Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

6 Методы испытаний

Суть испытания ПШОВБ сводится к проверке обеспечения возможности хранения, обработки и визуализации (в том или ином виде) измерительной информации и результатов измерений.

6.1 Проверка по п. 4.1 Программы выполняется следующим образом:

Выбрать директорию, в которой хранятся данные измерений механических свойств тестовых образцов из плавленого кварца и сапфира.

Произвести обработку экспериментальных данных в соответствии с руководством по эксплуатации ПШОВБ. Получить зависимость силы от глубины индентирования.

Провести визуальное сравнение полученной зависимости силы от глубины индентирования со стандартной кривой сила – глубина индентирования для конкретного тестового образца.

В окне зависимости силы от глубины индентирования нажать кнопку формирования отчета об измерении в формате pdf файла и выбрать данные, которые будут использоваться для формирования отчета.

Сравнить рассчитанные и измеренные данные в сформированном отчете с табличными значениями для соответствующих материалов тестовых образцов.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если испытываемое программное обеспечение позволяет открывать ранее полученные данные, обрабатывать их, получать графические зависимости нагрузки от глубины индентирования, формировать отчеты в различных форматах, что соответствует требованиям п.4.1 Программы.

6.2 Проверка по п. 4.2 Программы выполняется следующим образом:

Провести сшивание изображений, полученных с помощью оптического микроскопа.

Проверить полученное изображение на предмет адекватного сшивания его фрагментов, убедиться в отсутствии искажения реального изображения.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку в случае, если полученное сгруппированное изображение соответствует реальной поверхности тестового образца, что соответствует требованиям п.4.2 Программы.

7. Отчетность

7.1 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, представляемыми на заседание комиссии. Типовая форма протокола испытаний приведена в приложении к настоящей методике. В согласованных случаях допускается оформлять одним протоколом данные, полученные при испытаниях по нескольким пунктам программы.

7.2 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется акт испытаний. Акт испытаний должен содержать:

- подтверждение выполнения программы испытаний;
- оценку результатов испытаний с конкретными точными формулировками, отражающими соответствие объекта испытаний требованиям ТЗ;
- выводы по результатам испытаний;
- заключение возможности промышленного производства и реализации объекта испытаний.

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

7.3 Первичные материалы испытаний хранятся ФГБНУ ТИСНУМ в течение 5 лет со дня окончания испытаний.

Приложение Типовая форма протокола испытаний

**Приложение
ПРОТОКОЛ**

испытания по пункту № 4.1 - 4.2

Программы и методики исследовательских испытаний пользовательского ПО
вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов
RU. iPoRTH.00001-01 51 04

№ 1

«__» _____ 2019 г.

1. Объект испытания: пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4 технического задания: 4.3.1.2.13; 4.3.1.3.13

3. Дата начала испытания: _____ 2019 г

4. Дата окончания испытания: _____ 2019 г

5. Место проведения испытания: ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д.7а

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно обеспечивать сбор, обработку, визуализацию и хранение результатов измерений, с возможностью их последующего анализа, вывода на печать или сохранения на внешний носитель информации. | 4.3.1.2.13 | 6.1 | | обеспечение | |
| Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно иметь функции графического вывода результатов и использовать оконный интерфейс. | 4.3.1.3.13 | 6.2 | | обеспечение | |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для

администрирования результатов, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.2 Программы и методики RU. iPoRTH.00001-01 51 04.

8.2 Объект испытания:

Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов, соответствует / не соответствует требованиям пункта № 4.3.1.2.13; 4.3.1.3.13 технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Перечисляется список сотрудников, проводивших испытания.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА IPORTH НА ТЕСТОВЫХ МОДЕЛЬНЫХ
ОБРАЗЦАХ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА И ПОЛЫХ
ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

СОГЛАСОВАНО



УТВЕРЖДАЮ



ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ №3
ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА IPORTH НА ТЕСТОВЫХ МОДЕЛЬНЫХ
ОБРАЗЦАХ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА И ПОЛЫХ
ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ

Зам. гл. инженера

 В.В. Абрамян

Начальник цеха №2

 О.П. Агафонов

Зам. гл. инженера

 Н.П. Петров

Главный металлург

 С.М. Хориков

г. Рязань – 2019

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

| | |
|------|---|
| МИОК | Модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH |
| МИИ | Модуль измерительный индентационный |
| ТЗ | Техническое задание |
| ПМ | Программа и методика испытаний |

1. Общие положения

1.1 Наименование и обозначение образца продукции (далее – объект испытаний).

Экспериментальный образец iPoRTH

1.2 Цель испытаний: подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ, в лабораторных условиях.

1.3 Условия предъявления объекта испытаний на испытания

1.3.1 Испытания проводятся на одном объекте испытания

1.3.2 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:

- Руководство пользователя iPoRTH;
- экспериментальный образец iPoRTH;
- вычислительный блок сбора и обработки данных
- техническое задание по Соглашению 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274);

- настоящая ПМ;

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань, ул. Промышленная, 5.

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

2.3 Требования к подготовке изделия к испытаниям

Экспериментальный образец iPoRTH и средства проведения испытаний следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией.

2.4 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания.

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний.

3 Требования безопасности

Требования безопасности при проведении испытаний

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

4 Программа испытаний

Определяемые показатели и точность их измерений:

| Пункт программы испытаний | Наименование показателя | Пункт требований ТЗ | Ед. изм. | Номинальное значение | Пункт методики |
|---------------------------|---|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| 4.1 | МИОК должен позволять проводить измерения путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича | 4.3.1.2.3 | | обеспечение | 6.1 |
| 4.2 | Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в лабораторных условиях | 4.2.4 | ГПа | обеспечение | 6.2 |
| 4.3 | Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в лабораторных условиях | 4.2.5 | ГПа | обеспечение | 6.3 |

5 Режимы испытаний

5.1 Порядок испытаний.

Контроль полноты, достоверности и объективности хода и результатов исследовательских испытаний, полноты информации, соблюдения сроков испытаний и документальное оформление их результатов осуществляет комиссия, назначаемая приказом руководителя организации-исполнителя. Испытания проводятся в соответствии с планом-графиком, утверждаемым директором ОАО «Тяжпрессмаш». Последовательность проведения испытаний может быть изменена по решению комиссии.

5.2 Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний:

Испытания прекращаются в случаях:

- несоответствия получаемых результатов требованиям ТЗ;
- возникновения аварийных ситуаций.

5.3 Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

6 Методы испытаний

Суть испытаний сводится к проверке обеспечения возможности реализации измерений механических свойств тестовых образцов с помощью экспериментального образца iPoRTH.

6.1 Проверка по п. 4.1 Программы выполняется следующим образом:

Испытания по п.4.1 Программы проводятся методом визуально-оптического контроля (с помощью микроскопа МБС-10) геометрии применяемого индентирующего тела, которое должно иметь форму правильной трехгранной пирамиды.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если рабочая сторона индентирующего тела ограничена в форме правильной трёхгранной пирамиды, что соответствует требованиям п.4.1 Программы.

6.2 Проверка по п. 4.2 Программы выполняется следующим образом:

Испытания по п.4.2 Программы проводятся путем контроля возможности реализации измерения твердости H_{IT} и модуля упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011. Провести испытания в следующей последовательности:

- Подготовить модуль МИОК к работе в следующей последовательности:

- Выполнить калибровку относительного вертикального местоположения опорных шариков по отношению к острию индентора. Перемещение опорной головки вдоль штока осуществляется путем ее вращения; закрепление в рабочем положении производится с помощью контргайки. Диапазон положения наконечника: от 20 до 80 мкм от исследуемой поверхности. Расстояние контролируется оператором визуально.

- Убедиться, что прибор готов к работе: показания емкостного датчика перемещения находятся в начале диапазона.

- Поднести и прижать МИОК к исследуемой области тестового образца. Усилие прижима в течение всего цикла измерения (время процедуры зависит от максимальной нагрузки и в среднем занимает около одной минуты) не менее 30 Н и не более 60 Н, угол между линией приложения силы и перпендикуляром к поверхности образца менее 10 градусов;

- Установить следующие параметры нанесения индента:

- Нагрузка (либо максимальное углубление индентора);

- Время поддержания максимальной нагрузки.

- Нажать запускающую измерение кнопку на корпусе МИОК. После окончания процедуры измерения производится автоматический отвод рабочего штока системы индентирования МИОК от поверхности тестового образца;

- Дождаться появления результатов на экране смартфона;

- Повторить процедуру измерений не менее 10 раз в различных местах исследуемой области на расстоянии не менее 1 мм друг от друга;

- Зафиксировать полученные данные в протокол испытаний, форма которого приведена в приложении к настоящей методике.

- Сравнить полученные результаты с табличными значениями механических характеристик тестового образца.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если вычисленная погрешность соответствует условиям $H_{IT} \pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1)$, где H_{IT} - твердость, измеренная в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011, а погрешность модуля упругости составляет $E_{IT} \pm (0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$, что соответствует требованиям п.4.2 Программы;

6.3 Проверка по п. 4.3 Программы выполняется следующим образом:

- Подготовить МИИ в соответствии с руководством по эксплуатации.
- Поместить в окне рабочего стола МИИ тестовый образец.
- Провести подвод индентора МИИ к поверхности образца на расстояние 20-80 мкм (наблюдать визуально).
- Запустить автоматическую процедуру подвода индентора к поверхности образца.
- После успешного подвода индентора к поверхности образца с помощью программного обеспечения экспериментального образца iPoRTH запустить автоматическую процедуру измерения механических свойств.
- Обработать полученные экспериментальные данные в автоматическом режиме в соответствии с Руководством пользователя экспериментального образца iPoRTH.
- Зафиксировать полученные данные в протокол испытаний, форма которого приведена в приложении к настоящей методике.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если измеренные значения механических свойств соответствуют требованиям, приведенным в п.4.3, а так же коррелируют со справочными данными для материалов, из которых изготовлены тестовые образцы, что соответствует требованиям п.4.3 Программы.

7. Отчетность

7.1 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, представляемыми на заседание комиссии. Типовая форма протокола испытаний приведена в приложении к настоящей методике. В согласованных случаях допускается

оформлять одним протоколом данные, полученные при испытаниях по нескольким пунктам программы.

7.2 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется акт испытаний. Акт испытаний должен содержать:

- подтверждение выполнения программы испытаний;
- оценку результатов испытаний с конкретными точными формулировками, отражающими соответствие объекта испытаний требованиям ТЗ;

- выводы по результатам испытаний;
- заключение возможности промышленного производства и реализации объекта испытаний.

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

7.3 Первичные материалы испытаний хранятся ФГБНУ ТИСНУМ в течение 5 лет со дня окончания испытаний.

Приложение Типовая форма протокола испытаний

Приложение ПРОТОКОЛ

испытания по пункту № 4.1 - 4.2

Программы и методики исследовательских экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях
ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ

№ 1

«__»_____ 2019 г.

- 1. Объект испытания:** модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям технического задания
- 3. Дата начала испытания:** _____ 2019 г
- 4. Дата окончания испытания:** _____ 2019 г
- 5. Место проведения испытания:** ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань, ул. Промышленная, 5.

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|---|------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| МИОК должен позволять проводить измерения путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича | 4.3.1.2.3 | 6.1 | | обеспечение | |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в лабораторных условиях | 4.2.4 | 6.2 | ГПа | обеспечение | |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в лабораторных условиях | 4.2.5 | 6.3 | ГПа | обеспечение | |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH, выдержал/не выдержал

испытание по пункту № 4.1.-4.2 Программы и методики ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ.

8.2 Объект испытания:

Модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH, соответствует / не соответствует требованиям технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Список исполнителей, проводивших испытание.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА IPORTN НА ОБРАЗЦАХ
ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ТРУБ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ



ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ №4
ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА IPORTN НА ОБРАЗЦАХ ТЕРМИЧЕСКИ
ОБРАБОТАННЫХ ТРУБ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ

Зам. гл. инженера

 В.В. Абрамян

Начальник цеха №2

 О.П. Агафонов

Зам. гл. инженера

 Н.П. Петров

Главный металлург

 С.М. Хориков

г. Рязань – 2019

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

| | |
|-----|--|
| МИИ | Модуль измерительный индентационный iPoRTN |
| ТЗ | Техническое задание |
| ПМ | Программа и методика испытаний |

1. Общие положения

1.1 Наименование и обозначение образца продукции (далее – объект испытаний).

Модуль измерительный индентационный iPoRTN (далее по тексту – МИИ)

1.2 Цель испытаний: подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ, в полевых условиях на реальных промышленных объектах.

1.3 Условия предъявления объекта испытаний на испытания

1.3.1 Испытания проводятся на одном экземпляре объекта испытания

1.3.2 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:

- Руководство пользователя МИИ;
- экспериментальный образец МИИ;
- вычислительный блок сбора и обработки данных
- техническое задание по Соглашению 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274);

- настоящая ПМ;

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань, ул. Промышленная, 5.

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

2.3 Требования к подготовке изделия к испытаниям

МИИ и средства проведения испытаний следует подготовить к работе в соответствии с технической документацией.

2.4 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания.

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний.

3 Требования безопасности

Требования безопасности при проведении испытаний

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

Освещенность рабочего места должна соответствовать требованиям санитарных правил СП 2.2.1.1312-03.

4 Программа испытаний

Определяемые показатели и точность их измерений:

| Пункт программы испытаний | Наименование показателя | Пункт требований ТЗ | Ед. изм. | Номинальное значение | Пункт методики |
|---------------------------|--|---------------------|----------|----------------------|----------------|
| 4.1 | Модуль измерительный индентационный iPoRTH должен проводить измерения путем вдавливания сферического наконечника | 4.3.1.2.2 | | обеспечение | 6.1 |
| 4.2 | Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в полевых условиях | 4.2.5 | МПа | обеспечение | 6.2 |
| 4.3 | Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в полевых условиях | 4.2.4 | МПа | обеспечение | 6.3 |

5 Режимы испытаний

5.1 Порядок испытаний.

Контроль полноты, достоверности и объективности хода и результатов исследовательских испытаний, полноты информации, соблюдения сроков испытаний и документальное оформление их результатов осуществляет комиссия, назначаемая приказом руководителя организации-исполнителя. Испытания проводятся в соответствии с планом-графиком, утверждаемым директором ОАО «Тяжпрессмаш». Последовательность проведения испытаний может быть изменена по решению комиссии.

5.2 Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний:

Испытания прекращаются в случаях:

- несоответствия получаемых результатов требованиям ТЗ;
- возникновения аварийных ситуаций.

5.3 Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

6 Методы испытаний

Суть испытаний сводится к проверке обеспечения возможности реализации измерений механических свойств реальных образцов с помощью МИИ в полевых и цеховых условиях. Образцы, на которых проводятся измерения должны представлять из себя реальные промышленные объекты: трубы, изготовленные из различных видов стали, подвергшиеся различным видам термической обработки; сплошные стальные заготовки. Образцы металлических труб должны быть подготовлены к испытаниям путем очистки рабочих участков от грязи и следов ржавчины с помощью наждачно-шлифовальной машинки. Испытания проводятся на различных участках образцов (на внутренних и внешних поверхностях).

6.1 Проверка по п. 4.1 Программы выполняется следующим образом:

Испытания по п.4.1 Программы проводятся методом визуально-оптического контроля (с помощью микроскопа МБС-10) геометрии

применяемого индентирующего тела, которое должно иметь сферическую форму.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если рабочая сторона индентирующего тела ограничена в форме сферы, что соответствует требованиям п.4.1 Программы.

6.2 Проверка по п. 4.2 Программы выполняется следующим образом:

Испытания по п.4.2 Программы проводятся путем контроля возможности реализации измерения твердости H_{IT} и модуля упругости E_{IT} в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011. Провести испытания в следующей последовательности:

- Подготовить модуль МИОК к работе в следующей последовательности:

- Выполнить калибровку относительного вертикального местоположения опорных шариков по отношению к острию индентора. Перемещение опорной головки вдоль штока осуществляется путем ее вращения; закрепление в рабочем положении производится с помощью контргайки. Диапазон положения наконечника: от 20 до 80 мкм от исследуемой поверхности. Расстояние контролируется оператором визуально.

- Убедиться, что прибор готов к работе: показания емкостного датчика перемещения находятся в начале диапазона.

- Поднести и прижать МИОК к исследуемой области тестового образца. Усилие прижима в течение всего цикла измерения (время процедуры зависит от максимальной нагрузки и в среднем занимает около одной минуты) не менее 30 Н и не более 60 Н, угол между линией приложения силы и перпендикуляром к поверхности образца менее 10 градусов;

- Установить следующие параметры нанесения индента:

- Нагрузка (либо максимальное углубление индентора);
- Время поддержания максимальной нагрузки.

- Нажать запускающую измерение кнопку на корпусе МИОК. После окончания процедуры измерения производится автоматический отвод рабочего штока системы индентирования МИОК от поверхности тестового образца;

- Дождаться появления результатов на экране смартфона;

- Повторить процедуру измерений не менее 10 раз в различных местах исследуемой области на расстоянии не менее 1 мм друг от друга;

- Зафиксировать полученные данные в протокол испытаний, форма которого приведена в приложении к настоящей методике.

- Сравнить полученные результаты с табличными значениями механических характеристик тестового образца.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если вычисленная погрешность соответствует условиям $H_{IT} \pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1)$, где H_{IT} - твердость, измеренная в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011, а погрешность модуля упругости составляет $E_{IT} \pm (0,1 \times E_{IT} + 0,5 \text{ ГПа})$, что соответствует требованиям п.4.2 Программы;

6.3 Проверка по п. 4.3 Программы выполняется следующим образом:

- Подготовить МИИ в соответствии с руководством по эксплуатации.

- Поместить в окне рабочего стола МИИ тестовый образец.

- Провести подвод индентора МИИ к поверхности образца на расстояние 20-80 мкм (наблюдать визуально).

- Запустить автоматическую процедуру подвода индентора к поверхности образца.

- После успешного подвода индентора к поверхности образца с помощью программного обеспечения экспериментального образца iPoRTN запустить автоматическую процедуру измерения механических свойств.

- Обработать полученные экспериментальные данные в автоматическом режиме в соответствии с Руководством пользователя экспериментального образца iPoRTN.

- Зафиксировать полученные данные в протокол испытаний, форма которого приведена в приложении к настоящей методике.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если измеренные значения механических свойств соответствуют требованиям, приведенным в п.4.3, а так же коррелируют со справочными данными для материалов, из которых изготовлены тестовые образцы, что соответствует требованиям п.4.3 Программы.

7. Отчетность

7.1 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, представляемыми на заседание комиссии. Типовая форма протокола испытаний приведена в приложении к настоящей методике. В согласованных случаях допускается оформлять одним протоколом данные, полученные при испытаниях по нескольким пунктам программы.

7.2 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется акт испытаний. Акт испытаний должен содержать:

- подтверждение выполнения программы испытаний;
- оценку результатов испытаний с конкретными точными формулировками, отражающими соответствие объекта испытаний требованиям ТЗ;
- выводы по результатам испытаний;
- заключение возможности промышленного производства и реализации объекта испытаний.

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

7.3 Первичные материалы испытаний хранятся ФГБНУ ТИСНУМ в течение 5 лет со дня окончания испытаний.

Приложение Типовая форма протокола испытаний

Приложение

ПРОТОКОЛ

испытания по пункту № 4.1 - 4.2

Программы и методики исследовательских экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях
ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ

№ 1

«__» _____ 2019 г.

- 1. Объект испытания:** модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям технического задания
- 3. Дата начала испытания:** _____ 2019 г
- 4. Дата окончания испытания:** _____ 2019 г
- 5. Место проведения испытания:** ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань, ул. Промышленная, 5.

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Модуль измерительный индентационный iPoRTH должен проводить измерения путем вдавливания сферического наконечника | 4.3.1.2.3 | 6.1 | | обеспечение | |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в полевых условиях | 4.2.4 | 6.2 | ГПа | обеспечение | |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в полевых условиях | 4.2.5 | 6.3 | ГПа | обеспечение | |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.3 Программы и методики ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ.

8.2 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, соответствует / не соответствует требованиям технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Перечисляется список сотрудников, проводивших испытания.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТПЕЧАТКА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ
ИНФОРМАЦИЮ О КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
СОПРОТИВЛЕНИИ И ДАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ КОНФОКАЛЬНОЙ
МИКРОСКОПИИ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«3» сентября 2019 г.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТПЕЧАТКА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ
ИНФОРМАЦИЮ О КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
СОПРОТИВЛЕНИИ И ДАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ КОНФОКАЛЬНОЙ
МИКРОСКОПИИ

г. Москва, г. Троицк – 2019

РАЗРАБОТАНА ФГБНУ ТИСНУМ

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая инструкция устанавливает методику измерения площади отпечатка, с использованием информации о контактном электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Методика измерений площади отпечатка предназначена для:

- получения измерительной информации и дальнейшей оценки механических свойств исследуемых объектов методами индентирования;

2. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Оценочная величина погрешности измерений по данной методике составляет 10 %.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Измерения в соответствии с настоящей методикой проводятся с помощью разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

4. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Суть метода измерения площади отпечатка с использованием значений контактного электрического сопротивления заключается в следующем:

Возможность использования данных о контактном электрическом сопротивлении для оценки физических свойств различных материалов является задачей, которая решена для широкого круга геометрий контактирующих тел формы области электрического контакта. Для случая контакта сферических тел, при условии, что радиус области контакта существенно меньше размера индентора и исследуемого объекта получено простое соотношение связывающее размер области контакта и его электрическое сопротивление:

$$R = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2a} \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 удельные электрические сопротивления индентора и материала, a – радиус области контакта. Типичные значения удельного электрического сопротивления для исследуемых материалов – $\rho_1 = 13 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (сталь) и $\rho_2 = 2.7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (алюминий).

Представленное выражение описывает идеальную ситуацию, при которой сопротивление переходной области между индентором и материалом считается равным нулю и электрический контакт наблюдается по всей контактной площади. Однако при проведении реальных измерений появляется много факторов, вносящих весомую долю неопределенности в конечный результат. В связи с этим разработана и внедрена в работу блока электроники экспериментального образца iPoRTH схема, позволяющая четырехточечным методом проводить измерение контактного сопротивления.

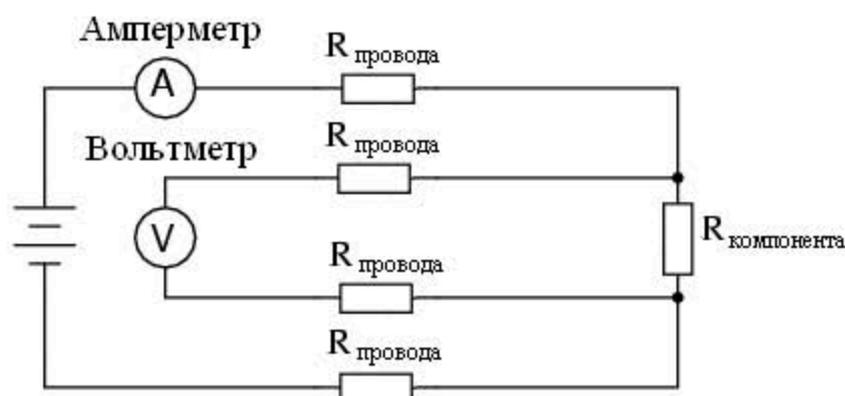


Рисунок 1. Четырёхпроводная схема измерения сопротивления [3]. Сопротивление определяется по отношению показаний вольтметра и амперметра

Для более точных измерений используется режим работы при котором поддерживается постоянная величина тока, протекающего через область контакта предпочтителен.

Измерение площади отпечатка с помощью конфокальной микроскопии сводится к прямому сканированию поверхности исследуемого объекта с помощью конфокального микроскопа. Основной проблемой, возникающей при таком способе измерения, является определение контактных границ остаточного отпечатка. В случае исследования материалов с высокими упругими свойствами границы отпечатка после снятия нагрузки, создаваемой индентором, сильно восстанавливаются, что делает затруднительным определить границы отпечатка. Теоретические и практические эксперименты показали, что в случае исследования металлов (с высокой пластичностью) данный метод работает с высокой точностью.

5. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

6. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию экспериментального образца iPoRTH.

7. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

8. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1. Поверхность испытуемого образца должна быть свободной от загрязнений на участке нанесения отпечатка

8.2 При подготовке поверхности испытуемого образца необходимо принять меры предосторожности, учитывая возможное изменение проводимости вследствие загрязнения, наличия окислов, повышенной шероховатости при механической обработке.

8.3 Испытуемый образец должен быть установлен на предметном столике прибора так, чтобы в процессе испытания он не смещался, не прогибался и не поворачивался.

8.4 Поверхность образца, подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси алмазного наконечника.

8.5 Рабочая поверхность алмазного наконечника и поверхность испытуемого изделия должны быть сухими (без смазки).

9. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1. Включить и подготовить прибор к работе согласно руководству по эксплуатации. Выбрать диапазоны перемещения и силы, соответствующие предполагаемым силам нагружения и глубинам внедрения наконечника.

9.2. Подвести индентор к поверхности образца на расстояние примерно 1 мм к области, где предполагается провести измерение.

9.3 Запустить процедуру автоматического подвода индентора к поверхности образца.

9.4 Открыть окно Test Manager (кнопка Measure). Указать параметры индентирования: максимальная нагрузка, время нагружения и выдержки индентора при максимальной нагрузке. В случае измерения контактной поверхности с использованием информации о контактном сопротивлении необходимо активировать режим измерения контактного сопротивления в закладке Measure управляющей программы экспериментального образца iPoRTN.

9.5. Нажать кнопку Start в окне Test Manager.

9.6.1. Измерения площади контактной поверхности с использованием информации о контактном сопротивлении проводятся в следующей последовательности: обработать полученные данные, для этого необходимо открыть окно Nanoindentation (подменю Process в строке состояния программы Viewer). В расположенном слева древовидном списке выбрать пункт Samples. Нажать кнопку New. Написать название (обозначение) образца и указать значения удельного электрического сопротивления для исследуемого материала и материала индентора. Выбрать в списке слева пункт с названием образца. Нажать кнопку Process. Выбрать файлы с измерениями.

9.6.2 Измерения площади контактной поверхности с использованием данных, полученных при измерениях, проведённых с помощью конфокального микроскопа необходимо активировать режим измерения контактной площади отпечатка по данным конфокальной микроскопии, открыть окно Nanoindentation (подменю Process в строке состояния программы Viewer). В расположенном слева древовидном списке выбрать пункт Samples. Нажать кнопку New. Написать название (обозначение) образца и указать значения измеренных диаметров остаточных отпечатков и соответствующих им нагрузок.

9.7. В случае необходимости оформить результаты в виде протокола, форма которого приведена в приложении к методике.

10. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Вычисление значений контактно площади отпечатков проводится программой автоматически. Значения измерений, сгруппированные по силе нагружения, можно увидеть, нажав кнопку Summary. Усреднённые значения для всех результатов измерений выбранного образца можно увидеть в верхней части окна Nanoindentation.

11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений и их обработки выдают в виде протокола по форме, представленной в приложении к методике, подписанного лицом, проводившим измерения, а при необходимости руководителем лаборатории.

Приложение
Форма протокола измерений

Протокол №

Измерения контактной площади отпечатка с помощью экспериментального
образца iPoRTH

1. Метод измерения контактной площади отпечатка: по контактному сопротивлению / по данным конфокальной микроскопии
2. Условия наблюдений:
 - 2.1. Температура в начале измерений, t_n , °C
 - 2.2. Температура в конце измерений t_r , °C
 - 2.3. Относительная влажность, %
3. Сведения об образце:
 - 3.1. Номер образца, дополнительные сведения
 - 3.2. Материал образца
4. Результаты наблюдений

Таблица 1

| № измерения | Максимальная нагрузка индентирования, мН | Площадь отпечатка, измеренная по контактному сопротивлению, мкм^2 | Площадь отпечатка, измеренная по данным конфокальной микроскопии, мкм^2 |
|-------------|--|--|--|
| | | | |

Измерения проводил:

(Ф.И.О.)

_____ (подпись)

Дата измерений:

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ, ФОРМЫ И ШЕРОХОВАТОСТИ
РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



/ А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«6» августа 2019 г.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ, ФОРМЫ И ШЕРОХОВАТОСТИ
РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

г. Москва, г. Троицк – 2019

2. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая инструкция устанавливает методику измерения высоты, формы и шероховатости рельефа поверхности с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Методика измерений площади отпечатка предназначена для:

- получения измерительной информации для дальнейшей оценки механических свойств исследуемых объектов методами индентирования;

2. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность измерений, проводимых в соответствии с требованиями настоящей методики, не превышает 5 %.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Измерения в соответствии с настоящей методикой проводятся с помощью разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

4. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Конечной целью измерений, проводимых в соответствии с настоящей методикой, является получение информации о шероховатости исследуемой поверхности и величине диаметра остаточного отпечатка, образованного в результате индентирования исследуемой поверхности сферическим индентором. Данные измерения проводятся с использованием конфокального сенсора, работа которого основана на принципах конфокальной микроскопии.

Концепция конфокальной микроскопии использует принцип хроматической aberrации. Первый шаг в конфокальном оптическом анализе - это направить источник белого света через фильтрующий оптический компонент на поверхность исследуемого образца. С использованием хроматической aberrации, вызванной дисперсионной линзой, белый свет разделяется на составляющие его длины волн, каждая из которых соответствует различной z-координате в оптической оси. Этот отделенный свет достигает поверхности образца как непрерывный закодированный длиной волн массив фокальных линий.

Поскольку каждая длина волны представлена на различном расстоянии от линзы, отраженные волны света будут отличаться согласно особенностям высоты той или иной определенной области образца. Поэтому, результирующий спектр может быть расценен как спектрофотометрический отклик поверхности материала; спектральные пики представляют «высоту» образца в точке фокуса луча. Система сканирует поверхность образца, создавая спектральные отклики высот в интервалах субмикронного диапазона, и далее суммирует полное изображение с осевой точностью в нанометровом диапазоне.

- Точечный источник белого света направляет полихроматический луч через фильтр на поверхность образца

- Далее свет проходит через хроматическую линзу, которая разделяет белый свет на его составляющие спектральные полосы. Каждая длина волны представлена вдоль оптической оси в уникальном расстоянии от линзы.

- Закодированный длиной волны свет отражается от поверхности образца и проходит через отверстие к спектрометру. Результирующий спектр данной точки коррелирован к высоте поверхности образца в данной точке.

Основным источником погрешности проводимых измерений является корректное определение границ остаточного отпечатка. Любой материал обладает упругими свойствами, что приводит к смещению контактных границ отпечатка после снятия нагрузки. Теоретические и практические исследования на эту тему позволили разработать и внедрить методы автоматической обработки полученных изображений и профилограмм, которые позволяют минимизировать составляющую погрешности, возникающую из-за некорректного определения границ остаточного отпечатка.

5. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

6. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию экспериментального образца iPoRTH.

7. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

8. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1. Поверхность испытуемого образца должна быть свободной от загрязнений на участке нанесения отпечатка

8.2 Провести индентирование поверхности исследуемого образца в соответствии с Руководством пользователя экспериментального образца iPoRTH.

8.3 Установить конфокальный сенсор в систему позиционирования.

8.4 Выбрать в качестве измерительного сигнала канал конфокального сенсора.

Измерения проводятся в два этапа: измерение параметров шероховатости исследуемой поверхности и измерение диаметра остаточного отпечатка

8.5 Выбрать режим измерения шероховатости поверхности в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации экспериментального образца iPoRTH.

8.6 Задать следующие параметры сканирования поверхности:

- длина базовой линии 1 мм
- скорость сканирования: 0,4 мм/с

8.7 Запустить процедуру сканирования

8.9 Измерить шероховатость поверхности с помощью программного обеспечения экспериментального образца iPoRTH в соответствии с руководством по эксплуатации. Зафиксировать измеренный параметр исследованной поверхности Ra

8.10 Провести измерение диаметра остаточного отпечатка в следующей последовательности: на малом увеличении найти область поверхности в которой наносились инденты

8.11 Запустить процедуру сканирования поверхности аналогично п.8.6-8.7 настоящей методики

8.12 обработать в соответствии с требованиями руководства по эксплуатации полученную профилограмму

8.13 С помощью программного обеспечения запустить автоматическую процедуру вычисления диаметра остаточного отпечатка.

8.14 Зафиксировать диаметр остаточного отпечатка

9. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Обработка полученных профилограмм с целью вычисления параметров шероховатости исследуемой поверхности и диаметра остаточного отпечатка проводится с помощью программного обеспечения экспериментального образца iPoRTH в автоматическом режиме при активации соответствующей измерительной команды оператором, который проводит измерения.

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений и их обработки выдают в виде протокола по форме, представленной в приложении к методике, подписанного лицом, проводившим измерения, а при необходимости руководителем лаборатории.

Приложение
Форма протокола измерений

Протокол №

Измерения контактной площади отпечатка с помощью экспериментального
образца iPoRTH

1. Метод измерения: конфокальная микроскопия

2. Условия наблюдений:

2.1. Температура в начале измерений, t_n , °C

2.2. Температура в конце измерений t_r , °C

2.3. Относительная влажность, %

3. Сведения об образце:

3.1. Номер образца, дополнительные сведения

3.2. Материал образца

4. Результаты наблюдений

Таблица 1

| № измерения | Максимальная нагрузка индентирования, мН | Параметр шероховатости R_a , мкм | Диаметр отпечатка, мкм |
|-------------|--|------------------------------------|------------------------|
| | | | |

Измерения проводил:

(Ф.И.О.)

(подпись)

Дата измерений:

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТПЕЧАТКА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ
ИНФОРМАЦИЮ О КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
СОПРОТИВЛЕНИИ И ДАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ КОНФОКАЛЬНОЙ
МИКРОСКОПИИ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«20» декабря 2019 г.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОТПЕЧАТКА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ
ИНФОРМАЦИЮ О КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
СОПРОТИВЛЕНИИ И ДАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ КОНФОКАЛЬНОЙ
МИКРОСКОПИИ

г. Москва, г. Троицк – 2019

3. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая инструкция устанавливает методику измерения площади отпечатка, с использованием информации о контактном электрическом сопротивлении и данные оптической конфокальной микроскопии с использованием разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

Методика измерений площади отпечатка предназначена для:

- получения измерительной информации и дальнейшей оценки механических свойств исследуемых объектов методами индентирования;

2. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Оценочная величина погрешности измерений по данной методике составляет 10 %.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Измерения в соответствии с настоящей методикой проводятся с помощью разрабатываемого экспериментального образца iPoRTH.

4. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Суть метода измерения площади отпечатка с использованием значений контактного электрического сопротивления заключается в следующем:

Возможность использования данных о контактном электрическом сопротивлении для оценки физических свойств различных материалов является задачей, которая решена для широкого круга геометрий контактирующих тел формы области электрического контакта. Для случая контакта сферических тел, при условии, что радиус области контакта существенно меньше размера индентора и исследуемого объекта получено простое соотношение связывающее размер области контакта и его электрическое сопротивление:

$$R = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2a} \quad (1)$$

где ρ_1 и ρ_2 удельные электрические сопротивления индентора и материала, a – радиус области контакта. Типичные значения удельного электрического сопротивления для исследуемых материалов – $\rho_1 = 13 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (сталь) и $\rho_2 = 2.7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м (алюминий).

Представленное выражение описывает идеальную ситуацию, при которой сопротивление переходной области между индентором и материалом считается равным нулю и электрический контакт наблюдается по всей контактной площади. Однако при проведении реальных измерений появляется много факторов, вносящих весомую долю неопределенности в конечный результат. В связи с этим разработана и внедрена в работу блока электроники экспериментального образца iPoRTH схема, позволяющая четырехточечным методом проводить измерение контактного сопротивления.

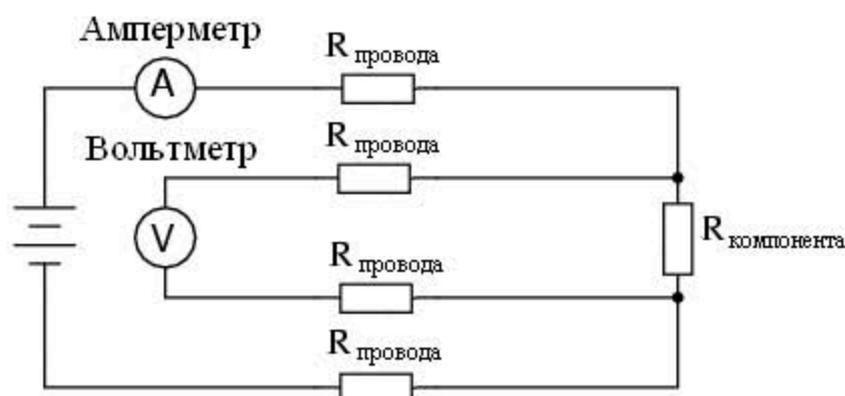


Рисунок 1. Четырёхпроводная схема измерения сопротивления [3]. Сопротивление определяется по отношению показаний вольтметра и амперметра

Для более точных измерений используется режим работы при котором поддерживается постоянная величина тока, протекающего через область контакта предпочтителен.

Для более корректного вычисления контактного радиуса на основе данных о контактном сопротивлении с использованием формулы (1) предлагается ввести корректирующий параметр k , определение которого предлагается сделать на основе корреляций расчётного значения a с величинами $\sqrt{h_t R}$ и $\sqrt{h_p R}$, где h_p и h_t – пластическая и полная глубины, используемые в методе АВИ, и вычислять контактную площадь в соответствии со скорректированной формулой:

$$A = 83.5 \frac{(\rho_1 + \rho_2)^2}{R_{\Omega}^2},$$

которая была введена в вычислительный алгоритм программного обеспечения экспериментального образца iPoRTH.

Измерение площади отпечатка с помощью конфокальной микроскопии сводится к прямому сканированию поверхности исследуемого объекта с помощью конфокального микроскопа. Основной проблемой, возникающей при таком способе измерения, является определение контактных границ остаточного отпечатка. В случае исследования материалов с высокими

упругими свойствами границы отпечатка после снятия нагрузки, создаваемой идентором, сильно восстанавливаются, что делает затруднительным определить границы отпечатка. Теоретические и практические эксперименты показали, что в случае исследования металлов (с высокой пластичностью) данный метод работает с высокой точностью.

5. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При проведении испытаний должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.3.019-80.

6. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРОВ

К проведению испытаний допускается персонал, изучивший эксплуатационную документацию экспериментального образца iPoRTH.

7. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

| | |
|-------------------------------------|---------------|
| температура окружающего воздуха, °С | 23±2 |
| относительная влажность воздуха, % | от 45 до 85 |
| атмосферное давление, мм рт. ст. | от 720 до 790 |

8. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1. Поверхность испытуемого образца должна быть свободной от загрязнений на участке нанесения отпечатка

8.2 При подготовке поверхности испытуемого образца необходимо принять меры предосторожности, учитывая возможное изменение проводимости вследствие загрязнения, наличия окислов, повышенной шероховатости при механической обработке.

8.3 Испытуемый образец должен быть установлен на предметном столике прибора так, чтобы в процессе испытания он не смещался, не прогибался и не поворачивался.

8.4 Поверхность образца, подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси алмазного наконечника.

8.5 Рабочая поверхность алмазного наконечника и поверхность испытуемого изделия должны быть сухими (без смазки).

9. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

9.1. Включить и подготовить прибор к работе согласно руководству по эксплуатации. Выбрать диапазоны перемещения и силы, соответствующие предполагаемым силам нагружения и глубинам внедрения наконечника.

9.2. Подвести индентор к поверхности образца на расстояние примерно 1 мм к области, где предполагается провести измерение.

9.3 Запустить процедуру автоматического подвода индентора к поверхности образца.

9.4 Открыть окно Test Manager (кнопка Measure). Указать параметры индентирования: максимальная нагрузка, время нагружения и выдержки индентора при максимальной нагрузке. В случае измерения контактной поверхности с использованием информации о контактном сопротивлении необходимо активировать режим измерения контактного сопротивления в закладке Measure управляющей программы экспериментального образца iPoRTH.

9.5. Нажать кнопку Start в окне Test Manager.

9.6.1. Измерения площади контактной поверхности с использованием информации о контактном сопротивлении проводятся в следующей последовательности: обработать полученные данные, для этого необходимо открыть окно Nanoindentation (подменю Process в строке состояния программы Viewer). В расположенном слева древовидном списке выбрать пункт Samples. Нажать кнопку New. Написать название (обозначение) образца и указать значения удельного электрического сопротивления для

исследуемого материала и материала индентора. Выбрать в списке слева пункт с названием образца. Нажать кнопку Process. Выбрать файлы с измерениями.

9.6.2 Измерения площади контактной поверхности с использованием данных, полученных при измерениях, проведённых с помощью конфокального микроскопа необходимо активировать режим измерения контактной площади отпечатка по данным конфокальной микроскопии, открыть окно Nanoindentation (подменю Process в строке состояния программы Viewer). В расположенном слева древовидном списке выбрать пункт Samples. Нажать кнопку New. Написать название (обозначение) образца и указать значения измеренных диаметров остаточных отпечатков и соответствующих им нагрузок.

9.7. В случае необходимости оформить результаты в виде протокола, форма которого приведена в приложении к методике.

10. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Вычисление значений контактно площади отпечатков проводится программой автоматически. Значения измерений, сгруппированные по силе нагружения, можно увидеть, нажав кнопку Summary. Усреднённые значения для всех результатов измерений выбранного образца можно увидеть в верхней части окна Nanoindentation.

11. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений и их обработки выдают в виде протокола по форме, представленной в приложении к методике, подписанного лицом, проводившим измерения, а при необходимости руководителем лаборатории.

Приложение
Форма протокола измерений

Протокол №

Измерения контактной площади отпечатка с помощью экспериментального
образца iPoRTH

1. Метод измерения контактной площади отпечатка: по контактному сопротивлению / по данным конфокальной микроскопии
2. Условия наблюдений:
 - 2.1. Температура в начале измерений, t_n , °C
 - 2.2. Температура в конце измерений t_r , °C
 - 2.3. Относительная влажность, %
3. Сведения об образце:
 - 3.1. Номер образца, дополнительные сведения
 - 3.2. Материал образца
4. Результаты наблюдений

Таблица 1

| № измерения | Максимальная нагрузка индентирования, мН | Площадь отпечатка, измеренная по контактному сопротивлению, мкм^2 | Площадь отпечатка, измеренная по по данным конфокальной микроскопии, мкм^2 |
|-------------|--|--|---|
| | | | |

Измерения проводил:

(Ф.И.О.)

_____ (подпись)

Дата измерений:

ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ФГБНУ ТИСНУМ

С.А. Терентьев

« 6 » сентября 2019 г.



Акт изготовления объектов испытаний

экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера (iPoRTH)

по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года

№ 14.577.21.0274

Шифр 2017-14-579-0057

« 6 » сентября 2019 г.

г. Москва, г. Троицк

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|---|-------------------------------|
| председателя | Первого заместителя директора по научной работе | А.С. Усеинова |
| членов комиссии | заведующего отделом ученого секретаря | С.А. Перфилова Д.В. Батова |
| | начальника финансово-договорного отдела | А.В. Мамонова, |

назначенная приказом по ФГБНУ ТИСНУМ от 1 апреля 2019 г. № 46-о, составила настоящий акт о нижеследующем:

1. Комиссии предъявлены:

1.1 Экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера (iPoRTH) в количестве 3 шт.

1.2 Комплект конструкторской документации экспериментальный образец портативного роботизированного твердомера в составе:

- Схема деления структурная модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 Е1;
- Чертеж общего вида модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 ВО;
- Схема электрическая функциональная модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 Э2;
- Перечень элементов схемы электрической функциональной модуля измерительного индентационного ЭД.iPoRTH.МИИ-1.000 ПЭ Э2;
- Чертеж Корпус-основание ЭД.iPoRTH.МИИ-1.001;
- Чертеж Пластина подвижная1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.002;
- Чертеж Пластина подвижная2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.003;
- Чертеж Пластина верхняя ЭД.iPoRTH.МИИ-1.004;
- Чертеж Стенка боковая1 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.005;
- Чертеж Стенка боковая2 ЭД.iPoRTH.МИИ-1.006;
- Чертеж Стенка боковая ЭД.iPoRTH.МИИ-1.007;
- Чертеж Крышка ЭД.iPoRTH.МИИ-1.008;
- Чертеж Стакан ЭД.iPoRTH.МИИ-1.009;
- Чертеж Муфта ЭД.iPoRTH.МИИ-1.010;
- Чертеж Вал направляющий ЭД.iPoRTH.МИИ-1.011;
- Чертеж Винт трапецеидальный ЭД.iPoRTH.МИИ-1.012;
- Схема электрическая функциональная модуля беспроводной цифровой связи ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000 Э2;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.МИИ МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Микроскоп МЭ;
- Чертеж электромонтажный ЭД.iPoRTH.Профилометр МЭ.

2. В результате проверки установлено:

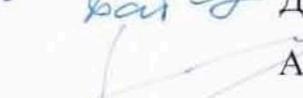
Объект испытаний изготовлен ФГБНУ ТИСНУМ в период с 10 июня 2019 г. по 5 сентября 2019 г. в соответствии с документацией на объект испытаний (см. комплект чертежей по п.1.2) в комплектности, установленной техническим заданием.

3. Вывод

Объект испытаний пригоден для проведения исследовательских испытаний.

Председатель

Члены комиссии

 А.С. Усеинов
 С.А. Перфилов
 Д.В. Батов
 А.В. Мамонов

«Утверждаю»

Генеральный директор

А.М. Володин

августа 2019 г.



АКТ

монтажа и наладки оборудования

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|---------------------|-----------------|
| председателя | Зам. гл. инженера | В.В. Абрамяна |
| членов комиссии | Главного металлурга | С.М. Хорикова |
| | Зам. гл. инженера | Н.П. Петрова |
| | Нач. цеха № 2 | О.П. Агафонова, |

назначенная приказом по ОАО «Тяжпрессмаш» от 18.09.2017 № 1527А, провела проверку проведения монтажа и пуско-наладочных работ на приобретенном оборудовании:

- Многоуровневая система управления промышленных печей ТермоМастер (1 шт.)
- Рекуперативная горелка REKUMAT M250 (10 шт.)

Комиссией установлено следующее:

1. Оборудование соответствует заявленным требованиям, без замечаний.
2. Установка, монтаж, пуско-наладочные работы оборудования выполнены в соответствии техническими требованиями, в надлежащий срок, с надлежащим качеством.
3. Оборудование соответствует требованиям промышленной, пожарной и экологической безопасности.
4. Оборудование может быть введено в эксплуатацию.

Выводы:

1. Оборудование введено в эксплуатацию по адресу: г. Рязань, ул. Промышленная, д.5, ОАО «Тяжпрессмаш» с 27 августа 2019 г.
2. Гарантийное обслуживание выполнять по регламенту.

Председатель



В.В. Абрамян

Члены комиссии



Н.П. Петров



О.П. Агафонов



С.М. Хориков

СОГЛАСОВАНО
Врио. директора ФГБНУ ТИСНУМ

С.А. Терентьев

31 декабря 2019 г.



Перечень приобретенного оборудования / комплектующих / материалов
в рамках выполнения работ по внебюджетному финансированию

| | |
|------------------------|--|
| Номер соглашения | № 14.577.21.0274 от 26 сентября 2017 г. |
| Номер этапа | 3 |
| Индустриальный партнер | ОАО «Тяжпрессмаш» |
| Получатель субсидии: | федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов» |

Основание: Договор от 18.09.2017г. № 25/2017 о дальнейшем использовании результатов исследований (проекта)

| № п/п | Виды приобретенного оборудования / комплектующих / материалов | Стоимость приобретения, рублей |
|-------|--|--------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1. | Ферросплавы | 1 320 000 |
| 2. | Металл (листы г/к) | 3 138 000 |
| 3. | Трубы | 3 462 508 |
| 4. | Ферросплавы | 1 071 000 |
| 5. | Проволока сварочная | 664 293 |
| 6. | Песок хромитовый | 1 267 000 |
| 7. | Многоуровневая система управления для промышленных печей (1 шт.) | 2 623 500 |
| 8. | Рекуперативная горелка REKUMAT M250 (10 шт.) | 3 470 000 |
| | ИТОГО | 17 016 301 |

ОАО «Тяжпрессмаш»
Генеральный директор

31 декабря 2019 г.
М.П.



А.М. Володин

«Согласовано»
Главный инженер


В.А. Сорокин

« 2 » сентября 2019 г.

«Утверждаю»
Генеральный директор


А.М. Володин

« 2 » сентября 2019 г.



**Акт
выполненных работ от 02.09.2019 г.**

Мы, нижеподписавшиеся, главный энергетик Кучер И.В., зам. гл. инженера Абрамян В.В., начальник цеха №11 Трухачев В.А., с одной стороны и главный металлург Хориков С.М., начальник цеха №12 Козлов А.А., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что работы по модернизации стенда термической обработки, расположенного на территории ОАО «Тяжпрессмаш».

Краткое содержание работ:

- внедрено использование волокнистых теплоизоляционных материалов с целью реализации энергосберегающих мероприятий;
- введена новая конструкция выкатных под;
- запущена новая схема струйного теплового нагрева изделий.

Работы выполнены в полном объеме в соответствии с документом производственного заказа, замечаний нет.

Работу сдал:

Главный энергетик

Зам. гл. инженера

Начальник цеха №11

Кучер И.В.

Абрамян В.В.

Трухачев В.А.

Работу принял:

Главный металлург

Начальник цеха №12

Хориков С.М.

Козлов А.А.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «Тяжпрессмаш»

А.М. Володин

20 сентября 2019 г.



Акт изготовления объектов испытаний

модельные тестовые образцы полых литых заготовок
по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года
№ 14.577.21.0274
Шифр 2017-14-579-0057

20 сентября 2019 г.

г. Рязань

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|---------------------|----------------|
| председателя | Зам. гл. инженера | В.В. Абрамяна |
| членов комиссии | Зам. гл. инженера | Н.П. Петрова |
| | Начальника цеха №2 | О.П. Агафонова |
| | Главного металлурга | С.М. Хорикова, |

назначенная приказом по ОАО «Тяжпрессмаш» от 18 сентября 2017 г. № 1527А, составила настоящий акт о нижеследующем:

1. Комиссии предъявлены:

- 1.1 Образец полый литой заготовки ПЛЗ-325x9,0 40ХН2МА в количестве 1 шт.
- 1.2 Образец полый литой заготовки ПЛЗ -273x16 35ЧМА в количестве 1 шт.
- 1.3 Образец полый литой заготовки ПЛЗ -426x8,0 38ХНВА в количестве 1 шт.
- 1.4 Конструкторская документация на модельные тестовые образцы полых литых заготовок в составе:

- Чертеж Заготовка ЭД.ТГДО.ПЛЗ.000.03.001;
- Чертеж Заготовка ЭД. ТГДО.ПЛЗ.000.03.002;
- Чертеж Заготовка ЭД. ТГДО.ПЛЗ.000.03.003;

1.5 Технологический регламент проведения термической обработки полых литых заготовок 256220-095-00744002-19ЛР.

1.6 Технологический регламент выполнения механической обработки полых литых заготовок 256220-096-00744002-19ЛР

1.7 Документ производственного заказа:

- Приказ генерального директора ОАО «Тяжпрессмаш» от 8 сентября 2017 года № 1527А.

2.В результате проверки установлено:

2.1. Объекты испытаний изготовлены ОАО «Тяжпрессмаш» в период с 9 по 20 сентября 2019 г. в соответствии с документацией на объекты испытаний в комплектности, установленной техническим заданием.

3. Вывод

Объект испытаний пригоден для проведения исследовательских испытаний.

Председатель

Члены комиссии



В.В. Абрамян

Н.П. Петров

О.П. Агафонов

С.М. Хориков

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «Тяжпрессмаш»

А.М. Володин

4 октября 2019 г.



Акт изготовления объектов испытаний

модельные тестовые образцы термически обработанных труб
по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 года
№ 14.577.21.0274
Шифр 2017-14-579-0057

4 октября 2019 г.

г. Рязань

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|---------------------|----------------|
| председателя | Зам. гл. инженера | В.В. Абрамяна |
| членов комиссии | Зам. гл. инженера | Н.П. Петрова |
| | Начальника цеха №2 | О.П. Агафонова |
| | Главного металлурга | С.М. Хорикова, |

назначенная приказом по ОАО «Тяжпрессмаш» от 18 сентября 2017 г. № 1527А, составила настоящий акт о нижеследующем:

1. Комиссии предъявлены:

- 1.1 Образец трубы ЦЛТ-900/2700 Ст3сп в количестве 1 шт.
- 1.2 Образец трубы ЦЛТ-530/2700 Ст20 в количестве 1 шт.
- 1.3 Образец трубы ЦЛТ-273/2700 Ст15 в количестве 1 шт.
- 1.4 Конструкторская документация на модельные тестовые образцы термически обработанных труб в составе:

- Чертеж Труба ЭД.ТГДО.ЦЛТ.000.03.001;
- Чертеж Труба ЭД. ТГДО.ЦЛТ.000.03.002;
- Чертеж Труба ЭД. ТГДО.ЦЛТ.000.03.003;

1.5 Технологический регламент проведения термической обработки труб 256220-097-00744002-19ЛР.

1.6 Документ производственного заказа:

- Приказ генерального директора ОАО «Тяжпрессмаш» от 8 сентября 2017 года № 1527А.

2.В результате проверки установлено:

2.1. Объекты испытаний изготовлены ОАО «Тяжпрессмаш» в период с 23 сентября 2019 г. по 4 октября 2019 г. в соответствии с документацией на объекты испытаний в комплектности, установленной техническим заданием.

3. Вывод

Объект испытаний пригоден для проведения исследовательских испытаний.

Председатель

Члены комиссии



В.В. Абрамян

Н.П. Петров

О.П. Агафонов

С.М. Хориков

АКТ испытаний

встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи
Соглашение 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

«11» октября 2019 г.

г. Москва, г. Троицк

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|--|----------------|
| председателя | первого заместителя директора по науке А.С. Усеинова | |
| | работе | |
| членов комиссии | заведующего отделом | А.С. Перфилова |
| | ученого секретаря | Д.В. Батова |
| | Начальника финансово-договорного отдела | А.В. Мамонова |

назначенная приказом по ФГБНУ ТИСНУМ от «01» апреля 2019 г. №46-о, в период с «08» октября 2019 г. по «11» октября 2018 г. провела испытания встроенного ПО модуля беспроводной цифровой связи.

Испытания проведены в ФГБНУ ТИСНУМ по Программе и методикам RU.iPoRTH.00001-01 51 03

1. Комиссией установлено:

1.1. Программа испытаний выполнена полностью.

1.2. Объект испытаний выдержал испытания по Программе и методикам RU.iPoRTH.00001-01 51 03 ПМ.

2. Выводы

Объект испытаний соответствует всем требованиям, заданным техническим заданием Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

3. Замечания и рекомендации

По результатам проведённых испытаний замечаний и рекомендаций нет.

Председатель комиссии

Члены комиссии

 А.С. Усеинов
 А.С. Перфилов
 Д.В. Батов
 А.В. Мамонов

АКТ испытаний

Пользовательское ПО вычислительного блока обработки данных для визуализации результатов измерений
Соглашение 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях»
(уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

«04» октября 2019 г.

г. Москва, г. Троицк

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|---|----------------|
| председателя | первого заместителя директора по науке | А.С. Усеинова |
| | работе | |
| членов комиссии | заведующего отделом | А.С. Перфилова |
| | ученого секретаря | Д.В. Батова |
| | Начальника финансово-договорного отдела | А.В. Мамонова |

назначенная приказом по ФГБНУ ТИСНУМ от «01» апреля 2019 г. №46-о, в период с «02» октября 2019 г. по «04» октября 2019 г. провела испытания Пользовательское ПО вычислительного блока обработки данных для визуализации результатов измерений.

Испытания проведены в ФГБНУ ТИСНУМ по Программе и методикам RU.iPoRTH.00001-01 51 04 ПМ

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Объект испытаний выдержал испытания по Программе и методикам RU.iPoRTH.00001-01 51 04 ПМ.

2. Выводы

Объект испытаний соответствует всем требованиям, заданным техническим заданием Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик

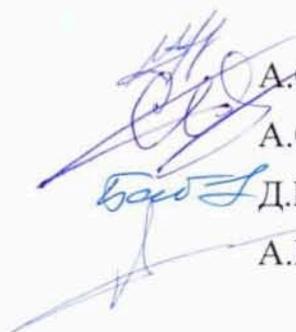
материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

3. Замечания и рекомендации

По результатам проведённых испытаний замечаний и рекомендаций нет.

Председатель комиссии

Члены комиссии



А.С. Усеинов
А.С. Перфилов
Д.В. Батов
А.В. Мамонов

АКТ

исследовательских испытаний

экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях

Соглашение 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

«15» ноября 2019 г.

г. Москва, г. Троицк

Комиссия в составе:

| | | |
|-----------------|--|----------------|
| председателя | первого заместителя директора по нау А.С. Усеинова работе | |
| членов комиссии | заведующего отделом | А.С. Перфилова |
| | ученого секретаря | Д.В. Батова |
| | Начальника финансово-договорного отдела | А.В. Мамонова |

назначенная приказом по ФГБНУ ТИСНУМ от «01» апреля 2019 г. №46-о, в период с «27» ноября 2019 г. по «13» декабря 2019 г. провела испытания экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях.

Испытания проведены в ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань по Программе и методикам ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ.

1. Комиссией установлено:

- 1.1. Программа исследовательских испытаний выполнена полностью.
- 1.2. Объект испытаний выдержал исследовательские испытания по Программе и методикам ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ.

2. Выводы

Объект испытаний соответствует всем требованиям, заданным техническим заданием Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного

оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

3. Замечания и рекомендации

По результатам проведённых испытаний замечаний и рекомендаций нет.

Председатель комиссии

Члены комиссии



А.С. Усеинов
А.С. Перфилов
Д.В. Батов
А.В. Мамонов

АКТ

исследовательских испытаний

экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях

Соглашение 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

«13» декабря 2019 г.

г. Рязань

Комиссия по проведению исследовательских испытаний в составе:

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Заместитель главного инженера | В.В. Абрамян |
| Начальник цеха №2 | О.П. Агафонов |
| Заместитель главного инженера | Н.П. Петров |
| Главный металлург | С.М. Хориков |

назначенная приказом по ОАО «Тяжпрессмаш» от «18» сентября 2017 г. №1527А, в период с «27» ноября 2019 г. по «13» декабря 2019 г. провела испытания экспериментального образца iPoRTH на образцах термически обработанных труб в полевых условиях.

Испытания проведены в ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань по Программе и методикам ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ.

1. Комиссией установлено:

1.1. Программа исследовательских испытаний выполнена полностью.

1.2. Объект испытаний выдержал исследовательские испытания по Программе и методикам ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ.

2. Выводы

Объект испытаний соответствует всем требованиям, заданным техническим заданием Соглашения 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии для финансового обеспечения затрат, связанных с выполнением прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной

отраслях» (уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57717X0274.

3. Замечания и рекомендации

По результатам проведённых испытаний замечаний и рекомендаций нет.

Зам. гл. инженера



В.В. Абрамян

Начальник цеха №2



О.П. Агафонов

Зам. гл. инженера



Н.П. Петров

Главный металлург



С.М. Хориков

ПРОТОКОЛ

испытания по пункту № 4.1 - 4.4

Программы и методики исследовательских испытаний встроенного программного обеспечения модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH
RU.iPoRTH.00001-01 51 03 ПМ

№ 1

«11» октября 2019 г.

- 1. Объект испытания:** встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4 технического задания: 4.3.1.3.15; 4.3.1.3.14; 4.3.1.2.15
- 3. Дата начала испытания:** 08 октября 2019 г
- 4. Дата окончания испытания:** 11 октября 2019 г
- 5. Место проведения испытания:** ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д.7а

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований и ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|--------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Проверка программной документации | - | 6.1 | | Соответствие | Соотв. ет |
| Установление идентификационных данных (признаков) ВПОМБС | | 6.2 | | Соответствие | Соотв. ет |
| Встроенное ПО электронной схемы управления и модуля беспроводной цифровой связи должно быть написано с применением языков программирования С и ассемблер | 4.3.1.3.15 4.3.1.3.14 | 6.3 | | Соответствие | Соотв. ет |
| Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи предназначено для обмена данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных | 4.3.1.2.15 | 6.4 | мм | Обеспечение | Обеспечено |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.4 Программы и методики

RU.iPoRTH.00001-01 51 03 ПМ

8.2 Объект испытания:

Встроенное программное обеспечение модуля беспроводной цифровой связи iPoRTH, соответствует / не соответствует требованиям пункта № 4.технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Заведующий отделом
исследования физико-
механических свойств



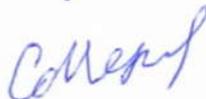
А.С. Усеинов

Научный сотрудник



В.В. Соловьев

Младший научный сотрудник



С.Л. Мелекесова

Младший научный сотрудник



Е.В. Гладких

ПРОТОКОЛ

испытания по пункту № 4.1 - 4.2

Программы и методики исследовательских испытаний пользовательского ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов RU. iPoRTH.00001-01 51 04 ПМ

№ 1

«04» октября 2019 г.

- 1. Объект испытания:** пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № 4 технического задания: 4.3.1.2.13; 4.3.1.3.13
- 3. Дата начала испытания:** 02 октября 2019 г
- 4. Дата окончания испытания:** 04 октября 2019 г
- 5. Место проведения испытания:** ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д.7а

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований и ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|--------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно обеспечивать сбор, обработку, визуализацию и хранение результатов измерений, с возможностью их последующего анализа, вывода на печать или сохранения на внешний носитель информации. | 4.3.1.2.13 | 6.1 | | обеспечение | Обеспечивает |
| Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных должно иметь функции графического вывода результатов и использовать оконный интерфейс. | 4.3.1.3.13 | 6.2 | | обеспечение | Обеспечивает |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.2 Программы и методики RU. iPoRTH.00001-01 51 04 ПМ.

8.2 Объект испытания:

Пользовательское ПО вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов, соответствует / не соответствует требованиям пункта № 4.3.1.2.13; 4.3.1.3.13 технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Заведующий отделом
исследования физико-
механических свойств



А.С. Усеинов

Научный сотрудник



В.В. Соловьев

Младший научный сотрудник



С.Л. Мелекесова

Младший научный сотрудник



Е.В. Гладких

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 4.1 - 4.3

Программы и методики исследовательских экспериментального образца iPoRTH на тестовых модельных образцах толстостенных труб большого диаметра и полых литых заготовок в лабораторных условиях
ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ

№ 1

«15» ноября 2019 г.

1. **Объект испытания:** модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH
2. **Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям технического задания
3. **Дата начала испытания:** 30 октября 2019 г
4. **Дата окончания испытания:** 15 ноября 2019 г
5. **Место проведения испытания:** ФГБНУ ТИСНУМ, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д.7а

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|---|------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| МИОК должен позволять проводить измерения путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича | 4.3.1.2.3 | 6.1 | | обеспечение | <i>обеспечивает</i> |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в лабораторных условиях | 4.2.4 | 6.2 | ГПа | обеспечение | <i>обеспечивает</i> |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в лабораторных условиях | 4.2.5 | 6.3 | ГПа | обеспечение | <i>обеспечивает</i> |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.3 Программы и методики ЭД.iPoRTH.000.01-ПМ.

8.2 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, соответствует / не соответствует требованиям

технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Заведующий отделом
исследования физико-
механических свойств

А.С. Усеинов

Научный сотрудник

В.В. Соловьев

Младший научный сотрудник

С.Л. Мелекесова

Младший научный сотрудник

Е.В. Гладких

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № 4.1 - 4.3

Программы и методики исследовательских испытаний экспериментального образца iPoRTH
на образцах термически обработанных труб в полевых условиях
ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ

№ 1

«13» декабря 2019 г.

1. **Объект испытания:** модуль измерительный оперативного контроля iPoRTH
2. **Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям технического задания
3. **Дата начала испытания:** 27 ноября 2019 г
4. **Дата окончания испытания:** 13 декабря 2019 г
5. **Место проведения испытания:** ОАО «Тяжпрессмаш», г. Рязань, ул. Промышленная, 5.

6. Результаты испытания

| Наименование показателя | Пункт требований ТЗ/ТУ | Пункт методики | Ед. изм. | Номинальное значение | Измеренное значение |
|--|------------------------|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| Модуль измерительный индентационный iPoRTH должен проводить измерения путем вдавливания сферического наконечника | 4.3.1.2.3 | 6.1 | | обеспечение | обеспечивает |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения механических свойств материалов в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в полевых условиях | 4.2.4 | 6.2 | ГПа | обеспечение | обеспечивается |
| Экспериментальный образец iPoRTH должен позволять проводить измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения в полевых условиях | 4.2.5 | 6.3 | ГПа | обеспечение | обеспечивает |

7. Замечания и рекомендации

8. Выводы

8.1 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, выдержал/не выдержал испытание по пункту № 4.1.-4.3 Программы и методики ЭД.iPoRTH.000.02-ПМ.

8.2 Объект испытания:

Экспериментальный образец iPoRTH, соответствует / не соответствует требованиям технического задания, согласованного с государственным заказчиком.

Испытание проводили

Зам. гл. инженера



В.В. Абрамян

Начальник цеха №2



О.П. Агафонов

Зам. гл. инженера



Н.П. Петров

Главный металлург



С.М. Хориков

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ПРОГРАММНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ВСТРОЕННОЕ ПО МОДУЛЯ
БЕСПРОВОДНОЙ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

Общество с ограниченной ответственностью «РЭА-Т»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»


А.М. Володин


УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «РЭА-Т»


С.Е. Федосеев
«7» октября 2019 год
М.П. 

Встроенное ПО
модуля беспроводной цифровой связи

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.1PoRTH.00001-01 13 03 ЛУ

ПРОВЕРЕНО

Технический директор


М.А.Галкин
«7» октября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО

Инженер


М.Н. Куклев
«7» октября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР


Ю.В. Орешников
«7» октября 2019 г.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл. | |

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 13 03-ЛГУ

| | |
|--------------|--|
| Име. № подл. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв.№ | |
| Име. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Модуль беспроводной цифровой связи

Описание программы
RU.iPoRTH.00001-01 13 03

Листов 18

Аннотация

Настоящий документ содержит информацию об использовании программных блоков «блок пересылки данных» и «блок управления беспроводной связью», входящих в состав микропрограммы блока электроники, а также блока «блок управления модулем беспроводной цифровой связи», входящего в состав программы mbcs.exe, предназначенной для работы с экспериментальным образцом прибора, разрабатываемым в рамках прикладного научного исследования по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

Документ описывает функциональное назначение программных блоков, описание их логической структуры, характеристики используемых технических средств, процедуры вызова и загрузки, а также описание входных и выходных данных.

Содержание

| | | |
|---|---|-----|
| 1 | Общие сведения | 381 |
| 2 | Функциональное назначение | 382 |
| 3 | Описание логической структуры | 384 |
| 4 | Используемые технические средства | 389 |
| 5 | Вызов и загрузка | 391 |
| 6 | Входные данные..... | 392 |
| 7 | Выходные данные | 393 |

1 Общие сведения

Обозначение и наименование программы:

- Блок управления модулем беспроводной цифровой связи: mbcс.exe;
- Микропрограмма модуля беспроводной цифровой связи: SI-MBCS.hex.

Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы:

- операционная система Microsoft Windows 7 / 8;
- распространяемый пакет Microsoft Visual C++ redistributable 2010 (x86).

2 Функциональное назначение

Программный блок «блок управления модулем беспроводной цифровой связи» предназначен для подключения к модулю беспроводной цифровой связи, тестирования соединения, дистанционного управления процессом измерений, а также задания и считывания параметров проводимых измерений. В блоке присутствуют следующие операции:

- Операция поиска устройств;
- Операция подключения к модулю беспроводной цифровой связи;
- Операция отключения от модуля беспроводной цифровой связи;
- Операция проведения тестового запроса к модулю беспроводной цифровой связи;
- Операция считывания текущих настроек измерения;
- Операция сохранения текущих настроек измерения;
- Операция запуска процесса измерения;
- Операция получения измеренных данных;
- Операция запуска процесса вычисления измеренных значений.

Программный блок «блок управления передачей данных» предназначен для управления массивами измеренных данных и пересылки их в блок вычислительный сбора и обработки данных. В блоке присутствуют следующие операции:

- Операция управления массивами данных (конечный автомат);
- Операция подготовки стандартного пакета к пересылке;
- Операция подготовки произвольного пакета к пересылке.

Программный блок «блок управления беспроводной цифровой связью» предназначен для управления микросхемами, непосредственно осуществляющими беспроводную цифровую связь при помощи интерфейса SPI. В блоке присутствуют следующие операции:

- Операция инициализации микросхем беспроводной цифровой связи;
- Операция управления процессом беспроводной цифровой связи.

Функциональные ограничения на применение: программа предназначена исключительно для работы с экспериментальным образцом прибора, разрабатываемого в рамках прикладного научного исследования по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

3 Описание логической структуры

Программный блок «блок управления модулем беспроводной цифровой связи» реализован в виде структурных элементов типа «класс» языка C++. Данный класс в соответствии с моделью объектно-ориентированного программирования интегрирован в архитектуру исходного кода программы mbcs.exe. Данная программа исполняется в блоке вычислительном сбора и обработки данных.

Программные блоки «блок пересылки данных» и «блок управления беспроводной цифровой связью» реализованы в виде структурных элементов типа «модуль» языка C. В соответствии с моделью структурного программирования данные модули интегрированы в архитектуру исходного кода микропрограммы SI-MBCS.hex. Данная микропрограмма прошивается в микроконтроллер, расположенный на основной плате модуля беспроводной цифровой связи, и выполняется на нём же.

Блок управления модулем беспроводной цифровой связи

Функции данного блока реализованы в классе CmbcsDlg. Класс CmbcsDlg состоит из двух файлов с исходным кодом. Файл CmbcsDlg.h содержит объявления всех функций-методов класса и переменных-членов класса, используемых для реализации процедур управления блоком электроники. Файл CmbcsDlg.cpp содержит исходный код с реализацией алгоритмов управления в соответствии с перечнем методов.

При формировании кода соблюдаются правила именования переменных и функций, а также порядок форматирования исходного кода в соответствии с венгерской нотацией. Суть венгерской нотации сводится к тому, что имена идентификаторов предваряются заранее оговорёнными префиксами, состоящими из одного или нескольких символов. В рамках написания исходного кода используется вид венгерской нотации, рекомендуемый корпорацией Microsoft.

Алгоритм работы блока приведёт на рисунке ГА.1.

Блок управления передачей данных

Функции данного блока реализованы в модуле SrvInt. Модуль SrvInt состоит из двух файлов с исходным кодом. Файл SrvInt.h содержит объявления всех функций модуля и глобальных переменных, используемых для реализации процесса управления беспроводной цифровой связью. Файл SrvInt.c содержит исходный код с реализацией алгоритмов измерения в соответствии с перечнем функций.

Данный блок реализован в виде конечного автомата. Когда на очередном цикле работы основной прошивки доходит очередь до изменения состояния автомата, тот проверяет, пришли ли новые данные от Блока управления беспроводной цифровой связью. Если данные пришли, он проводит анализ пришедших данных в совокупности. Если оказывается, что пришедшие данные формируют цельный пакет-запрос, начинается формирование ответа. Если данные ошибочные, либо было превышено время ожидания, происходит очистка входного буфера и переход автомата в начальное состояние –ожидание первого байта пакета.

Алгоритм работы блока в виде схемы автомата приведён на рисунке ГА.2.

Блок управления беспроводной цифровой связью.

Функции данного блока реализованы в модуле bluetooth. Модуль bluetooth состоит из двух файлов с исходным кодом. Файл bluetooth.h содержит объявления всех функций модуля и глобальных переменных, используемых для реализации процесса управления беспроводной цифровой связью. Файл bluetooth.c содержит исходный код с реализацией алгоритмов измерения в соответствии с перечнем функций.

Алгоритм работы блока приведён на рисунке ГА.3.



Рисунок ГА.1 – Блок-схема алгоритма работы блока управления модулем беспроводной цифровой связи

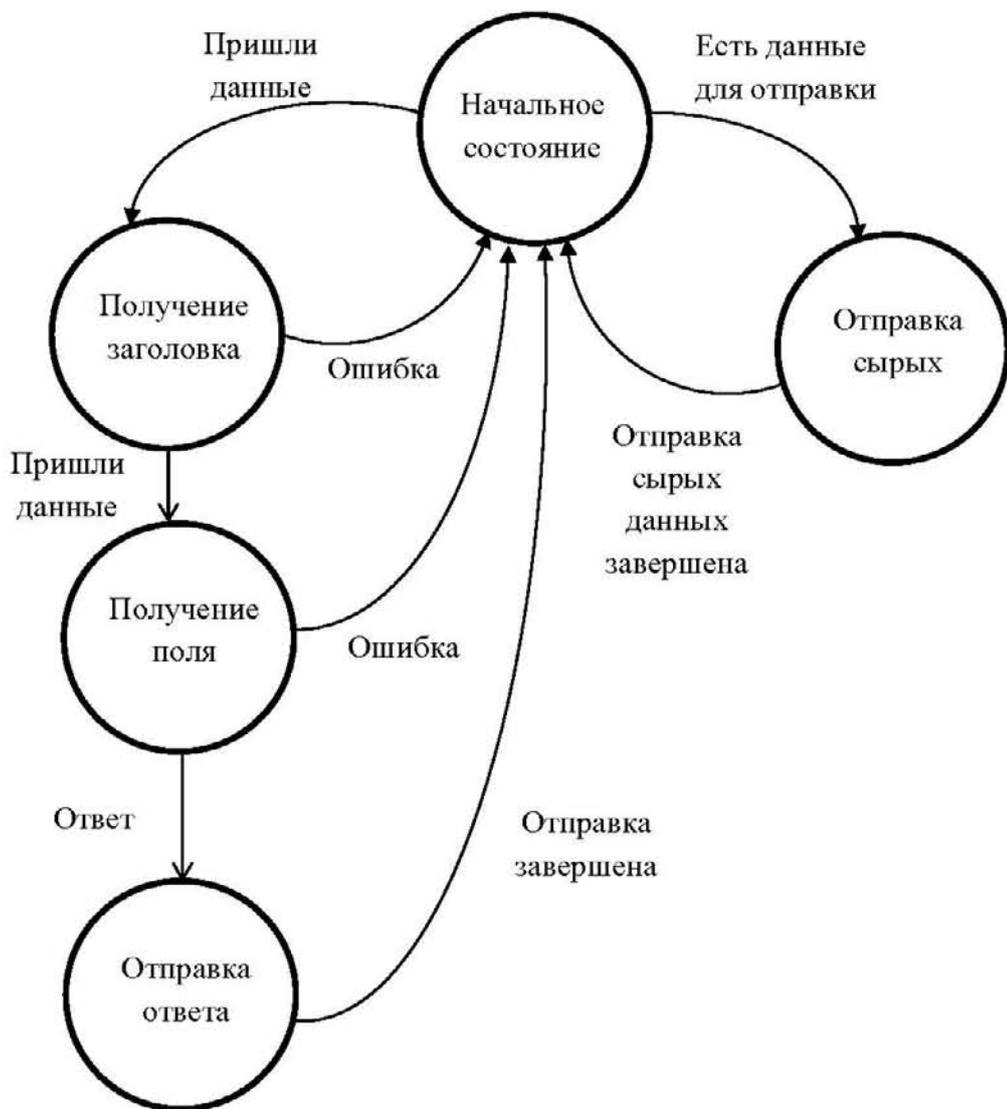


Рисунок ГА.2 – Схема алгоритма работы блока управления передачей данных, представленная в виде конечного автомата



Рисунок ГА.3 – Блок-схема алгоритма работы блока управления беспроводной цифровой связью

4 Используемые технические средства

Программный блок «Блок управления модулем беспроводной цифровой связи» предназначен для работы на IBM-совместимых персональных компьютерах. Операционная система: Microsoft Windows 7 / 8.

Требования к аппаратному обеспечению персонального компьютера:

- CPU 2x2.6GHz Intel Celeron E3400
- Корпус: Case Crown ATX CMC-S09 400W black
- Motherboard ASUS P5G41T-M LX2-GB LGA775 PCI-E+SVGA+GbLAN SATA MicroATX 2xDDR-III
- Память: 1xDDR-III 2GB 1333GHz
- Жесткий диск: HDD 500GB ST500DM002 Seagate Barracude 7200
- Оптический привод: DVD-CD-RW
- Controller ST-Lab PCI-Ex1 U-610 USB 3.0 3ext+1int 1.5Mbps-12Mbps-480Mbps-5Gbps
- Keyboard Defender Cascade 960s silver-black USB
- Mouse Genius NetScroll 100 silver-black USB
- Monitor Philips 236V3LAB-00 black 23" TFT-TN LED Full HD 1920x1080 5ms audio 2x1,5W

Для корректной работы программы требуется, чтобы блок беспроводной цифровой связи был включён. *Рекомендуется при подключении к сети питания использовать источник бесперебойного питания.*

Для работы программы не требуется подключения каких-либо других периферийных устройств.

Блоки «Блок управления передачей данных» и «Блок управления беспроводной цифровой связью» выполняются на микроконтроллере, расположенном в модуле беспроводной цифровой связи. Требования к микроконтроллеру:

- Архитектура: PIC32;

- Объём оперативной памяти: не менее 512 КБ;
- Объём памяти, предназначенный для хранения прошивки: не менее 1 МБ.
- Наличие трёх таймерных блоков;
- Наличие на плате микросхем, обеспечивающих беспроводную цифровую связь (Bluetooth).

5 Вызов и загрузка

Программа блока управления модулем беспроводной цифровой связи `mbscs.exe` имеет стандартный оконный интерфейс операционной системы Microsoft Windows, поэтому для работы с ней необходимо владеть базовыми навыками работы в данной ОС.

Для работы программы блок беспроводной цифровой связи должен иметь исправные заряженные батареи и должен быть включён.

Для запуска программы необходимо вызвать исполняемый файл с расширением `exe`, расположенный на жестком диске ПК. Не допускается запускать программу с других носителей (CD, USB и др.).

Точка входа в программу:

```
C:\mc\mbscs.exe
```

Блоки управления передачей данных и управления беспроводной цифровой связью прошиваются в блок электроники при помощи среды разработки (например, MPLAB X IDE) по протоколу SWD. Запуск осуществляется автоматически при включении блока беспроводной цифровой связи.

Точка входа в блок управления передачей данных:

```
void SrvInt_Main(void)
```

Точка входа в блок управления системой позиционирования:

```
void loop(void)
```

6 Входные данные

Входными данными для работы программного блока «блок управления модулем беспроводной цифровой связи» являются:

- Список возможных устройств для подключения в главном окне программы
- Настройки измерения в текстовых полях «Нагрузка» и «Время»

Перед запуском программы не требуется предварительная подготовка входных данных. Все необходимые изменения параметров и настроек производятся из пользовательского интерфейса программы.

Входными данными для блоков «блок управления передачей данных» и «блок управления беспроводной цифровой связью» являются данные, передаваемые блоку беспроводной цифровой связи из компьютера, а также настройки, хранимые в энергонезависимой памяти.

Передача данных из компьютера осуществляется автоматически при помощи блока управления модулем беспроводной цифровой связи. Данные содержатся в главном окне программы

Кодирование и шифрование входных данных не предусмотрено.

7 Выходные данные

Выходными данными блока управления модулем беспроводной цифровой связи являются:

- текстовые файлы, содержащие отладочные сообщения алгоритмов цифровой обработки сигналов; данные файлы располагаются в подкаталоге «Лог» рабочего каталога программы;
- бинарные файлы, содержащие измеренные значения сигналов, полученные из блока электроники; файлы со значениями сигналов располагаются в подкаталоге «Данные» в рабочем каталоге программы;
- численные значения параметров образца, полученные в результате измерения; эти значения выводятся в главное окно программы.

Выходными данными блоков управления передачей данных и управления беспроводной цифровой связи являются измеренные значения сигналов. Эти данные передаются в компьютер блоку управления модулем беспроводной цифровой связи, где преобразуются в файлы.

Кодирование и шифрование выходных данных не предусмотрено.

Общество с ограниченной ответственностью «РЭА-Т»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»


М.П.  А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «РЭА-Т»


М.П.  С.Е. Федосеев
«7» октября 2019 год

Встроенное ПО
модуля беспроводной цифровой связи

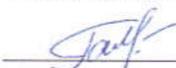
ТЕКСТ ПРОГРАММЫ

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.IPoRTH.00001-01 12 03 ЛУ

ПРОВЕРЕНО

Технический директор

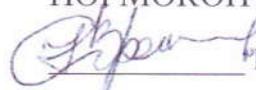
 М.А.Галкин
«7» октября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО

Инженер

 М.Н. Куклев
«7» октября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР

 Ю.В. Орешников
«7» октября 2019 г.

| | |
|--------------|--|
| Име. № подп. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| Име. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 12 03-JIY

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Модуль беспроводной цифровой связи

Текст программы

RU.iPoRTH.00001-01 12 03

Листов 16

| | |
|---------------|--|
| Име № под. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| Инв. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

Аннотация

Настоящий документ содержит текст программ `mbs.exe` и `SI-MBCS.hex`, предназначенных для работы с с экспериментальным образцом портативного роботизированного твердомера, использующим принципы инструментального индентирования, разрабатываемым в рамках ПНИЭР по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

В документе приводится исходный код программ на языке программирования C в реализации MPLAB X IDE для блока управления передачей данных и блока управления беспроводной цифровой связью. Также приводится исходный код программы на языке C++ в реализации Microsoft Visual C++ с использованием библиотеки классов Microsoft Foundation Classes для блока управления модулем беспроводной цифровой связи.

1 Блок управления модулем беспроводной цифровой связи

```
// mbcсDlg.cpp : файл реализации
//

#include "stdafx.h"
#include "mbcs.h"
#include "mbcsDlg.h"
#include "afxdialogex.h"
#include "bluetooth.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#endif

// Диалоговое окно CAboutDlg используется для описания сведений о приложении

class CAboutDlg : public CDialogEx
{
public:
    CAboutDlg();

// Данные диалогового окна
    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };

protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // поддержка DDX/DDV

// Реализация
protected:
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialogEx(CAboutDlg::IDD)
{
}

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialogEx::DoDataExchange(pDX);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialogEx)
END_MESSAGE_MAP()

// диалоговое окно CmbcsDlg

CmbcsDlg::CmbcsDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
    : CDialogEx(CmbcsDlg::IDD, pParent)
    , m_nLoad(0)
    , m_nTime(0)
    , m_bTestMode(FALSE)
    {
        m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
    }

void CmbcsDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialogEx::DoDataExchange(pDX);
    DDX_Control(pDX, IDC_DEVICE_LIST, m_lstDevices);
    DDX_Control(pDX, IDC_STATUS, m_txtStatus);
}
```

```

DDX_Text(pDX, IDC_EDT_P, m_nLoad);
DDV_MinMaxInt(pDX, m_nLoad, 5, 5000);
DDX_Text(pDX, IDC_EDT_T, m_nTime);
DDV_MinMaxInt(pDX, m_nTime, 10, 300);
DDX_Control(pDX, IDC_EDT_RESULTS, m_edtAns);
DDX_Check(pDX, IDC_TEST_MODE, m_bTestMode);
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CmbcsDlg, CDialogEx)
    ON_WM_SYSCOMMAND()
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()
    ON_BN_CLICKED(IDC_SEARCH, &CmbcsDlg::OnBnClickedSearch)
    ON_BN_CLICKED(IDC_CONNECT, &CmbcsDlg::OnBnClickedConnect)
    ON_BN_CLICKED(IDC_DISCONNECT, &CmbcsDlg::OnBnClickedDisconnect)
    ON_BN_CLICKED(IDC_SAVE_SETTINGS, &CmbcsDlg::OnBnClickedSaveSettings)
    ON_BN_CLICKED(IDC_READ_SETTINGS, &CmbcsDlg::OnBnClickedReadSettings)
    ON_BN_CLICKED(IDC_TEST_REQUEST, &CmbcsDlg::OnBnClickedTestRequest)
    ON_BN_CLICKED(IDC_GET_DATA, &CmbcsDlg::OnBnClickedGetData)
    ON_BN_CLICKED(IDC_MEASURE, &CmbcsDlg::OnBnClickedMeasure)
    ON_BN_CLICKED(IDC_CALCULATE_RESULT2,
&CmbcsDlg::OnBnClickedCalculateResult2)
END_MESSAGE_MAP()

// обработчики сообщений CmbcsDlg

BOOL CmbcsDlg::OnInitDialog()
{
    CDialogEx::OnInitDialog();

    // Добавление пункта "О программе..." в системное меню.

    // IDM_ABOUTBOX должен быть в пределах системной команды.
    ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
    ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

    CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
    if (pSysMenu != NULL)
    {
        BOOL bNameValid;
        CString strAboutMenu;
        bNameValid = strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
        ASSERT(bNameValid);
        if (!strAboutMenu.IsEmpty())
        {
            pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
            pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX, strAboutMenu);
        }
    }

    // Задаёт значок для этого диалогового окна. Среда делает это
    // автоматически,
    // если главное окно приложения не является диалоговым
    SetIcon(m_hIcon, TRUE); // Крупный значок
    SetIcon(m_hIcon, FALSE); // Мелкий значок

    // TODO: добавьте дополнительную инициализацию

    return TRUE; // возврат значения TRUE, если фокус не передан элементу
    // управления
}

void CmbcsDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)

```

```

{
    if ((nID & 0xFFFF0) == IDM_ABOUTBOX)
    {
        CAboutDlg dlgAbout;
        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialogEx::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

// При добавлении кнопки свертывания в диалоговое окно нужно воспользоваться
// приведенным ниже кодом,
// чтобы нарисовать значок. Для приложений MFC, использующих модель
// документов или представлений,
// это автоматически выполняется рабочей областью.

void CmbcsDlg::OnPaint()
{
    if (IsIconic())
    {
        CPaintDC dc(this); // контекст устройства для рисования

        SendMessage(WM_ICONERASEBKGND, reinterpret_cast<WPARAM>(dc.GetSafeHdc()),
0);

        // Выравнивание значка по центру клиентского прямоугольника
        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;

        // Нарисуйте значок
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
    }
    else
    {
        CDialogEx::OnPaint();
    }
}

// Система вызывает эту функцию для получения отображения курсора при
// перемещении
// свернутого окна.
HCURSOR CmbcsDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return static_cast<HCURSOR>(m_hIcon);
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedSearch()
{
    char list[1024];
    char device[256];
    bluetooth_search(list);
    int x=0,prev=0;
    while(list[x]!='\0')
    {
        if(list[x]=='\n')
        {
            strncpy(device,list+prev,x-prev);

```

```

        device[x-prev]='\0';
        m_lstDevices.AddString(device);
        prev=x;
    }
    x++;
}

}

void CmbcsDlg::OnBnClickedConnect()
{
    CString device_name;
    m_lstDevices.GetText(m_lstDevices.GetCurSel(),device_name);
    if(bluetooth_connect(device_name.GetBuffer())==1)
        m_txtStatus.SetWindowText("Состояние подключения: ПОДКЛЮЧЕНО");
    else
        m_txtStatus.SetWindowText("Состояние подключения: ОШИБКА");
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedDisconnect()
{
    bluetooth_disconnect();
    m_txtStatus.SetWindowText("Состояние подключения: ОТКЛЮЧЕНО");
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedSaveSettings()
{
    UpdateData();
    bluetooth_send(SETTINGS_LOAD,m_nLoad);//сохранить настройки
    bluetooth_send(SETTINGS_TIME,m_nTime);

    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//вывести результаты
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedReadSettings()
{
    bluetooth_get(SETTINGS_LOAD,&m_nLoad);//загрузить настройки
    bluetooth_get(SETTINGS_TIME,&m_nTime);
    UpdateData(false);
    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//вывести результаты
    m_txtStatus.SetWindowText("Состояние подключения: ИДЁТ ИЗМЕРЕНИЕ");
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedTestRequest()
{
    UpdateData(TRUE);
    bluetooth_test(m_bTestMode);//послать тестовый запрос
    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//вывести результаты
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedGetData()
{

```

```

    bluetooth_receive();//получить данные
    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//вывести результаты
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedMeasure()
{
    bluetooth_measure();//начать измерение
    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//показать результат запроса на начало
    измерения
}

void CmbcsDlg::OnBnClickedCalculateResult2()
{
    bluetooth_call_calculate();//вызвать вычислительные процедуры
    char ans[2048]="";
    bluetooth_transaction_results(ans);
    m_edtAns.SetWindowText(ans);//вывести результаты
}

```

2 Блок управления передачей данных

```

void SrvInt_Main(void)
{
    unsigned int t_now;
    SrvIntBufferDistance = UART_Get_Recieved_Bytes_Quantity(UART_SELECT);
    if (SrvIntBufferDistance == (UART_Get_RX_Buf_Size(UART_SELECT) - 1))
    {
        Set_Error(_LINE_, ERROR_SRVINT_UART_INPUT_BUFFER_OVERFLOW);
        UART_RX_Buf_Clear(UART_SELECT);
        UARTInputBufferState.BufClearTimer = (unsigned)0;
        UARTInputBufferState.TimerValue = (unsigned int)0;
        return;
    }

    switch(SrvIntFSMState)
    {
        case FSM_INITIAL_STATE:
        {
            struct b_meas_point *data;
            unsigned int data_size=0;
            unsigned int true_size,last_chunk_idx,state;
            Bool ba,bb,bc;
            /* проверяем, не надо ли отправить там что-нибудь в компьютер?
            */
            data=b_get_full_buffer();
            data_size=b_get_buffer_size(data);
            ba=(data!=NULL);
            bb=(SrvInt_IsDMAReady());
            bc=(s_no_transfer==1);
            if(ba&&(bb|bc))
            {
                if(SrvInt_IsDMAReady())
                    s_no_transfer=1;
                if(
                    (b_get_buffer_ready_state()==B_READY||b_get_buffer_filling_state()==B_FINISHE
                    D)&&
                    (b_get_buffer_ready_state()!=B_SENDING)&&
                    (b_get_buffer_filling_state()!=B_SENDING)

```

```

    }
    {
        b_set_buffer_sending();
        chunk_idx=0;
        flag_buffer_sent=0;
    }
    else//B_SENDING
    {
        chunk_idx++;
    }
    true_size=CHUNK_SIZE;
    last_chunk_idx=LAST_CHUNK_IDX;
    if(data_size!=B_BUF_LEN)
        last_chunk_idx=(data_size*sizeof(struct
b_meas_point)/CHUNK_SIZE);

    if(chunk_idx==last_chunk_idx)
        true_size=data_size*sizeof(struct b_meas_point)-
(last_chunk_idx)*CHUNK_SIZE;
    if(chunk_idx>last_chunk_idx)//мы вышли за пределы массива
    {
        b_set_buffer_sent();
        flag_buffer_sent=1;
    }
    else
    {
        //начинаем передачу
        memcpy(chunk_buf+HEADER_SIZE,((char
*)data)+chunk_idx*CHUNK_SIZE,true_size);
        chunk_buf[2]=chunk_idx;//заместо PacketID
        chunk_buf[4]=true_size;

        chunk_buf[5]=MASTER_ADDRESS^CMD_ASYNC_DATA_TRANSFER^true_size^chunk_idx;
        int csum=0,x;
        for(x=0;x<true_size;x++)
            csum^=(chunk_buf+HEADER_SIZE+x);
        chunk_buf[true_size+HEADER_SIZE]=csum;
        s_no_transfer=0;
        SrvInt_ResetDMARReadyFlag();

        //последний байт буфера занимать нельзя, т.к. там сумма,
видите ли. отсюда и +1

    if(SrvInt_Send_AnyBuffer(chunk_buf,true_size+HEADER_SIZE+1)!=TX_STARTED)
        {
            chunk_idx--;
            if(chunk_idx<0)
                chunk_idx=0;
            s_no_transfer=1;
        }
    }
    else
    {
        if(m_flag_eom&&flag_buffer_sent)
        {
            OperandsBuffer[0] = Get_Error(LAST_ERROR).ErrVal;

            SrvInt_Send_Answer(MASTER_ADDRESS,0,CMD_ASYNC_DATA_TRANSFER_END,(unsigned
char)1);

            m_flag_eom=0;
            flag_buffer_sent=0;
        }
    }
}

```

```

        /* =====
        */
        SrvIntBufferDistance =
UART_Get_Recieved_Bytes_Quantity(UART_SELECT);

        if (SrvIntBufferDistance <= (unsigned char)5)
        {
            if (!UARTInputBufferState.BufClearTimer)
            {
                OldDistance = SrvIntBufferDistance;
                if (SrvIntBufferDistance != (unsigned char)0)
{START_CLEAR_BUFFER_TIMER;}
            }
            else
            {
                if (OldDistance != SrvIntBufferDistance) {OldDistance =
SrvIntBufferDistance; START_CLEAR_BUFFER_TIMER; return;}

                if (UARTInputBufferState.TimerValue >
MAX_TIME_BETWEEN_BYTES_IN_PACKET_FOR_UART)
                {

Set_Error( _LINE_, ERROR_SRVINT_EXCEEDED_MAXIMUM_TIME_LATENCY_BETWEEN_PACKET_
CONTROL_BYTES);

                switch(SrvIntBufferDistance)
                {
                    case 4:    {DummyByte =
UART_Get_Data(UART_SELECT);}
                    case 3:    {DummyByte =
UART_Get_Data(UART_SELECT);}
                    case 2:    {DummyByte =
UART_Get_Data(UART_SELECT);}
                    case 1:    {DummyByte =
UART_Get_Data(UART_SELECT);}
                    case 0:    {Nop(); break;}
                    default:   {Nop();}
                }
                STOP_CLEAR_BUFFER_TIMER;
            }
        }
        return;
    }
    SrvIntFSMState = FSM_RECEIVE_6_BYTES;
}

//.....

case FSM_RECEIVE_6_BYTES:
{
    StartByte = UART_Get_Data(UART_SELECT);

    if (StartByte != START_BYTE)
    {
        STOP_CLEAR_BUFFER_TIMER;
        SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
        return;
    }

    Address = UART_View_Data(UART_SELECT, 0);
    PacketID = UART_View_Data(UART_SELECT, 1);
    Cmd = UART_View_Data(UART_SELECT, 2);
    DataCount = UART_View_Data(UART_SELECT, 3);
    Hash = UART_View_Data(UART_SELECT, 4);
}

```

```

        CalcHash = Address ^ PacketID ^ Cmd ^ DataCount;
        if (CalcHash != Hash)
        {
            /* Dummy read for increase ReadPointer and throw away one
byte
            * from software receive buffer instead to throw away 6
bytes. */
            Address = UART_Get_Data(UART_SELECT);
            STOP_CLEAR_BUFFER_TIMER;

Set_Error(__LINE__, ERROR_SRVINT_RECEIVED_HASH_NOT_EQUAL_CALCULATING_HASH);
            SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
            return;
        }
        else
        {
            // ADDRESS
            Address = UART_Get_Data(UART_SELECT);

            // PACKET_ID
            PacketID = UART_Get_Data(UART_SELECT);

            // CMD
            Cmd = UART_Get_Data(UART_SELECT);

            // DATA_COUNT
            DataCount = UART_Get_Data(UART_SELECT);

            // HASH
            Hash = UART_Get_Data(UART_SELECT);

            /* It's not necessary, because we check CalcHash == Hash */
            /*
            CalcHash = Address ^ PacketID ^ Cmd ^ DataCount;
            if (CalcHash != Hash)
            {

Set_Error(__LINE__, ERROR_SRVINT_RECEIVED_HASH_NOT_EQUAL_CALCULATING_HASH);
                SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
                return;
            }
            */

            if (DataCount >= OPERANDS_BUFFER_SIZE)
            {

Set_Error(__LINE__, ERROR_SRVINT_CAN_NOT_RECIEVE_OPERANDS_MORE_THEN_BUFFER_CAP
ACITY);

                UART_RX_Buf_Clear(UART_SELECT);
                UARTInputBufferState.BufClearTimer = (unsigned)0;
                UARTInputBufferState.TimerValue = (unsigned int)0;
                SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
                return;
            }

            OperandsBufferNumberOfBytes = (unsigned char)0;
            CalcDataHash = (unsigned char)0;

            SrvIntFSMState = FSM_RECEIVE_OPERANDS;
        }
    }

//.....
case FSM_RECEIVE_OPERANDS:

```

```

        {
            if (DataCount != (unsigned char)0)
            {
                SrvIntBufferDistance =
UART_Get_Recieved_Bytes_Quantity(UART_SELECT);
                if (SrvIntBufferDistance == (unsigned char)0)
                {
                    if (!UARTInputBufferState.BufClearTimer)
                    {
                        START_CLEAR_BUFFER_TIMER;
                        return;
                    }
                    else
                    {
                        if (UARTInputBufferState.TimerValue >
MAX_TIME_BETWEEN_BYTES_IN_PACKET_FOR_UART)
                        {
                            Set_Error(__LINE__,ERROR_SRVINT_EXCEEDED_MAXIMUM_TIME_LATENCY_BETWEEN_PACKET_
OPERANDS_BYTES);
                                STOP_CLEAR_BUFFER_TIMER;
                                SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
                            }
                        }
                    }
                }
                while(OperandsBufferNumberOfBytes < DataCount)
                {
                    SrvIntBufferDistance =
UART_Get_Recieved_Bytes_Quantity(UART_SELECT);
                    if (SrvIntBufferDistance == (unsigned char)0) {return;}

                    OperandsBuffer[OperandsBufferNumberOfBytes] =
UART_Get_Data(UART_SELECT);
                    CalcDataHash = CalcDataHash ^
OperandsBuffer[OperandsBufferNumberOfBytes];
                    OperandsBufferNumberOfBytes++;
                }
                if (DataCount != (unsigned char)0)
                {
                    SrvIntBufferDistance =
UART_Get_Recieved_Bytes_Quantity(UART_SELECT);
                    if (SrvIntBufferDistance == (unsigned char)0) {return;}

                    DataHash = UART_Get_Data(UART_SELECT);

                    if (CalcDataHash != DataHash)
                    {
                        Set_Error(__LINE__,ERROR_SRVINT_RECEIVED_DATA_HASH_NOT_EQUAL_CALCULATING_HASH
);
                            STOP_CLEAR_BUFFER_TIMER;
                            SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
                            return;
                        }
                    }
                }
                SrvIntFSMState = FSM_CHECK_DUPLICATE_CMD;
            }
        }
//.....
        case FSM_CHECK_DUPLICATE_CMD:
        {

```

```

        if ((PacketID & 0b10000000) != (unsigned char)0)
        {
Set_Error(__LINE__, ERROR_SRVINT_RECEIVED_PACKET_WITH_ZERO_MSB_BIT_IN_PACKET_ID);
            SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
            return;
        }
        SrvIntFSMState = FMS_PACKET_PROCESSING;
    }

//.....
case FMS_PACKET_PROCESSING:
{
    if (!OldPacketFieldsUpdate)
    {
        OldPacketFieldsUpdate = (unsigned)1;
        Nop();
        SrvInt_Frame_Processing();
        Nop();
    }
    else
    {
        if ((OldCmd == Cmd) && ((unsigned char)(OldPacketID&0b01111111) == (unsigned char)(PacketID&0b01111111)))
        {

Set_Error(__LINE__, ERROR_SRVINT_SAME_CMD_WITH_SAME_PACKETID_CAN_NOT_GO_SUCCESSIVELY);
            if (Address != BROADCAST_ADDRESS)
            {
                SrvInt_Send_Answer(MASTER_ADDRESS, PacketID, Cmd,
DataCount);
            }
            SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
            return;
        }
        Nop();
        SrvInt_Frame_Processing();
        Nop();
    }
    OldCmd = Cmd;
    OldPacketID = PacketID;
   OldDataCount = DataCount;
    SrvIntFSMState = FSM_INITIAL_STATE;
}
}
}
//-----
void SrvInt_Send_Answer(unsigned char SendedAddress, unsigned char
SendedPacketID, unsigned char SendedCmd, unsigned char
DataCountFromOperandBuffer)
{
    UART_TX_Buf_Clear(UART_SELECT);
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, START_BYTE);
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, SendedAddress);
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, SendedPacketID);
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, SendedCmd);
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, DataCountFromOperandBuffer);
    CalcHash = SendedAddress ^ SendedPacketID ^ SendedCmd ^
DataCountFromOperandBuffer;
    UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, CalcHash);
    if (DataCountFromOperandBuffer != (unsigned char)0)

```

```

    {
        OperandsBufferNumberOfBytes = (unsigned char)0;
        CalcDataHash = (unsigned char)0;
        while(OperandsBufferNumberOfBytes < DataCountFromOperandBuffer)
        {
            UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT,
            OperandsBuffer[OperandsBufferNumberOfBytes]);
            CalcDataHash = CalcDataHash ^
            OperandsBuffer[OperandsBufferNumberOfBytes];
            OperandsBufferNumberOfBytes++;
        }
        UART_TX_Buf_Add_Data(UART_SELECT, CalcDataHash);
    }
    if ((UART_TX_Status(UART_SELECT) == UART_TX_COMPLETE)          && \
        (UART_TXREG_Is_Full(UART_SELECT) == UART_TXBUF_IS_NOT_FULL) && \
        (UART_TRMT_Is_Empty(UART_SELECT) == UART_TRMT_IS_EMPTY))
    {
        //UART_TX_DMA0_Start(UART_SELECT, TX_DMA_IPL);
        UART_TX_DMA_Start(UART_SELECT, DMA0_FOR_SRVINT_UART1, (TX_DMA_IPL), 1);
    }
    else
    {
        Nop();
    }
    send_counter++;
}
//-----
int SrvInt_Send_AnyBuffer(unsigned char *buf, unsigned int size)
{
    if ((UART_TX_Status(UART_SELECT) == UART_TX_COMPLETE)          && \
        (UART_TXREG_Is_Full(UART_SELECT) == UART_TXBUF_IS_NOT_FULL) && \
        (UART_TRMT_Is_Empty(UART_SELECT) == UART_TRMT_IS_EMPTY))
    {
        //UART_TX_DMA0_Start(UART_SELECT, TX_DMA_IPL);
        send_counter++;
        return UART_TX_DMA_Start_AnyBuffer(UART_SELECT,
        DMA0_FOR_SRVINT_UART1, (TX_DMA_IPL), 1, buf, size);
    }
    else
    {
        Nop();
        return TX_BUSY;
    }
}
//-----

```

3 Блок управления беспроводной цифровой связью

```

#include "BluetoothSerial.h"
#include "SPI.h"

BluetoothSerial ESP_BT;          // Объект для Bluetooth

SPIClass vspi( VSPI );

int incoming;
//int LED_BUILTIN = 2;

void setup()
{
    ESP_BT.begin( "BLE Controller" );
    //pinMode( LED_BUILTIN, OUTPUT );

```

```

vspi.begin();
pinMode( 5, OUTPUT );

pinMode( 4, INPUT );

ESP_LOGI( "TAG", "INITI" );
}

uint8_t data[ 16384 ];

void loop()
{
    static uint32_t length = 0;
    static bool commandReceived = false;
    static int lastBytes = 0;
    static unsigned long startTime;
    static bool waitForCommand = false;

    int bytes = ESP_BT.available();

    if( bytes >= 4 && !commandReceived )
    {
        commandReceived = true;

        uint8_t temp[ 4 ];
        for( int i = 0; i < 4; ++i )
            temp[ i ] = ESP_BT.read();

        length = *( uint32_t* )temp;

        if( length == 0 || length > 4 * 1024 )
            commandReceived = false;

        lastBytes = 0;
        startTime = millis();

        //ESP_LOGI( "TAG", "Wait for %d", length );
    }

    if( commandReceived )
    {
        if( waitForCommand )
        {
            if( digitalRead( 4 ) == HIGH )
            {
                vspi.beginTransaction( SPISettings( 4500000, MSBFIRST, SPI_MODE1 ) );
                digitalWrite( 5, LOW );
                vspi.transfer( data, length );
                digitalWrite( 5, HIGH );
                vspi.endTransaction();

                ESP_BT.write( data, length );

                commandReceived = false;
                waitForCommand = false;

                ESP_LOGI( "TAG", "Command done" );
            }
        }
        else
        {
            if( bytes == length )
            {

```

```

    for( auto i = 0; i < length; ++i )
        data[ i ] = ESP_BT.read();

    ESP_LOGI( "TAG", "Readed by BT %d", length );

    if( digitalRead( 4 ) == HIGH )
    {
        vspi.beginTransaction( SPISettings( 4500000, MSBFIRST, SPI_MODE1 )
);
        digitalWrite( 5, LOW );
        vspi.transfer( data, length );
        digitalWrite( 5, HIGH );
        vspi.endTransaction();

        ESP_BT.write( data, length );

        commandReceived = false;

        ESP_LOGI( "TAG", "Command done" );
    }
    else
    {
        ESP_LOGI( "TAG", "Device not ready, waiting" );
        waitForCommand = true;
    }
}
else
{
    if( bytes == lastBytes )
    {
        if( millis() - startTime > 500 )
        {
            for( auto i = 0; i < bytes; ++i )
                ESP_BT.read();

            commandReceived = false;
        }
    }
    else
    {
        lastBytes = bytes;
        startTime = millis();
    }
}
}
}
delay( 20 );
}

```

Общество с ограниченной ответственностью «РЭА-Т»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «РЭА-Т»



С.Е. Федосеев

«7» октября 2019 года

М.П.

Встроенное ПО
модуля беспроводной цифровой связи

Руководство оператора

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU. iPoRTH.00001-01 34 03 ЛУ

ПРОВЕРЕНО
Технический директор

 М.А.Галкин

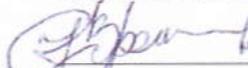
«7» октября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО
Инженер

 М.Н. Куклев

«7» октября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР

 Ю.В. Орешников

«7» октября 2019 г.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл. | |

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 34 03-ЛУ

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Модуль беспроводной цифровой связи

Руководство оператора

RU.iPoRTH.00001-01 34 03

Листов 14

| | |
|--------------|--|
| Инв. № подл. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| инв. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи работает на микроконтроллере, расположенном внутри модуля. Единственным прямым методом воздействия на ПО — кнопка на МИОК. Кнопка не даёт всей полноты управления модулем беспроводной цифровой связи, поскольку позволяет только запускать процесс измерения. Полноценное управление модулем производится по беспроводному каналу связи. Чтобы воспользоваться этим каналом, необходимо запустить специальную программу на блоке вычислительного сбора и обработки данных или на смартфоне. Пользовательский интерфейс и способ работы с программой, запущенной со смартфона, полностью аналогичен работе с программой, запущенной на блоке вычислительного сбора и обработки данных, поэтому далее приводится описание работы с программой, запущенной на блоке вычислительного сбора и обработки данных. Интерфейс программы приведён на рис. ГБ.1. Интерфейс программы для смартфона полностью аналогичен, поэтому в дальнейшем описывается только работа с программой для блока вычислительного сбора и обработки данных.

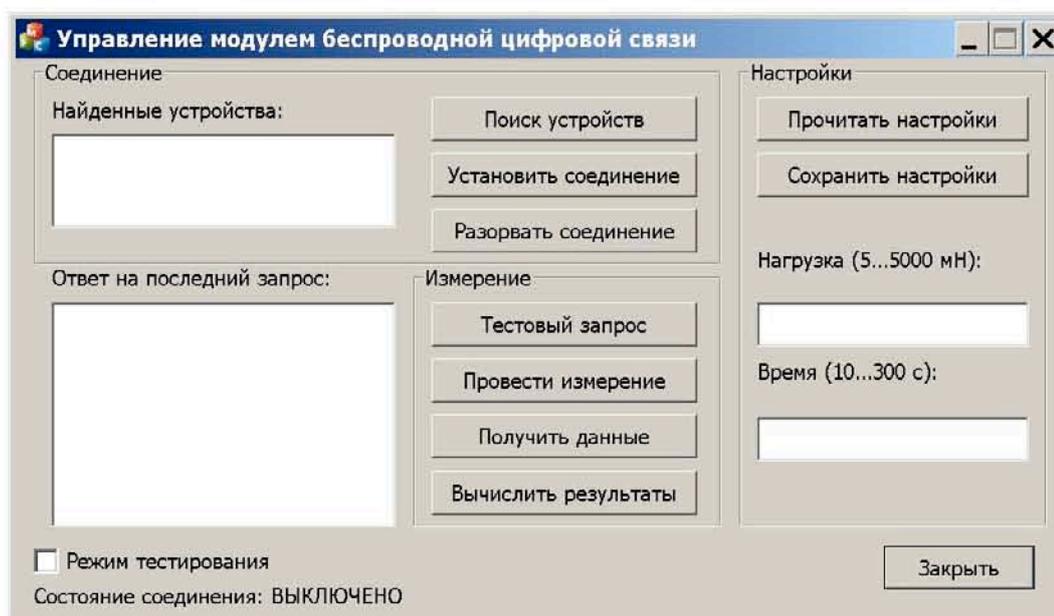


Рисунок ГБ.1 – Интерфейс программы управления модулем беспроводной цифровой связи

1 Запуск и закрытие программы

а) Для запуска приложения необходимо два раза щёлкнуть на исполняемом файле приложения, которое называется `mbcs.exe` и

расположено в основной папке с ПО C:\ms\ . После этого отобразится главное окно приложения.

б) Для закрытия приложения необходимо предварительно разорвать соединение так, как это описано в п. 2, г). После этого необходимо нажать кнопку «Закрыть».

2 Установление и разрыв соединения

Установление и разрыв соединения производится из рамки «Соединение». Результаты можно просмотреть в строке состояния, где написано «Состояние соединения:».

Последовательность установления соединения следующая:

а) Нажать кнопку «Поиск устройств». После этого в списке слева появятся все найденные Bluetooth-устройства. После этого необходимо отыскать в списке устройство с названием MBCS-01. Если устройство отсутствует, проверьте, что оно включено и расположено в зоне прямой видимости блока вычислительного сбора и обработки данных либо смартфона. Пример списка устройств приведён на рис. ГБ.2.



Рисунок ГБ.2 – Список найденных устройств

б) Выбрать устройство MBCS-01 в списке, щёлкнув по нему один раз левой кнопкой мыши. После этого фон устройства подсветится синим. Пример окна с выбранным устройством приведён на рис. ГБ.3.

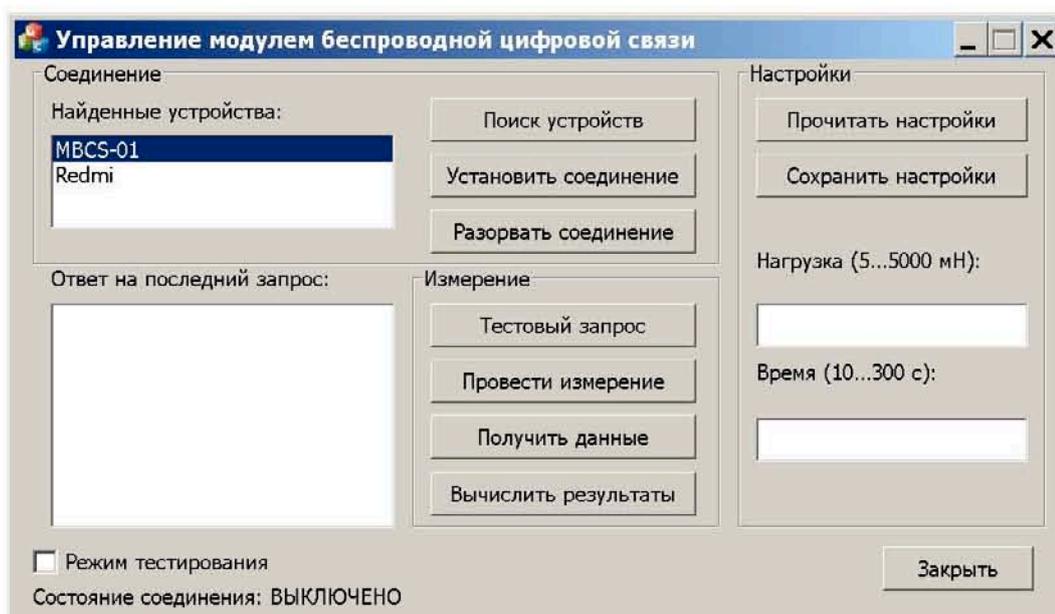


Рисунок ГБ.3 – Выбор модуля беспроводной цифровой связи в списке устройств

в) нажать кнопку «Установить соединение». При этом в строке состояния надпись должна измениться с «Состояние соединения: ВЫКЛЮЧЕНО» на «Состояние соединения: ПОДКЛЮЧЕНО». Пример окна с подключённым устройством приведён на рис. ГБ.4.

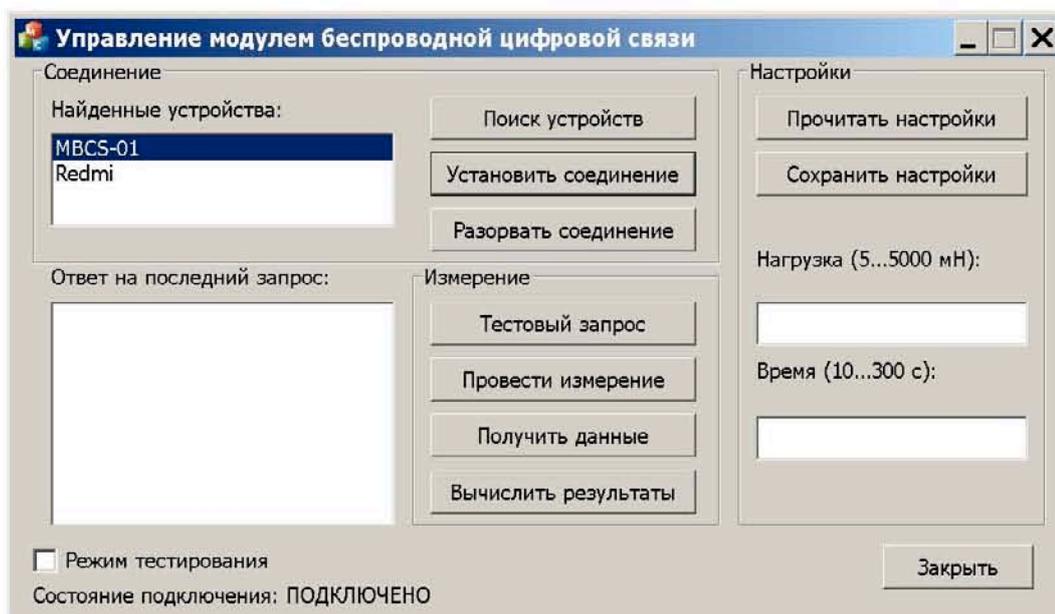


Рисунок ГБ.4 – Соединение с модулем беспроводной цифровой связи установлено

В случае, если соединение установить не получилось, будет отображена надпись «Состояние подключения: ОШИБКА». Это может произойти, в том числе, если было выбрано неправильное устройство в

списке. Если по этой или по иной причине будет отображаться состояние ошибки, следует ещё раз попробовать подключиться. Пример окна с ошибкой приведён на рис. ГБ.5.

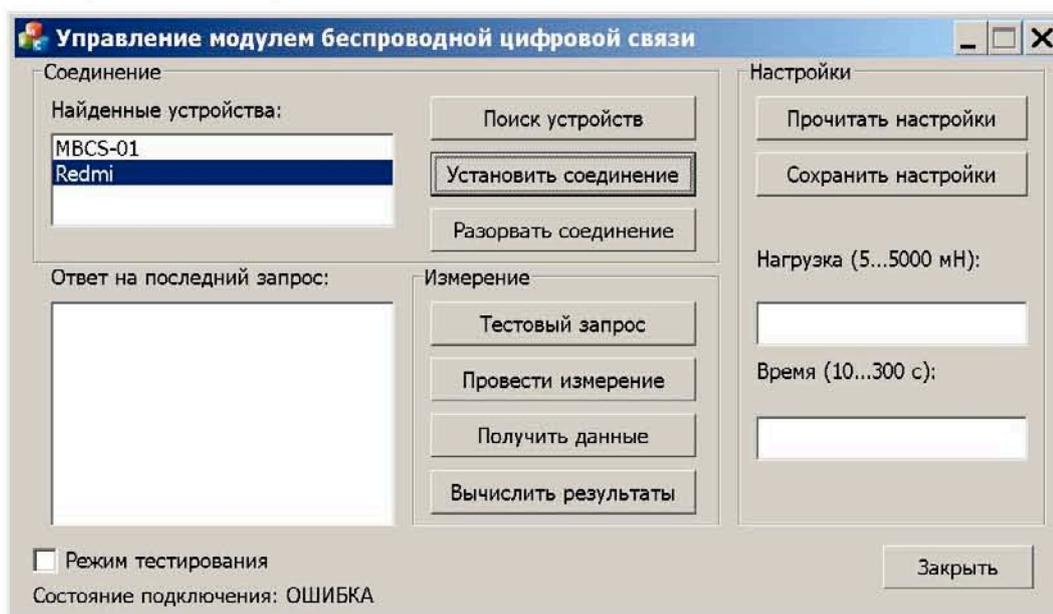


Рисунок ГБ.5 – Ошибка соединения в случае, если выбрано неправильное устройство

г) чтобы разорвать соединение, необходимо нажать кнопку «Разорвать соединение». После этого приложение отключится от устройства и перейдёт в состояние, приведённое на рис. ГБ.1.

3 Сохранение и загрузка настроек измерения

За настройки отвечает блок элементов управления, названный «Настройки»

У измерения две настройки: нагрузка, прилагаемая к индентору (диапазон от 5 до 5000 мН) и время измерения (диапазон от 10 до 300 с).

а) Чтобы узнать, какие настройки используются в настоящий момент, можно нажать кнопку «Прочитать настройки», после чего настройки, записанные в памяти микроконтроллера, попадут в соответствующие поля ввода. Также информация будет продублирована в окне «Ответ на последний запрос». Пример такого ответа приведён на рис. ГБ.6.

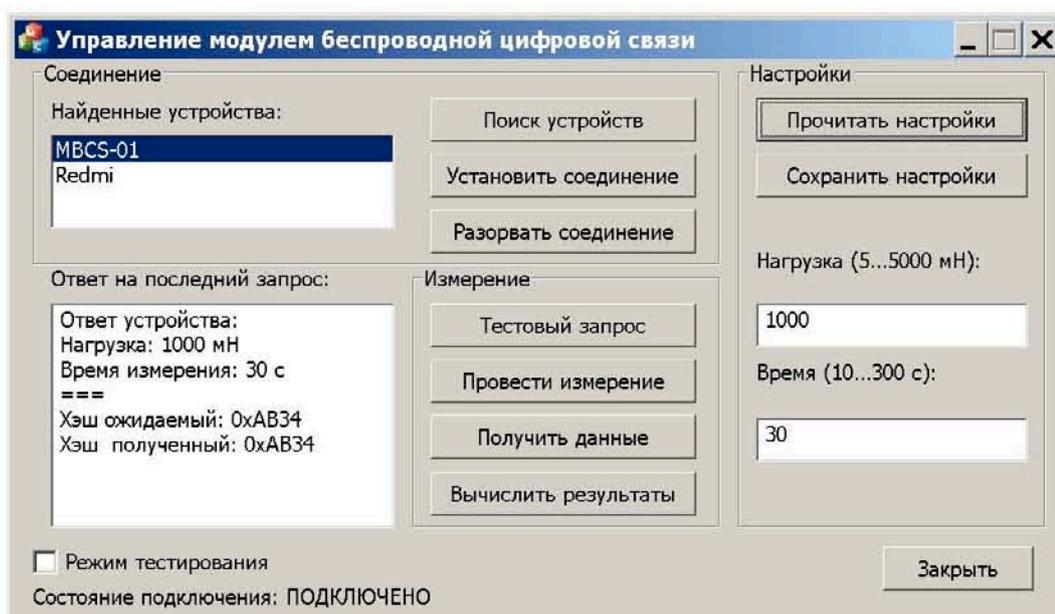


Рисунок ГБ.6 – Чтение настроек модуля беспроводной цифровой связи

Рекомендуется перед измерением всегда проводить чтение настроек, чтобы убедиться, что настройки соответствуют желаемым.

б) Чтобы записать настройки измерения, необходимо в поля «Нагрузка» и «Время» записать с клавиатуры требуемые значения в пределах, которые указаны в скобках. После этого необходимо нажать кнопку «Сохранить настройки». В поле «Ответ на последний запрос» появится сообщение о том, что настройки успешно сохранены. Пример окна приложения с сохранёнными настройками приведён на рис. ГБ.7. После сохранения настроек рекомендуется повторно прочитать их и проверить в окне «Ответ на последний запрос», что настройки сохранились правильно.

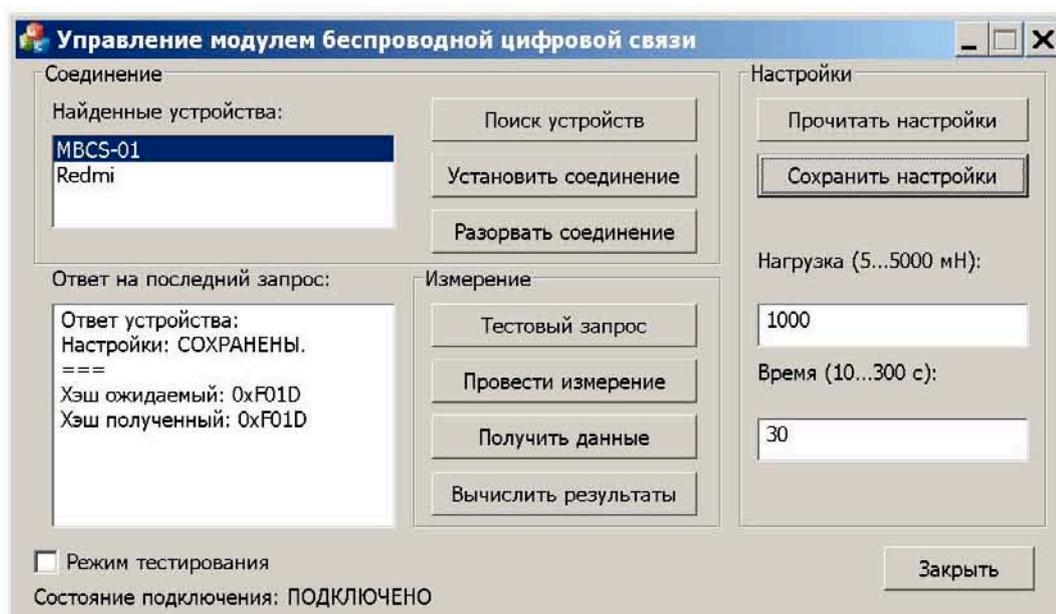


Рисунок ГБ.7 – Сохранение настроек

В случае, если в поля Нагрузка или Время введены неправильные значения, будет выведено сообщение об ошибке, представленное на рис. ГБ.8. В этом случае следует исправить значения в соответствии с подсказкой.

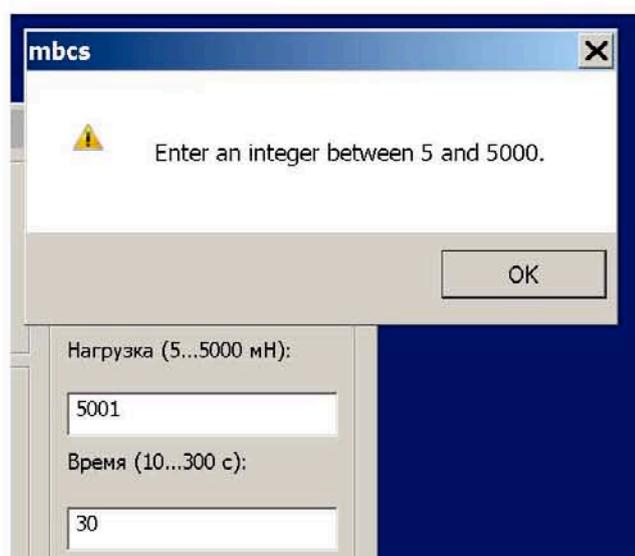


Рисунок ГБ.8 – Сообщение об ошибке при попытке указать неправильное значение в поле «Нагрузка»

4 Проведение процесса измерения

а) После установления соединения, но перед проверкой и заданием настроек, необходимо проверить, что связь с устройством работает корректно. Для этого необходимо осуществить тестовый запрос путём нажатия соответствующей кнопки. Тестовый запрос пойдёт случайно

генерированное 64-битное число в модуль беспроводной цифровой связи, а модуль беспроводной цифровой связи вернёт это число. Посланное и полученное число должны совпасть. В случае сомнений в стабильности беспроводного соединения, можно проводить тестовые запросы в любой момент, когда не проводится измерение. Пример ответа на тестовый запрос приведён на рис. ГБ.9.

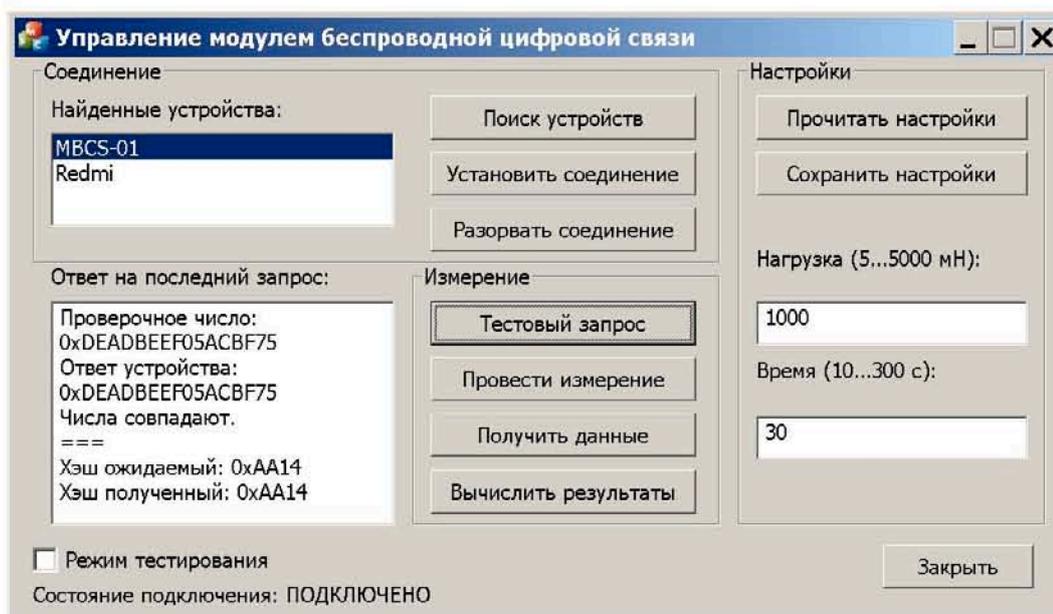


Рисунок ГБ.9 – Тестовые запрос к модулю беспроводной цифровой связи

б) Непосредственно перед началом измерения необходимо проверить и при необходимости изменить настройки измерения так, как это было описано в п.3 данного руководства.

в) После этого необходимо нажать кнопку «Провести измерение». Состояние подключения при этом изменится на «ИДЁТ ИЗМЕРЕНИЕ» (см. рис. ГБ.10). Во время измерения кнопки управления нажать нельзя, т.к. они заблокированы. Программа постоянно проверяет состояние блока беспроводной цифровой связи. Как только измерение будет завершено, состояние подключения будет изменено обратно на «ПОДКЛЮЧЕНО», а в окне «Ответ на последний запрос» появится дополнение о том, что измерение завершено. Пример такого экрана приведён на рис. ГБ.11.

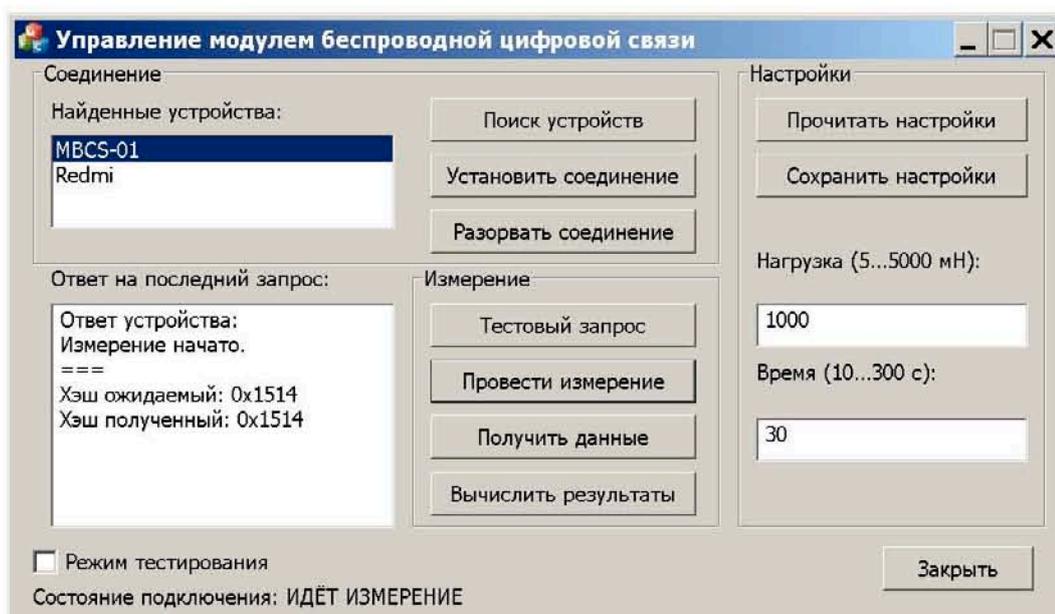


Рисунок ГБ.10 – Запуск процесса измерения

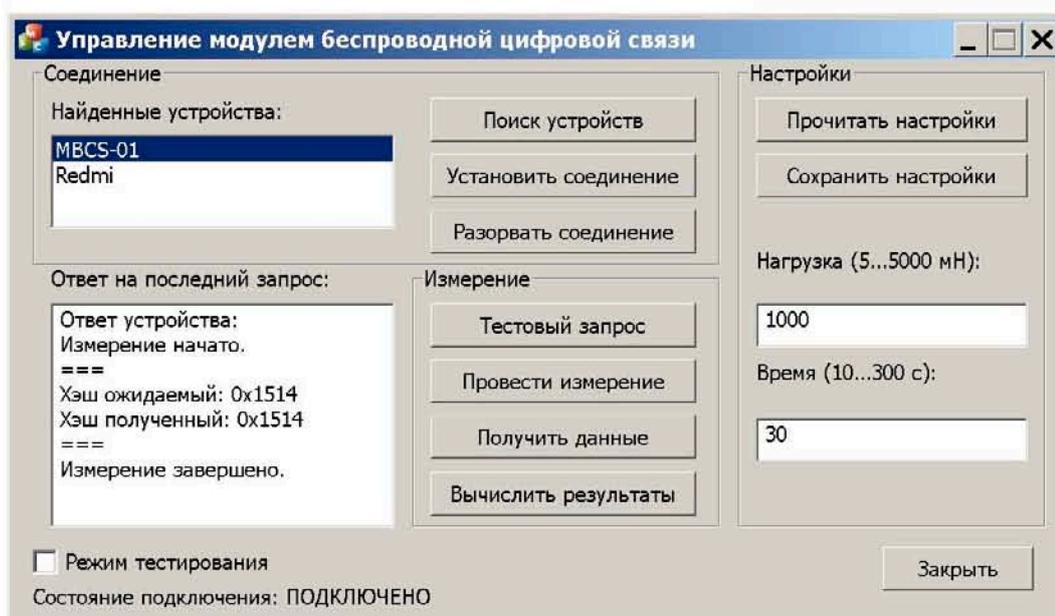


Рисунок ГБ.11 – Завершение процесса измерения

г) После завершения процесса измерения необходимо получить сырые измеренные данные для обработки. Во время измерения данные не передаются, а сохраняются внутри блока беспроводной цифровой связи, этим вызвана необходимость их получения. Чтобы получить данные, необходимо нажать кнопку «Получить данные». После этого несколько секунд ничего на экране может не происходить (зависит от помех в помещении), а затем появится сообщение о количестве полученных данных. Пример такого сообщения представлен на рис. ГБ.12.

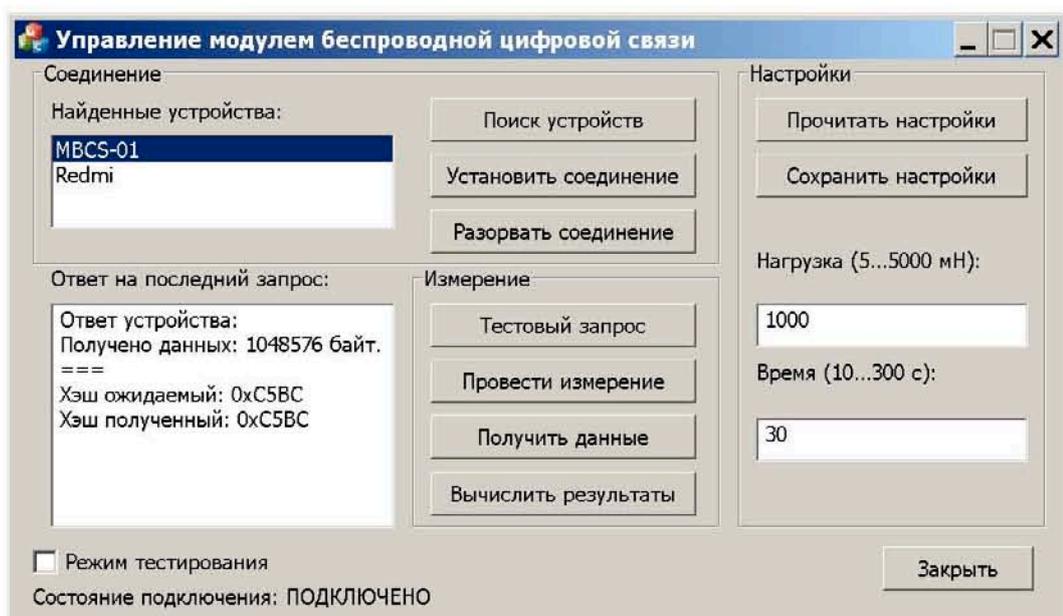


Рисунок ГБ.12 – Получение данных из модуля беспроводной цифровой связи

д) Если данные не удалось получить (передача завершилась с ошибкой), следует провести получение данных повторно. Когда все данные будут получены, необходимо провести вычисления. Для этого необходимо нажать кнопку «Вычислить результаты». Следует отметить, что вычисления производятся в блоке вычислительном сбора и обработки данных (либо в смартфоне), а не в модуле беспроводной цифровой связи. Поэтому хотя результаты вычислений и выводятся в поле «Ответ на последний запрос», фактически это не является ответом. По этой причине не выводятся значения «Хэш ожидаемый» и «Хэш полученный». Пример окна с готовыми результатами приведён на рис. ГБ.13.

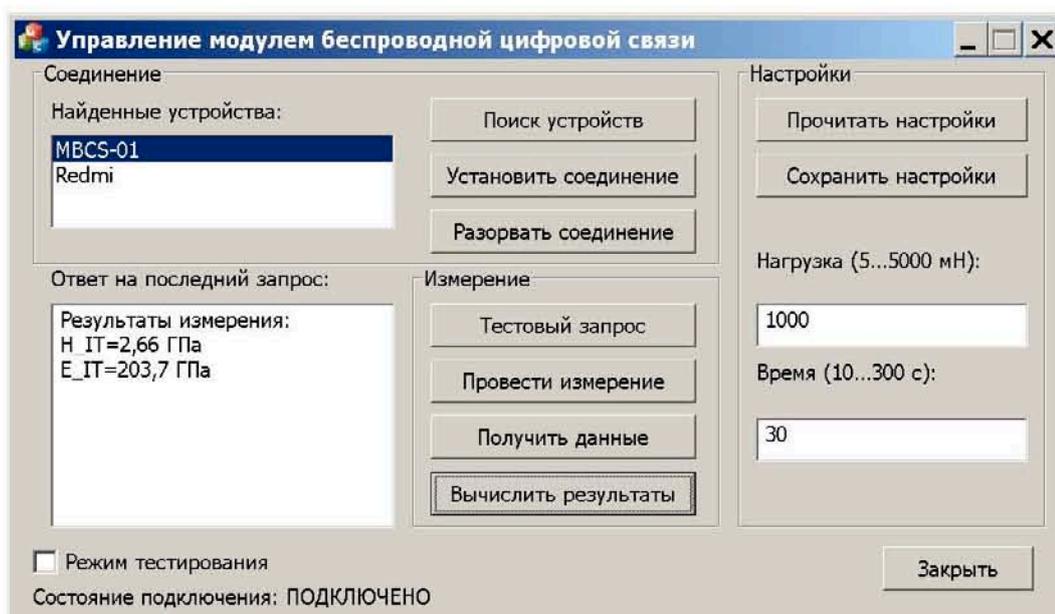


Рисунок ГБ.13 – Просмотр результатов измерения

После этого модуль беспроводной цифровой связи готов к следующему измерению.

5 Дополнительные возможности программы

а) Флажок «Режим тестирования» предназначен для проведения испытаний модуля беспроводной цифровой связи. В нормальном режиме работы флажок не используется. Флажок позволяет получать из модуля беспроводной цифровой связи заранее подготовленные известные ответы в фиксированной последовательности, что позволяет оценить функционирование и надёжность связи. Порядок и содержание ответов зависит от конкретной версии прошивки и методов тестирования, поэтому в данном руководстве не приводится.

б) При получении ответа от модуля беспроводной цифровой связи управляющая программа всегда сверяет контрольную сумму (хэш) пакета с ожидаемой контрольной суммой. Ожидаемая контрольная сумма берётся из самого пакета, но считается при передаче модулем беспроводной цифровой связи. То есть, модуль беспроводной цифровой связи рассчитывает хэш пакета и дописывает его в конец пакета. Принимающая программа сама рассчитывает хэш пакета (без учёта последних двух байт), после чего сравнивает его с хэшем, расположенным в последних двух байтах. Если

значения совпали, считается, что приём данных осуществлён верно. Не совпасть хэш может по двум причинам: либо ошибочно передан пакет, либо его хэш. Такая проверка позволяет контролировать возникновение ошибок в линии. Для облегчения контроля линии пользователем, а также с целью тестирования, ожидаемый и полученный хэш всегда выводятся в окне ответа. В случае отсутствия ошибок они всегда должны совпадать. Если числа не совпадают, значит возникла ошибка при приёме данных.

в) Контроль ошибок передачи, в отличие от ошибок приёма, провести способом, описанным в пункте б), невозможно, потому что хотя хэши считаются и передаются таким же образом, происходит это в обратном направлении, т.е. сравнение происходит на стороне модуля беспроводной цифровой связи. Если хэши совпали, модуль отвечает компьютеру в соответствии с алгоритмом работы. Если же хэши не совпали, модуль ничего отвечать не может, поскольку нет уверенности в том, какие из переданных данных были ошибочными. Поэтому отсутствие ошибок при передаче данных из блока вычислительного сбора и обработки данных (либо смартфона) в модуль беспроводной цифровой связи определяется по наличию ответа от модуля. Если ответ пришёл, значит хэши переданный и ожидаемый совпали со стороны модуля. Если ответ не пришёл, значит произошла ошибка передачи данных. В этом случае в поле «Ответ на последний запрос» будет выведено сообщение «Ответ отсутствует. Возможно, произошла ошибка передачи данных». Пример такого сообщения приведён на рис. ГБ.14.

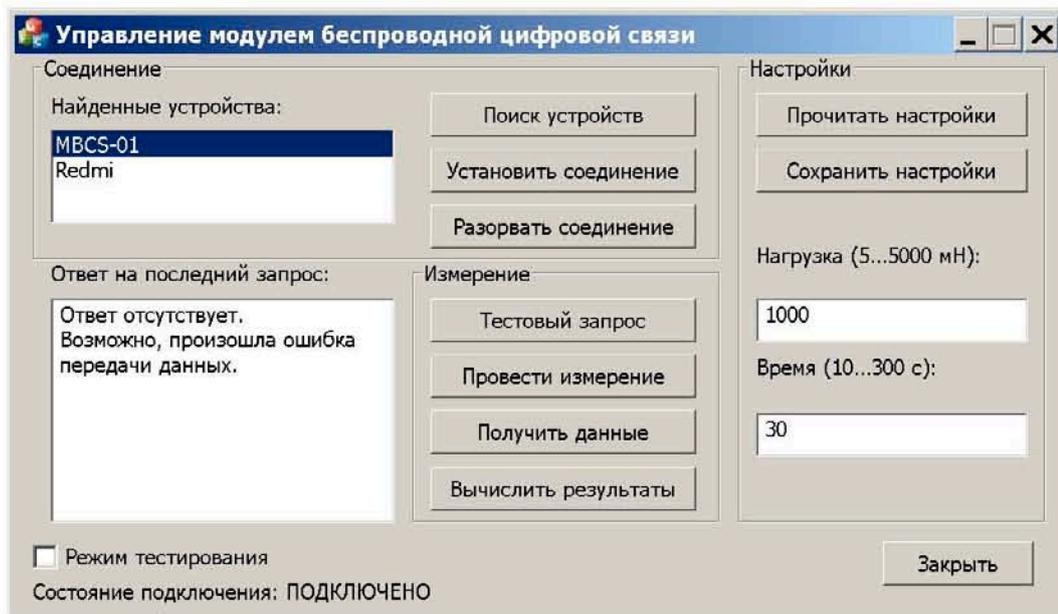


Рисунок Г.Б.14 – Сообщение об ошибке передачи данных

ПРОГРАММНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЕ ПО
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО БЛОКА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвердых
и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»

Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ



А.М. Володин



С.А. Терентьев

М.П.

Пользовательское ПО
вычислительного блока сбора и обработки данных для
администрирования результатов измерений

Описание программы

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.IPORTH.00001-01 13 04 ЛУ

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл. | |

ПРОВЕРЕНО

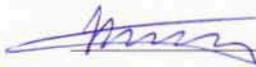
Заведующий отделом

 А.С. Усеинов

«13» сентября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО

Младший научный сотрудник

 И.В. Красногоров

«13» сентября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР

 В.В. Соловьев

«13» сентября 2019 г.

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 13 04-ЛЮ

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Блок вычислительный сбора и обработки данных для
администрирования результатов измерений

Описание программы

RU.iPoRTH.00001-01 13 04

Листов 13

| | |
|---------------|--|
| Име № под. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| Инв. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

Аннотация

Настоящий документ содержит информацию об использовании программных блоков, таких как:

- блок хранения, сортировки и поиска;
- блок построения топологических карт поверхности образца;
- блок формирования и выдачи отчетов.

Данные блоки включены в состав программного обеспечения вычислительного блока сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений, предназначенного для работы с экспериментальными образцами портативного роботизированного твердомера, использующего принципы инструментального индентирования, разрабатываемого в рамках ПНИЭР по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

Содержание

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | Общие сведения..... | 429 |
| 2 | Функциональное назначение..... | 430 |
| 3 | Описание логической структуры..... | 432 |
| 4 | Используемые технические средства..... | 434 |
| 5 | Вызов и загрузка..... | 435 |
| 6 | Входные данные..... | 436 |
| 7 | Выходные данные..... | 437 |

1 Общие сведения

Обозначение и наименование программы: iPoRTH View_adm.exe.

Программное обеспечение (далее - ПО), необходимое для функционирования программы:

- операционная система Microsoft Windows 7/8/10.

Структура ПО блока вычислительного сбора и обработки данных для администрирования результатов измерений включает три программных блока:

- блок хранения, сортировки и поиска;
- блок построения топологических карт поверхности образца;
- блок формирования и выдачи отчетов.

2 Функциональное назначение

Программный блок «блок хранения, сортировки и поиска» предназначен для создания и загрузки рабочей папки и папки проекта, построения дерева файлов проекта и их сохранения. В данном программном блоке реализованы следующие функции:

- выбор рабочей директории
- загрузка проекта с жесткого диска
- сохранение проекта на жесткий диск
- просмотр файлов проекта в дереве файлов
- добавление, удаление, выбор для обработки файлов проекта.

Программный блок «построение топологических карт поверхности образца» предназначен для возможности «сшивки» микрофотографий образца, полученных с помощью цифрового микроскопа (работа с оптическим микроскопом ведется посредством ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО БЛОКА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, разработанным на прошлом этапе) для последующего построения топологической карты и возможности привязки физических результатов измерений к оптическому изображению. В данном программном блоке реализованы следующие операции:

- создание слоя оптических изображений;
- удаление слоя оптических изображений;
- добавление оптического изображения в слой;
- удаление оптического изображения из слоя;
- управление режимом отображения слоев;
- управление приоритетом отображения оптических изображений внутри слоя;

- управление режимом отображения оптических изображений внутри слоя;
- управление приоритетом отображения слоев;
- управление параметрами области отображения карты;
- сохранение текущей карты на жесткий диск;
- загрузка карты образца с жесткого диска;
- оптимизация использования оперативной памяти;
- автоматическая калибровка поля видимости камеры в физических единицах через сопоставление особых точек перекрывающихся изображений, с известными координатами.

Программный блок «формирование и выдача отчетов» предназначен для создания файлов в формате pdf, содержащих информацию, добавленную в проект на этапе его создания и редактирования:

- имя оператора;
- наименование исследованного образца;
- режим и параметры испытаний;
- полученные данные (твердость, модуль упругости и др.).

Функциональные ограничения на применение: программа предназначена исключительно для работы с данными, полученными при помощи экспериментального образца портативного роботизированного твердомера iPoRTN, использующего принципы инструментального индентирования, разрабатываемого в рамках ПНИЭР по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

3 Описание логической структуры

Все программные блоки реализованы в виде структурных элементов типа «класс» языков C++ с использованием фреймворка Qt. Данные классы в соответствии с моделью объектно-ориентированного программирования интегрированы в архитектуру исходного кода программы iPoRTH View_adm.exe.

Функции блока хранения, сортировки и поиска реализованы в классе Render, не имеющем родителя.

Функции блока хранения, построения топологических карт поверхности образца реализованы в классе Render, не имеющем родителя.

Функции блока формирования и выдачи отчетов реализованы в классе CReport, не имеющем родителя.

Алгоритм программы состоит в следующем. После запуска программы необходимо импортировать существующий проект или создать новый. В дереве проекта необходимо выбрать тип данных, с которыми должна проводиться работа. После этого производится переход к работе с соответствующим программным блоком, в зависимости от выбранного режима.

Предусмотрена следующая последовательность работы с программой:

- после запуска программы необходимо выбрать проект для импорта или создать новый;
- в открытом проекте в дереве файлов или нижней панели производится выбор рабочего режима;
- в зависимости от выбранного режима производится загрузка исходных данных для отображения различных типов;
- проводится вывод и отображение выбранного типа данных;
- при работе с изображениями, полученными с камеры при помощи ПО iPoRTH View.exe (см. Часть 2 отчета за 2 этап), и создании топологической карты производится создание слоев и изображений в них;

- если в процессе отображения данные подвергались обработке (например, было изменено представление данных, либо проводились операции, в результате которых данные могли быть изменены, такие как фильтрация), то программа выдает запрос на сохранение сделанных изменений;

- далее выполняется запуск обработки;

- после окончания цикла отображения данных следует выбрать другой режим работы при необходимости, либо завершить работу с программой.

4 Используемые технические средства

Разрабатываемая программа предназначена для работы на IBM-совместимом компьютере, входящем в состав вычислительного блока сбора и обработки данных экспериментального образца iPoRTH. Операционная система: Microsoft Windows 7/8/10. Минимальные требования к аппаратному обеспечению персонального компьютера:

- CPU Celeron 2.6GHz;
- Память: 4GB;
- Жесткий диск: 100GB;
- клавиатура, мышь, дисплей.

Для работы программы не требуется подключения каких-либо других периферийных устройств.

5 Вызов и загрузка

Программа iPoRTH View_adm.exe имеет стандартный интерфейс операционной системы Microsoft Windows на основе диалогового окна, поэтому для работы с ней необходимо владеть базовыми навыками работы в данной ОС.

Для работы программы необходимое аппаратное обеспечение должно быть подключено к вычислительному блоку сбора и обработки данных и должно быть обеспечено электропитанием.

Для запуска программы необходимо вызвать исполняемый файл с расширением exe, расположенный на жестком диске ПК. Не допускается запускать программу с других носителей (CD, USB и др.).

Точка входа в программу:

C:\iPoRTH\iPoRTH View_adm.exe.

6 Входные данные

Входными данными для работы программного блока «блок хранения, сортировки и поиска» является двоичный файл данных, содержащий зависимости приложенной нагрузки и перемещения индентора от времени при единичном измерении.

Входными данными для работы программного блока «блок построения топологических карт поверхности образца» является каталог, содержащий текстовый файл под названием `layers.txt`, включающий информацию о конфигурации слоев из которых состоит карта и набор каталогов, содержащих изображения, необходимые для построения слоя, с расширением «.bmp» и текстовый файл с расширением «.txt», содержащий информацию о взаимном расположении изображений, составляющих слой. Располагается в каталоге `C:\iPoRTH\`.

Входными данными для работы программного блока «блок формирования и выдачи отчетов» является двоичный файл данных, содержащий зависимости приложенной нагрузки и перемещения индентора от времени при единичном измерении.

Перед запуском программы не требуется предварительная подготовка входных данных. Все необходимые изменения параметров и настроек производятся из пользовательского интерфейса программы. Кодирование и шифрование входных данных не предусмотрено.

7 Выходные данные

Выходными данными «блока хранения, сортировки и поиска» являются следующие файлы:

- текстовые файлы, содержащие отладочные сообщения алгоритмов предварительной обработки и отображения данных; эти файлы располагаются в подкаталоге «C:\iPoRTH\trace»;

- бинарные файлы, содержащие измененные значения сигналов, полученные в результате модификации настроек вывода или первичной подготовки данных к выводу; файлы со значениями сигналов располагаются в подкаталоге «C:\iPoRTH\data».

- Выходными данными программного блока «блок построения топологических карт поверхности образца» является измененный каталог, содержащая текстовый файл под названием layers.txt, включающий информацию о конфигурации слоев из которых состоит карта и набор каталогов, содержащих изображения, необходимые для построения слоя, с расширением «.bmp» и текстовый файл с расширением «.txt», содержащем информацию о взаимном расположении изображений, составляющих слой. Располагается в каталоге C:\iPoRTH\).

- Выходными данными программного блока «блок формирования и выдачи отчетов» являются файлы в формате pdf, содержащие информацию, добавленную в проект на этапе его создания и редактирования.

Кодирование и шифрование выходных данных не предусмотрено.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвердых
и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»

Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ



А.М. Володин



С.А. Терентьев

Пользовательское ПО
вычислительного блока сбора и обработки данных для
администрирования результатов измерений

Текст программы

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.IPoRTH.00001-01 12 04 ЛУ

ПРОВЕРЕНО

Заведующий отделом

 А.С. Усеинов

«13» сентября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО

Научный сотрудник

 И.В. Красногоров

«13» сентября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР

 В.В. Соловьев

«13» сентября 2019 г.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| Иив. № дубл. | |
| Взам. иив. № | |
| Подп. и дата | |
| Иив. № подл. | |

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 12 04-ЛЮ

| | |
|-----------------|--|
| Име. № подп. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| Име. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Блок вычислительный сбора и обработки данных для
администрирования результатов измерений

Текст программы
RU.iPoRTH.00001-01 12 04

Листов 26

Аннотация

Настоящий документ содержит текст программы: iPoRTH View_admin.exe, предназначенной для работы с данными, полученными на экспериментальном образце портативного роботизированного твердомера, использующем принципы инструментального индентирования, разрабатываемом в рамках ПНИЭР по лоту шифр 2017-14-579-0057 по теме: «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» (шифр заявки «2017-14-579-0057-023»), уникальный идентификатор проекта RFMEFI57717X0274.

В документе приводится исходный код программы на языке программирования C++ в реализации Microsoft Visual C++ с использованием библиотеки классов Qt.

- Блок хранения, сортировки и поиска

```

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);

    StartWindow start;
    connect(&start, SIGNAL(setPath(QString)), this, SLOT (setPath(QString)));
    start.exec();
    qDebug() << "PATH: " << m_sPath;

    try {
        if(!m_objRender.setDirectory(m_sPath))
        {
            QMessageBox::critical(this, "Error calibration file load", "Stop!
Check your calibration.txt file");
        }
    }
    catch(...) {
        QMessageBox::critical(this, "Error", "There isn't this directory" );
        exit(0);
    }

    buildNewTree(m_objRender.getLayers());
    buildLayoutBox();
    loadCamsFromDisk();

    connect(ui->label, SIGNAL(mousePos()), this, SLOT (mouse_current_pos()));
    connect(ui->label, SIGNAL(mousePressed(Qt::MouseButton)), this, SLOT
(mouse_pressed(Qt::MouseButton)));
    connect(ui->label, SIGNAL(mouseLeft()), this, SLOT (mouse_left()));
    connect(ui->label, SIGNAL(changeMouseStatus(bool)), this,
SLOT(mouseStatus(bool)));

    m_objDevice = std::make_shared<CDevice>();

    cv::Mat m_objMap(200, 300, CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));
    m_objReadingImage = cv::Mat(480, 640, CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255,
255));
    m_objClearImage = cv::Mat(480, 640, CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));
    m_objImage = cv::Mat(1, 640, CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));

    m_bIsInstallingTest = false;

    m_nId = m_objRender.findMaxID();
    m_nIndexZoom = 0;
    m_nIndexLayer = 0;

    m_vecLayerNames = {};
    for(auto item : m_objRender.getLayers()){
        m_vecLayerNames.push_back(QString::fromStdString(item.getName()));
    }
    m_objResolution = {100, 100};

    m_bIsOnAir = false;
    m_bIsShowTests = true;
    m_bIsNeedIni = true;

    m_objTmrScratch = std::make_shared<QTimer>(this);
    m_objTmrScratch->setInterval(40);

```

```

    connect(m_objTmrScratch._Get(), SIGNAL(timeout()), this,
    SLOT(updateTimeScratch()));

    m_objTmrCalibration = std::make_shared<QTimer>(this);
    m_objTmrCalibration->setInterval(40);
    connect(m_objTmrCalibration._Get(), SIGNAL(timeout()), this,
    SLOT(updateTimeCalibration()));

    m_objTmrTriangle = std::make_shared<QTimer>(this);
    m_objTmrTriangle->setInterval(40);
    connect(m_objTmrTriangle._Get(), SIGNAL(timeout()), this,
    SLOT(updateTimeTriangle()));

    m_objTmrQuadrangle = std::make_shared<QTimer>(this);
    m_objTmrQuadrangle->setInterval(40);
    connect(m_objTmrQuadrangle._Get(), SIGNAL(timeout()), this,
    SLOT(updateTimeQuadrangle()));

    ui->nameLayout->setPlaceholderText("layout name");
    ui->nameShot->setPlaceholderText("shot name");

    ui->ControlMap->setChecked(true);

    if (m_vecLayerNames.size() == 0) {
        std::string s = "first";
        m_objRender.createLayer(s);
        m_vecLayerNames = {"first"};

        QTreeWidgetItem *tmp_item = new QTreeWidgetItem(ui->treeWidget);
        m_pCurrentItem = tmp_item;
        ui->treeWidget->addTopLevelItem(tmp_item); // вешаем его на наше
        дерево в качестве топ узла.

        tmp_item->setText(1, m_vecLayerNames[m_nIndexLayer]);
        tmp_item->setCheckState(0, Qt::Checked);
        tmp_item->setExpanded(true);

        m_vecLayersItem.push_back(tmp_item);
        ui->layoutBox->addItem(m_vecLayerNames[0]);
        ui->layoutBox-
>setCurrentIndex(static_cast<int>(m_vecLayersItem.size() - 1));
    }

    ui->groupBox_add->setEnabled(false);
    ui->actionInstalling_test->setChecked(true);
    ui->treeWidget->setColumnCount(2);
    ui->treeWidget->header()-
>setSectionResizeMode(0, QHeaderView::ResizeToContents);

    buildZoomBox();
    m_nCameraType = VerticalCam;
    m_objCorrMat = cv::imread("CorMat.bmp");
}

MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
    for (auto& elem: m_vecLayersItem) {
        delete elem;
    }
}

void MainWindow::updateTime()
{

```

```

cv::Mat m_objMap(100, 100, CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));
m_objDevice->ReadMess();
resize(minimumSize());

/*****Camera mode*****/
if (m_bIsCameraModeActive)
{
    m_objPosition = m_objDevice->getGPS();

    if(m_objMutex.tryLock(10))
    {
        m_objReadingImage.copyTo(m_objImage);
        m_objReadingImage.copyTo(m_objClearImage);
        m_objResolution = m_objReadingImage.size();

        bool isNeedRedraw = true;
        m_objDevice->SetNeedRedraw(isNeedRedraw);
    }
    m_objMutex.unlock();
    ui->label->resize((m_objImage.cols, m_objImage.rows));

    m_objCamArea.setCamPosition((m_objPosition.x, m_objPosition.y),
m_objRender.m_calibration,
m_vecZoomNames[m_nIndexZoom].toLocal8Bit().constData(), m_objResolution);
    if (m_bIsOnAir) {
        if (m_bIsVerticalView) {
            ui->groupBox_add->setEnabled(true);
            ui->groupBox_choose->setEnabled(true);

            if (m_bIsShowMinimap) {
                m_objMap = m_objRender.addMiniMap(m_objMapArea,
m_objRender.m_calibration.getRealsize(m_vecZoomNames[m_nIndexZoom].toLocal8Bi
t().constData()), m_objPosition);
                m_objMap.copyTo(m_objImage(cv::Rect(m_objImage.cols -
225, m_objImage.rows - 155, m_objMap.cols, m_objMap.rows)));

                m_objRender.drawScaleMarker(m_objImage, 215,
cv::Point(m_objImage.cols - 15, m_objImage.rows - 165), m_objImage.cols,
static_cast<int>(m_objCamArea.getWidth()));
            } else {
                m_objRender.drawScaleMarker(m_objImage, 215,
cv::Point(m_objImage.cols - 15, m_objImage.rows - 15), m_objImage.cols,
static_cast<int>(m_objCamArea.getWidth()));
            }

            drawCross();

            if (m_bIsShowTests) {
                if(m_objDevice->GetNeedRedraw()) {
                    bool isNeedRedraw = false;
                    m_objDevice->SetNeedRedraw(isNeedRedraw);
                    m_objRender.DrawTests(m_objImage, m_objCamArea,
m_objDevice->GetTests());
                }
            }

            if (m_bIsInstallingTest) {
                m_objRender.DrawInstallinTest(m_objImage,
m_objPointCalibrationA, m_objPointCalibrationB, m_objDevice->GetOperation());
            }

            m_objRender.DrawSquares(m_objImage, m_objSquares,
m_objCamArea);

```

```

        m_objRender.DrawTriangle(m_objImage, m_vecPointTriangle,
m_objCamArea);
        m_objRender.DrawQuadrangle(m_objImage, m_vecPointQuadrangle,
m_objCamArea);

        cv::cvtColor(m_objImage, m_objImage, CV_BGR2RGB);

        /*подмена разрешения на мелкое*/
        ui->label-
>setPixmap(QPixmap::fromImage(QImage(m_objImage.data, m_objImage.cols,
m_objImage.rows, m_objImage.step, QImage::Format_RGB888)));
        } else {
            ui->groupBox_add->setEnabled(false);
            ui->groupBox_choose->setEnabled(false);

            cv::cvtColor(m_objImage, m_objImage, CV_BGR2RGB);
            ui->label-
>setPixmap(QPixmap::fromImage(QImage(m_objImage.data, m_objImage.cols,
m_objImage.rows, m_objImage.step, QImage::Format_RGB888)));
        }

        ui->statusBar->showMessage("shot: " + QString::number(m_nId) + ",
zoom: " +
m_vecZoomNames[m_nIndexZoom] + ",          layout: " +
m_vecLayerNames[m_nIndexLayer] + ",          X: " +
QString::number(m_objPosition.x) + ",          Y: " +
QString::number(m_objPosition.y) + ",          Operation: " +
getOperationName(m_objDevice->GetOperation()));
    }
}

/*****Map mode*****/
if (!m_bIsCameraModeActive)
{
    m_objPosition = m_objDevice->getGPS();
    cv::Mat m_objMap = m_objRender.addMiniMap(m_objMapArea,
m_objRender.m_calibration.getRealSize(m_vecZoomNames[m_nIndexZoom].toLocal8Bi
t().constData()), m_objPosition);
    cv::Mat cur_im = m_objRender.createCurrentFrameQuickly(m_objMapArea);
    m_objMap.copyTo(cur_im(cv::Rect(cur_im.cols - 225, cur_im.rows - 155,
m_objMap.cols, m_objMap.rows)));
    m_objRender.drawScaleMarker(cur_im, 215, cv::Point(cur_im.cols - 15,
cur_im.rows - 165), cur_im.cols, m_objMapArea.getWidth());
    m_objRender.drowBoxOnSelectedShot(cur_im, m_objMapArea);

    if (m_bIsShowTests && m_nId != 0)
    {
        m_objRender.DrawTests(cur_im, m_objMapArea, m_objDevice-
>GetTests());
    }
    cv::cvtColor(cur_im, cur_im, CV_BGR2RGB);
    ui->label->setPixmap(QPixmap::fromImage(QImage(cur_im.data,
cur_im.cols, cur_im.rows, cur_im.step, QImage::Format_RGB888)));
}
}

void MainWindow::buidNewTree(std::vector<layer> layers)
{
    QString sSelectLayer;
    bool isEmpty = (ui->treeWidget-
>topLevelItem(static_cast<int>(m_nIndexLayer)));

```

```

    if (isEmpty){
        sSelectLayer = ui->treeWidget-
>topLevelItem(static_cast<int>(m_nIndexLayer))->text(1);
    }

    map <QString, bool> expandList;
    for (int i = 0; i < ui->treeWidget->topLevelItemCount(); ++i)
    {
        QString sName = ui->treeWidget->topLevelItem(i)->text(1);
        bool bStatus = ui->treeWidget->topLevelItem(i)->isExpanded();
        expandList[sName] = bStatus;
    }

    ui->treeWidget->clear();
    m_vecLayersItem.clear();
    m_vecLayerNames.clear();
    int nId = 0;

    for(auto& tmp_layer: layers) {
        QTreeWidgetItem* tmp_layoutItem = new QTreeWidgetItem(ui-
>treeWidget);
        m_pCurrentItem = tmp_layoutItem;
        QString currentNameLayer =
QString::fromStdString(tmp_layer.getName());

        m_vecLayerNames.push_back(currentNameLayer);

        Qt::CheckState state;
        (tmp_layer.checkActivity()) ? state = Qt::Checked : state =
Qt::Unchecked;
        tmp_layoutItem->setText(1, currentNameLayer);
        tmp_layoutItem->setCheckState(0, state);
        tmp_layoutItem->setExpanded(expandList[currentNameLayer]);
        m_vecLayersItem.push_back(tmp_layoutItem);

        for (auto& tmp_shot: *tmp_layer.getShots()) {
            QTreeWidgetItem *tmp_shotItem = new QTreeWidgetItem(ui-
>treeWidget->topLevelItem(static_cast<int>(m_vecLayerNames.size() - 1)));
            tmp_shotItem->setText(1, QString::number(tmp_shot.getId()));
            (tmp_shot.checkActivity()) ? state = Qt::Checked : state =
Qt::Unchecked;
            tmp_shotItem->setCheckState(0, state);
            if (tmp_shot.getId() > nId) {
                nId = tmp_shot.getId();
            }
        }
    }

    m_nId = nId;
    m_nIndexLayer =
static_cast<uint>(m_objRender.getNameToIndex(sSelectLayer.toLocal8Bit().const
Data()));
}

std::vector<layer> Render::getLayers()
{
    return m_layers;
}

bool Render::raiseShotToTheEnd(std::string name, int Id)
{
    burnLayerToDisc(m_layers[m_nameToIndex[name]]);
    return m_layers[m_nameToIndex[name]].raiseShotToTheEnd(Id);
}

```

```

bool Render::dropShotToTheEnd(std::string name, int Id)
{
    burnLayerToDisc(m_layers[m_nameToIndex[name]]);
    return m_layers[m_nameToIndex[name]].dropShotToTheEnd(Id);
}

bool Render::raiseShot(std::string name, int Id)
{
    burnLayerToDisc(m_layers[m_nameToIndex[name]]);
    return m_layers[m_nameToIndex[name]].raiseShot(Id);
}

bool Render::dropShot(std::string name, int Id)
{
    burnLayerToDisc(m_layers[m_nameToIndex[name]]);
    return m_layers[m_nameToIndex[name]].dropShot(Id);
}

int Render::getNameToIndex(std::string name)
{
    return m_nameToIndex[name];
}

void Render::activateLayer(const int & index)
{
    if (index < m_layers.size()) {
        m_layers[index].activateLayer();
    }
}

void Render::deActivateLayer(const int & index)
{
    if (index < m_layers.size()) {
        m_layers[index].deActivateLayer();
    }
}

bool Render::checkLayerActivity(const int & index)
{
    if (index < m_layers.size()) {
        return m_layers[index].checkActivity();
    }
    else {
        std::cout << "Нет слоя с таким номером";
    }
    return false;
}

void Render::activateShot(const int & index, const int& Id)
{
    if (index < m_layers.size()) {
        m_layers[index].activateShot(Id);
    }
}

void Render::deActivateShot(const int & index, const int& Id)
{
    if (index < m_layers.size()) {
        m_layers[index].deActivateShot(Id);
    }
}

bool Render::sheckShotActivity(const int &index, const int &Id)

```

```

{
    return m_layers[index].checkShortActivity(Id);
}

bool Render::raiseLayerToTheEnd(std::string name)
{
    if (!(m_nameToIndex.count(name)) || static_cast<int>(m_layers.size() - 1)
< 0)
    {
        return false;
    }

    uint index = static_cast<uint>(m_nameToIndex[name]);
    layer tmpLayer;
    for (uint i = index; i < m_layers.size() - 1; ++i) {
        std::swap(m_layers[i], m_layers[i + 1]);
    }
    for (auto& obj : m_nameToIndex) {
        if (static_cast<uint>(obj.second) > index) {
            --obj.second;
        }
        m_nameToIndex[name] = m_layers.size() - 1;
    }
    burnLayerListToDisc();
    return true;
}

bool Render::dropLayerToTheEnd(std::string name)
{
    if (!(m_nameToIndex.count(name)))
    {
        return false;
    }
    uint index = static_cast<uint>(m_nameToIndex[name]);
    layer tmpLayer;
    for (uint i = index; i > 0; --i) {
        std::swap(m_layers[i], m_layers[i - 1]);
    }
    for (auto& obj : m_nameToIndex) {
        if (static_cast<uint>(obj.second) < index) {
            ++obj.second;
        }
        m_nameToIndex[name] = 0;
    }
    burnLayerListToDisc();
    return true;
}

bool Render::raiseLayer(std::string name)
{
    int index;
    if (!(m_nameToIndex.count(name))) { return false; }
    index = m_nameToIndex[name];
    if (index >= m_layers.size() - 1) { return false; }
    layer tmpLayer;
    tmpLayer = m_layers[index];
    m_layers[index ] = m_layers[index + 1];
    m_layers[index + 1] = tmpLayer;
    for (auto& obj : m_nameToIndex) {
        if (obj.second == index + 1) { obj.second-- ;}
    }
    m_nameToIndex[name] ++;

    burnLayerListToDisc();
}

```

```

    return true;
}

bool Render::dropLayer(std::string name)
{
    int index;
    if (!(m_nameToIndex.count(name))) { return false; }
    index = m_nameToIndex[name];
    if (index <= 0) { return false; }
    layer tmpLayer;
    tmpLayer = m_layers[index];
    m_layers[index] = m_layers[index - 1];
    m_layers[index - 1] = tmpLayer;
    for (auto& obj : m_nameToIndex) {
        if (obj.second == index - 1) { obj.second++; }
    }

    m_nameToIndex[name] --;
    burnLayerListToDisc();
    return true;
}

bool Render::burnShotToDisc(const shot & newShot, const std::string &
layerName, const std::string & directory)
{
    bool result = true;
    std::string recordAddress = directory + "/" + layerName;
    std::string out = recordAddress + "/" + "shot" +
std::to_string(newShot.getId()) + ".txt";
    std::ofstream output(out);
    if (!output) {
        return false;
    }
    output << newShot.getId() << std::endl;
    output << newShot.getResolutionX() << " " << newShot.getResolutionY() <<
std::endl;
    output << newShot.getCoordinate().x << " " << newShot.getCoordinate().y
<< std::endl;
    output << newShot.getHeight() << " " << newShot.getWidth() << std::endl;
    output << newShot.getZoom() << std::endl;

    cv::Mat tmpMat = newShot.getDeepCopyOfMat();
    result = result && cv::imwrite( recordAddress + "/original/" +
std::to_string(newShot.getId()) + ".bmp" , tmpMat);

    cv::resize(tmpMat, tmpMat, cv::Size(), 0.3, 0.3);
    result = result && cv::imwrite(recordAddress + "/reduced/" +
std::to_string(newShot.getId()) + ".bmp", tmpMat);

    cv::resize(tmpMat, tmpMat, cv::Size(), 0.3, 0.3);
    result = result && cv::imwrite(recordAddress + "/reduced2/" +
std::to_string(newShot.getId()) + ".bmp", tmpMat);

    return result;
}

bool Render::burnLayerToDisc(const layer & newLayer, const std::string &
layerName, const std::string & directory)
{
    bool result = true;

    std::string out = directory + "/" + layerName + ".txt";
    std::ofstream output(out);
    if (!output) {

```

```

        return false;
    }
    std::vector<shot> shots =
*m_layers[static_cast<uint>((m_nameToIndex[layerName]))].getShots();
    output << shots.size() << std::endl;
    for (size_t i = 0; i < shots.size(); i++) {
        output << shots[i].getId() << std::endl;
    }

    return false;
}

bool Render::burnLayerToDisc(const layer & newLayer)
{
    return burnLayerToDisc(newLayer, newLayer.getName(), m_directory);
}

bool Render::burnLayerListToDisc(const std::string & layerListName, const
std::string & directory)
{
    bool result = true;

    std::string out = directory + "/" + layerListName + ".txt";
    std::ofstream output(out);
    if (!output) {
        return false;
    }
    output << m_layers.size() << std::endl;
    for (size_t i = 0; i < m_layers.size(); i++) {
        output << m_layers[i].getName() << std::endl;
    }

    return result;
}

bool Render::burnLayerListToDisc()
{
    return burnLayerListToDisc("layerList", m_directory);
}

bool Render::burnCaptureToDisc(cv::Mat capture)
{
    SYSTEMTIME st;
    GetLocalTime(&st);
    std::string name = "Capture_" + std::to_string(st.wDay) +
std::to_string(st.wMonth) + std::to_string(st.wYear) + "_" +
std::to_string(st.wHour) + std::to_string(st.wMinute) +
std::to_string(st.wSecond);
    cv::Mat newCapture;
    cv::cvtColor(capture, newCapture, CV_BGR2RGB);
    return cv::imwrite(m_directory + "/Capture/" + name + ".bmp",
newCapture);
}

bool Render::loadShotFromDisc(const int shotId, const std::string &
layerName, const std::string & directory)
{
    std::ifstream input(directory + "/" + layerName + "/shot" +
std::to_string(shotId) + ".txt");
    if (!input.is_open()) {
        return false;
    }

    int Id, resolutionX, resolutionY;

```

```

    double height, width;
    std::string zoom;
    TPointCoordinate coordinate;
    input >> Id ;
    input >> resolutionX >> resolutionY;
    input >> coordinate.x >> coordinate.y;
    input >> height >> width;
    std::getline(input, zoom);
    std::getline(input, zoom);
    cv::Mat newMat = cv::imread(directory + "/" + layerName + "/original/" +
std::to_string(shotId) + ".bmp", cv::IMREAD_UNCHANGED);

    shot newShot(newMat, coordinate, width, height, Id, zoom);
    addShotWithoutWritingToDisk(newShot, m_nameToIndex[layerName]);

    return true;
}

bool Render::loadShotFromDisc(const int shotId, const std::string &
layerName)
{
    return loadShotFromDisc(shotId, layerName, m_directory);
}

bool Render::loadLayersFromDisc(const std::string & directory)
{
    std::ifstream input(directory + "/layerList.txt");
    if (!input.is_open()) {
        return false;
    }
    bool result = true;
    int numberOfLayers;
    input >> numberOfLayers;
    std::string layerName;
    std::getline(input, layerName);
    for (int i = 0; i < numberOfLayers; i++) {
        std::getline(input, layerName);
        result = result && loadLayerFromDisc(layerName);
    }
    return result;
}

bool Render::loadLayersFromDisc()
{
    return loadLayersFromDisc(m_directory);
}

bool Render::loadLayerFromDisc(const std::string& layerName, const
std::string & directory)
{
    createLayerWithoutWritingToDisk(layerName);
    std::ifstream input(directory + "/" + layerName + ".txt");
    if (!input.is_open()) {
        return false;
    }
    bool result = true;
    int numberOfshots;
    int shotId;
    input >> numberOfshots;
    for (int i = 0; i < numberOfshots; i++) {
        input >> shotId;
        result = result && loadShotFromDisc( shotId, layerName);
    }
}

```

```

        return result;
    }

bool Render::loadLayerFromDisc(const std::string & layerName)
{
    return loadLayerFromDisc(layerName, m_directory);
}

bool Render::loadProject(const std::string & directory)
{
    bool result = true;
    result = result && m_calibration.loadCalibrationFromDisc();
    loadLayersFromDisc();
    return result;
}

bool Render::loadProject()
{
    return loadProject(m_directory);
}

```

- Блок построения топологических карт поверхности образца

```

Render::Render()
{
    m_bound = { 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 };
    m_directory = "";
}

void Render::setDirectory(std::string directory)
{
    m_directory = directory;
    m_calibration.setDirectory("./");
    fs::create_directory(m_directory);
    fs::create_directory(m_directory + "/Capture");
    m_bound = { 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 };
}

void Render::cameraSetting(cv::VideoCapture cap)
{
    cap.set(CV_CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, 510);
    cap.set(CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH, 680);
    cap.set(CV_CAP_PROP_FOURCC, CV_FOURCC('i', 'Y', 'U', 'V'));
    cap.set(CV_CAP_PROP_FPS, 40);
}

void Render::createLayer(std::string& name)
{
    layer newLayer(name);
    m_layers.push_back(newLayer);
    m_nameToIndex[name] = m_layers.size() - 1;

    std::string recordAddress = m_directory + "/" + name;
    fs::create_directory(recordAddress);

    fs::create_directory(recordAddress + "/original");
    fs::create_directory(recordAddress + "/reduced");
    fs::create_directory(recordAddress + "/reduced2");

    burnLayerToDisc(newLayer);
    burnLayerListToDisc();
}

```

```

void Render::delLayer(string name)
{
    m_layers.erase(m_layers.cbegin() + m_nameToIndex[name]);

    updateTheMapOfIndicesOfLayers();
    burnLayerListToDisc();

    std::string recordAddress = m_directory + "/" + name;
    fs::path dir = fs::temp_directory_path();
    fs::remove_all(dir / recordAddress);
}

void Render::updateTheMapOfIndicesOfLayers()
{
    m_nameToIndex.clear();
    for(uint i=0; i < m_layers.size(); i++){
        m_nameToIndex[m_layers[i].getName()] = i;
    }
}

cv::VideoCapture* Render::startVideo(int cameraIndex)
{
    cv::VideoCapture cap = (cameraIndex);          //открыть камеру по index'u
    cameraSetting(cap);
    if (cap.isOpened() == false) {
        std::cout << "Cannot open the video camera" << std::endl;
        std::cin.get();
    }
    return &cap;
}

auto Render::createWindow(std::string name)
{
    cv::namedWindow(name, CV_WINDOW_AUTOSIZE | CV_GUI_NORMAL);
    m_windows.push_back(name);
}

cv::Mat Render::setRoiOld(const cv::Point& ul_original, const cv::Point&
dr_original, const cv::Point& ul_result, const cv::Point& dr_result, cv::Mat
result, cv::Mat original)
{
    cv::Rect originalROI, resultROI;
    originalROI = cv::Rect(ul_original, dr_original);
    resultROI = cv::Rect(ul_result, dr_result);
    cv::Mat tmp;
    if ((originalROI.height > 2) && (originalROI.width > 2) &&
(resultROI.height > 2) && (resultROI.width > 2)) {
        resize(original(originalROI), tmp, result(resultROI).size());
        tmp.copyTo(result(cv::Rect(ul_result.x, ul_result.y, tmp.cols,
tmp.rows)));
    }
    return result;
}

cv::Mat Render::addShotToImage(shot currentShot, cv::Mat Image, viewArea
currentView)
{
    if (currentView.isAreaIntersect(currentShot)) {
        TRectangle intersection;
        intersection = currentView.findIntersectArea(currentShot);
        TPointCoordinate ul, dr;          //реальные координаты
        ul.x = currentView.findIntersectArea(currentShot).left;
        ul.y = currentView.findIntersectArea(currentShot).top;
    }
}

```

```

        dr.y = currentView.findIntersectArea(currentShot).bottom;
        dr.x = currentView.findIntersectArea(currentShot).right;
//положение пикселей на картинке
        cv::Point ul_original, dr_original, ul_result, dr_result;
        ul_original = currentShot.getPixelByCoordinate(ul).second;
        dr_original = currentShot.getPixelByCoordinate(dr).second;
        ul_result = currentView.getPixelByCoordinate(ul).second;
        dr_result = currentView.getPixelByCoordinate(dr).second;
        Image = setRoiOld(ul_original, dr_original, ul_result, dr_result,
Image, *currentShot.getMat());
    }
    return Image;
}

cv::Mat Render::createCurrentFrame(viewArea currentView)
{
    cv::Mat result(currentView.getResolutionY(),
currentView.getResolutionX(), CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));
    for (auto lauer : m_layers) {
        std::vector<shot> v_shot = *lauer.getShots();
        for (auto currentShot : v_shot) {
            result = addShotToImage(currentShot, result, currentView);
        }
    }
    return result;
}

cv::Mat Render::createCurrentFrameForCalibration(viewArea currentView)
{
    cv::Mat result(currentView.getResolutionY(),
currentView.getResolutionX(), CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255));
    shot tmp;
    for (auto segment : m_layers) {
        if (segment.checkActivity()) {
            std::vector<shot> v_shot = *segment.getShots(); //прикрутить
ссылки!!
            for (auto currentShot : v_shot) {
                if (currentShot.checkActivity()) {
                    tmp = currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);
                    if(std::find(m_selectedShots.begin(),
m_selectedShots.end(), std::to_string(currentShot.getId())) !=
m_selectedShots.end()) {
                        cv::rectangle(*tmp.getMat(), cv::Point(0,0),
cv::Point(tmp.getMat()->cols, tmp.getMat()->rows), cv::Scalar(125, 50, 55),
15);
                        cv::rectangle(*tmp.getMat(), cv::Point(0,0),
cv::Point(tmp.getMat()->cols/10, tmp.getMat()->rows/10), cv::Scalar(125, 50,
55), -1);
                        cv::putText(*tmp.getMat(),
std::to_string(currentShot.getId()), cv::Point(tmp.getMat()->cols/50,
tmp.getMat()->rows/12), cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX, 1, cv::Scalar (255, 255,
255), 3, cv::LINE_AA);
                    }
                    result = addShotToImage(tmp, result, currentView);
                }
            }
        }
    }
    return result;
}

cv::Mat Render::createCurrentFrameQuickly(viewArea& currentView)
{

```

```

    cv::Mat image(currentView.getResolutionY(), currentView.getResolutionX(),
CV_8UC4, cv::Scalar(255, 255, 255)); //итоговое изображение
    // создаем разметку
    std::vector<double> xMark; // точки разбиения на оси x
    std::vector<double> yMark; // точки разбиения на оси y

    xMark.push_back(currentView.getLeftBound());
    xMark.push_back(currentView.getRightBound());
    yMark.push_back(currentView.getBottomBound());
    yMark.push_back(currentView.getTopBound());

    double pixelSize = currentView.getHeight() /
currentView.getResolutionY(); //-минимальный размер поля, которое попадет на
итоговое изображение

    for (auto& currentLayer : m_layers) {
        if (currentLayer.checkActivity()) {
            std::vector<shot>* v_shot = currentLayer.getShots();
            for (auto& currentShot : *v_shot) {
                if(currentShot.checkActivity()){
                    shot tmp =
currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);

                    if (currentView.isAreaIntersect(tmp)) {
                        if ((tmp.getLeftBound() > currentView.getLeftBound())
&& (tmp.getLeftBound() < currentView.getRightBound())) {
                            xMark.push_back(tmp.getLeftBound());
                        }
                        if ((tmp.getRightBound() >
currentView.getLeftBound()) && (tmp.getRightBound() <
currentView.getRightBound())) {
                            xMark.push_back(tmp.getRightBound());
                        }
                        if ((tmp.getBottomBound() >
currentView.getTopBound()) && (tmp.getBottomBound() <
currentView.getBottomBound())) {
                            yMark.push_back(tmp.getBottomBound());
                        }
                        if ((tmp.getTopBound() > currentView.getTopBound())
&& (tmp.getTopBound() < currentView.getBottomBound())) {
                            yMark.push_back(tmp.getTopBound());
                        }
                    }

                    double ratio = tmp.getPixelPerMkm() /
currentView.getPixelPerMkm();

                    if (ratio < 1 && ratio > 0.331 &&
tmp.getPixelPerMkm() < tmp.getOriginalPixelPerMkm()/9) {
                        cv::Mat newMat = cv::imread(m_directory + "/" +
currentLayer.getName() + "/reduced/" + std::to_string(currentShot.getId()) +
".bmp", cv::IMREAD_UNCHANGED);
                        currentShot.setFrame(newMat);
                        tmp =
currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);
                    }
                    else if (ratio < 1 && tmp.getPixelPerMkm() <
tmp.getOriginalPixelPerMkm()) {

                        cv::Mat newMat = cv::imread(m_directory + "/" +
currentLayer.getName() + "/original/" + std::to_string(currentShot.getId()) +
".bmp", cv::IMREAD_UNCHANGED);
                        currentShot.setFrame(newMat);
                        tmp =
currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);
                    }
                }
            }
        }
    }

```

```

        }

        ratio = tmp.getPixelPerMkm() /
currentView.getPixelPerMkm();
        while (ratio > 3.4) {
            currentShot.compress();
            ratio = currentShot.getPixelPerMkm() /
currentView.getPixelPerMkm();
            tmp =
currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);
        }
    }
}
}
else {
    std::vector<shot>* v_shot = currentLayer.getShots();
    for (auto& currentShot : *v_shot) {
        double ratio = currentShot.getPixelPerMkm() /
currentShot.getOriginalPixelPerMkm();
        while (ratio > 0.09) {
            currentShot.compress();
            ratio = currentShot.getPixelPerMkm() /
currentShot.getOriginalPixelPerMkm();
        }
    }
}
sort(xMark.begin(), xMark.end());
sort(yMark.begin(), yMark.end());

// отбор точек разбиения( если 2 точки находятся слишком близко то
рассмотрение области между ними не оправдано)
{
    std::vector<double> tmpMark;
    int i = 0, j = 0;
    tmpMark.push_back(xMark[0]);
    while( j < xMark.size()) {
        if (xMark[j] - xMark[i] > 0) {
            tmpMark.push_back(xMark[j]);
            i = j;
        }
        else {
            j++;
        }
    }
    xMark.clear();
    xMark = tmpMark;
}

{
    std::vector<double> tmpMark;
    int i = 0, j = 0;
    tmpMark.push_back(yMark[0]);
    while (j < yMark.size()) {
        if (yMark[j] - yMark[i] > 0) {
            tmpMark.push_back(yMark[j]);
            i = j;
        }
        else {
            j++;
        }
    }
}

```

```

        yMark.clear();
        yMark = tmpMark;
    }

    int iXMin, iXMax, iYMin, iYMax; // координаты границ изображения(мкм)
    std::vector<std::vector<shot>> marking(xMark.size()); // 2 мерный массив
    для каждой размеченной области
    marking.resize(xMark.size());
    for (int i = 0; i < xMark.size(); i++) {
        marking[i].resize(yMark.size());
    }

    for (auto currentLayer : m_layers) {
        if (currentLayer.checkActivity()) {
            std::vector<shot> v_shot = *currentLayer.getShots();
            for (auto currentShot : v_shot) {
                if (currentShot.checkActivity()) {
                    shot tmp = currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);

                    iXMax = 0;
                    iXMin = xMark.size() - 1;
                    for (int i = 0; i < xMark.size(); i++) {
                        if (tmp.getRightBound() >= xMark[i]) { iXMax = i; }
                    }

                    for (int i = xMark.size() - 1; i >= 0; i--) {
                        if (tmp.getLeftBound() <= xMark[i]) { iXMin = i; }
                    }

                    iYMax = 0;
                    iYMin = yMark.size() - 1;
                    for (int i = 0; i < yMark.size(); i++) {
                        if (tmp.getBottomBound() >= yMark[i]) { iYMax = i; }
                    }

                    for (int i = yMark.size() - 1; i >= 0; i--) {
                        if (tmp.getTopBound() <= yMark[i]) { iYMin = i; }
                    }

                    for (int i = iXMin; i < iXMax; i++) {
                        for (int j = iYMin; j < iYMax; j++) {
                            marking[i][j] = tmp;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }

    //// вставляем все это в итоговое изображение////
    for (int i = 0; i < xMark.size() - 1; i++) {
        for (int j = 0; j < yMark.size() - 1; j++) {
            TPointCoordinate ul, dr; //реальные координаты
            ul.x =xMark[i];
            ul.y = yMark[j];
            dr.y = yMark[j+1];
            dr.x = xMark[i+1];
            cv::Point ul_original, dr_original, ul_result, dr_result;
            //положение пикселей на картинке
            ul_original = marking[i][j].getPixelByCoordinate(ul).second;
            dr_original = marking[i][j].getPixelByCoordinate(dr).second ;

            if (dr_original.x - ul_original.x < 1) {

```

```

        if (dr_original.x < marking[i][j].getResolutionX() - 1 ) {
            dr_original.x++;
        }
        if (ul_original.x > 0) {
            ul_original.x--;
        }
    }

    if (dr_original.y - ul_original.y < 1) {
        if (dr_original.y < marking[i][j].getResolutionY() - 1) {
            dr_original.y++;
        }
        if (ul_original.y > 0) {
            ul_original.y--;
        }
    }

    ul_result = currentView.getPixelByCoordinate(ul).second ;
    dr_result = currentView.getPixelByCoordinate(dr).second;

    try {
        image = setRoi(ul_original, dr_original, ul_result,
dr_result, image, *marking[i][j].getMat());
    }
    catch(std::vector<cv::Rect> roi) {
    }
}

return image;
}

// добавление кадра на главный MAT, ul-upperleft, dr-downright
cv::Mat Render::setRoi(const cv::Point& ul_original, const cv::Point&
dr_original, const cv::Point& ul_result, const cv::Point& dr_result, cv::Mat
result, cv::Mat original)
{
    cv::Rect originalROI, resultROI;
    originalROI = cv::Rect(ul_original, dr_original); //область интереса на
оригинале
    resultROI = cv::Rect(ul_result, dr_result); //область интереса на
результате

    std::vector < cv::Rect> res;
    res.push_back(originalROI);
    res.push_back(resultROI);
    cv::Mat tmp;
    if ((originalROI.height > 0) && (originalROI.width > 0) &&
(resultROI.height > 0) && (resultROI.width > 0)) { //проверка на
ошибки округления
        resize(original(originalROI), tmp, result(resultROI).size());
        tmp.copyTo(result(cv::Rect(ul_result.x, ul_result.y, tmp.cols,
tmp.rows)));
        throw res;
    }

    return result;
}

void Render::setSelectedShots(std::vector<std::string> shots) {
    m_selectedShots = shots;
}

void Render::sortByResolution()

```

```

    {
        for ( auto& item : m_layers) {
            item.sortByResolution();
        }
    }

void Render::addShot(const shot & newShot, const int& layerNumber)
{
    if (layerNumber < m_layers.size()) {
        m_layers[layerNumber].addShot(newShot);
        burnShotToDisc(newShot, m_layers[layerNumber].getName(), m_directory);
    }
    burnLayerToDisc(m_layers[layerNumber], m_layers[layerNumber].getName(),
m_directory);
}

void Render::delShot(std::string layerName, int id)
{
    m_layers[m_nameToIndex[layerName]].delShot(id);

    std::string recordAddress = m_directory + "/" + layerName;
    fs::path dir = fs::temp_directory_path();

    fs::remove(dir / (recordAddress + "/" + "shot" + std::to_string(id) +
".txt"));

    fs::remove(dir / ( recordAddress + "/original/" + std::to_string(id) +
".bmp" ));
    fs::remove(dir / ( recordAddress + "/reduced/" + std::to_string(id) +
".bmp" ));
    fs::remove(dir / ( recordAddress + "/reduced2/" + std::to_string(id) +
".bmp" ));
    burnLayerToDisc(m_layers[m_nameToIndex[layerName]]);
}

void Render::addShotWithoutWritingToDisk(const shot & newShot, const int &
layerNumber)
{
    if (layerNumber < m_layers.size()) {
        m_layers[layerNumber].addShot(newShot);
    }
}

void Render::toShow(const cv::Mat& toShow) {
    cv::imshow(m_currentWindow, toShow);
}

calibration* Render::getCalibration()
{
    return &m_calibration;
}

void Render::setBound(std::vector<layer>* newLayers) { //копия в minimap!!!
    double x_min = 0.0;
    double x_max = 0.0;
    double y_min = 0.0;
    double y_max = 0.0;
    for (auto elem : *newLayers) {
        TRectangle tmp_bound = elem.getBound();
        if (tmp_bound.left < x_min) {
            x_min = tmp_bound.left;
        }
        if (tmp_bound.right > x_max) {

```

```

        x_max = tmp_bound.right;
    }
    if (tmp_bound.top < y_min) {
        y_min = tmp_bound.top;
    }
    if (tmp_bound.bottom > y_max) {
        y_max = tmp_bound.bottom;
    }
}

m_bound = { y_min, y_max, x_min, x_max };
}

cv::Mat Render::addMiniMap(viewArea& currentArea, const TRealSize& size,
TPointCoordinate& center)
{
    cv::Mat mat = m_map.getMiniMapMat( m_layers, currentArea, size, center);
    return mat;
}

void Render::drawScaleMarker(cv::Mat & curImg, int markerSize, cv::Point
location, int xResolution, int xRealsize)
{
    int markerValue = xRealsize * markerSize / xResolution;
    int n = 1;
    std::vector<int> validLengthValues = {0, 1, 2,5, 10, 20, 50, 100,
200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000 };

    while (markerValue > validLengthValues[n] && n <
validLengthValues.size()) {
        n++;
    }

    markerValue = validLengthValues[n - 1];
    markerSize = markerValue * xResolution / xRealsize;
    cv::Point pt1 = location;
    pt1.x = pt1.x - markerSize;

    cv::Point lift = { 3, 0 };

    cv::line(curImg, pt1 , location , cv::Scalar( 255,255,255 ), 8, 4);
    cv::line(curImg, pt1 + lift, location - lift, cv::Scalar( 0,0,0 ), 4,
4);

    pt1.y -= 8;
    std::string text = std::to_string(markerValue) + "mkm";
    cv::Size textSize = cv::getTextSize(text, 4, 0.5, 1, nullptr);
    cv::rectangle(curImg, {pt1.x, pt1.y + 2}, {pt1.x + textSize.width,
pt1.y - textSize.height}, CV_RGB(255, 255, 255), CV_FILLED);
    cv::putText(curImg, text, pt1, 4, 0.5, cv::Scalar(0, 0, 0), 1, 10,
false);
}

cv::Mat Render::drawBoxOnSelectedShot(cv::Mat image,viewArea currentView)
{
    shot tmp;
    for (auto segment : m_layers) {
        if (segment.checkActivity()) {
            std::vector<shot> v_shot = *segment.getShots();
            for (auto currentShot : v_shot) {
                if (currentShot.checkActivity()) {
                    tmp = currentShot.getRecalibratedShot(m_calibration);
                    if(std::find(m_selectedShots.begin(),
m_selectedShots.end(), std::to_string(currentShot.getId())) !=
m_selectedShots.end()) {

```

```

        cv::Point UpLeftAngle, DounRoghtAngle;
        UpLeftAngle = currentView.getPixelByCoordinate(
TPointCoordinate{tmp.getTopBound(), tmp.getLeftBound()}).second;
        DounRoghtAngle =
currentView.getPixelByCoordinate(
TPointCoordinate{tmp.getBottomBound(), tmp.getRightBound()}).second;
cv::Scalar(125, 50, 55), 2);
        cv::rectangle(image, UpLeftAngle, UpLeftAngle +
(DownRoghtAngle - UpLeftAngle)/10, cv::Scalar(125, 50, 55), -1);
        cv::putText(image,
std::to_string(currentShot.getId()), UpLeftAngle +
cv::Point((DownRoghtAngle.x - UpLeftAngle.x)/50, (DownRoghtAngle.y -
UpLeftAngle.y)/12), cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX, 1, cv::Scalar(255, 255, 255),
3, cv::LINE_AA);
    }
}
}
}
return image;
}
}

```

```

void Render::calibrateHeight(shot & first, shot & second, calibration &
CurrCalib)

```

```

{
    cv::Mat img1, img2;
    std::vector<TPointCoordinate> points1, points2;
    first.getMat()->copyTo(img1);
    cv::cvtColor(img1, img1, CV_RGB2GRAY);
    second.getMat()->copyTo(img2);
    cv::cvtColor(img2, img2, CV_RGB2GRAY);

    CurrCalib.findAndMatchSpecialPoints(img1, img2, points1, points2);

    std::vector< double> difY;
    for (int i = 0; i < points1.size(); i++) {
        difY.push_back(points1[i].y - points2[i].y);
    }
    double dP = CurrCalib.searchForMaximumDensity(difY);
    double widht = CurrCalib.getRealsize(first.getZoom()).width;
    double dL = first.getCoordinate().y - second.getCoordinate().y;
    int pixWidth = first.getResolutionY();
    double height = abs(dL * pixWidth / dP);
    std::cout << height << " " << first.getZoom() << std::endl;
    CurrCalib.rewriteZoom(first.getZoom(), height, widht);
}

```

```

//для откалиброванных по размеру шотов

```

```

void Render::calibrateShiftsX(shot & first, shot & second, calibration &
CurrCalib)

```

```

{
    {
        if (first.getWidth() < second.getWidth()) {
            shot tmp = second;
            second = first;
            first = tmp;
        }

        cv::Mat img1, img2;
        std::vector<TPointCoordinate> points1, points2;
        first.getMat()->copyTo(img1);
        cv::cvtColor(img1, img1, CV_RGB2GRAY);
        second.getMat()->copyTo(img2);
    }
}

```

```

cv::cvtColor(img2, img2, CV_RGB2GRAY);

double coefficient = second.getWidth() / second.getResolutionX() /
first.getWidth() * first.getResolutionX(); //уменьшение разрешения меньшей
фотографии;
std::cout << coefficient << std::endl;
cv::resize(img2, img2, cv::Size(), coefficient, coefficient);

shot ersatzSecondShot = second;
ersatzSecondShot.setFrame(img2);

CurrCalib.findAndMatchSpecialPoints(img1, img2, points1, points2);

std::vector< double> difX;
for (int i = 0; i < points1.size(); i++) {
    cv::Point tmp1, tmp2;
    tmp1 = { (int)points1[i].x, (int)points1[i].y };
    tmp2 = { (int)points2[i].x, (int)points2[i].y };
    double dY = CurrCalib.getOffset(second.getZoom()).y;
    CurrCalib.rewriteOffset(second.getZoom(), 0, dY);
    points1[i] =
(first.getRecalibratedShot(CurrCalib)).getCoordinateByPixel(tmp1);
    points2[i] =
(ersatzSecondShot.getRecalibratedShot(CurrCalib)).getCoordinateByPixel(tmp2);
    difX.push_back(points1[i].x - points2[i].x);
}
double dX = CurrCalib.searchForMaximumDensity(difX)/2 ;
double dY = CurrCalib.getOffset(second.getZoom()).y;
std::cout << dX << " " << dY << std::endl ;
CurrCalib.rewriteOffset(second.getZoom(), dX, dY);
}
}

void Render::calibrateShiftsY(shot & first, shot & second, calibration &
CurrCalib)
{
    {
        if (first.getHeight() < second.getHeight()) {
            shot tmp = second;
            second = first;
            first = tmp;
        }

        cv::Mat img1, img2;
        std::vector<TPointCoordinate> points1, points2;
        first.getMat()->copyTo(img1);
        cv::cvtColor(img1, img1, CV_RGB2GRAY);
        second.getMat()->copyTo(img2);
        cv::cvtColor(img2, img2, CV_RGB2GRAY);

        double coefficient = second.getHeight() / second.getResolutionY() /
first.getHeight() * first.getResolutionY(); //уменьшение разрешения меньшей
фотографии;
        std::cout << coefficient << std::endl;
        cv::resize(img2, img2, cv::Size(), coefficient, coefficient);

        shot ersatzSecondShot = second;
        ersatzSecondShot.setFrame(img2);

        CurrCalib.findAndMatchSpecialPoints(img1, img2, points1, points2);

        std::vector< double> difY;

```

```

    for (int i = 0; i < points1.size(); i++) {
        cv::Point tmp1, tmp2;
        tmp1 = { (int)points1[i].x, (int)points1[i].y };
        tmp2 = { (int)points2[i].x, (int)points2[i].y };
        double dX = CurrCalib.getOffset(second.getZoom()).x;
        CurrCalib.rewriteOffset(second.getZoom(), dX, 0);
        points1[i] =
(first.getRecalibratedShot(CurrCalib)).getCoordinateByPixel(tmp1);
        points2[i] =
(ersatzSecondShot.getRecalibratedShot(CurrCalib)).getCoordinateByPixel(tmp2);
        difY.push_back(points1[i].y - points2[i].y);
    }
    double dY= CurrCalib.searchForMaximumDensity(difY)/2;
    double dX = CurrCalib.getOffset(second.getZoom()).x;
    std::cout << dX << " " << dY << std::endl;
    CurrCalib.rewriteOffset(second.getZoom(), dX, dY);
}
}

shot Render::getShot(int i, int j)
{
    return m_layers[i].getShot(j);
}

void Render::DrawTests(cv::Mat Image, viewArea& area,
std::vector<std::shared_ptr<CTest>>* tests)
{
    cv::Scalar color;
    int nCount = 1;
    for (auto& elem : *tests) {
        switch(elem->GetCode()) {
            case TT_INDENT_ID: {
                shared_ptr<CTestIndentation> pTest =
dynamic_pointer_cast<CTestIndentation>(elem);
                int radius = 7;
                if(area.getPixelByCoordinate({pTest->m_fIndentX, pTest-
>m_fIndentY}).first)
                {
                    cv::Point coord = area.getPixelByCoordinate({pTest-
>m_fIndentX, pTest->m_fIndentY}).second;
                    (pTest->m_bIsComplete) ? color = cv::Scalar(0, 255, 0) :
color = cv::Scalar(0, 0, 255);
                    cv::circle(Image, cv::Point(coord.x, coord.y), radius, color,
CV_FILLED);
                    cv::putText(Image, std::to_string(nCount), cv::Point(coord.x
+ 2*radius, coord.y + radius), cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 0.5, color);
                }
                break;
            }
            case TT_DMA_ID: {
                shared_ptr<CTestDMA> pTest =
dynamic_pointer_cast<CTestDMA>(elem);
                int sideLength = 6;
                (pTest->m_bIsComplete) ? color = cv::Scalar(0, 255, 0) : color =
cv::Scalar(0, 0, 255);
                if (area.getPixelByCoordinate({pTest->m_fIndentX, pTest-
>m_fIndentY}).first)
                {
                    cv::Point coord = area.getPixelByCoordinate({pTest-
>m_fIndentX, pTest->m_fIndentY}).second;
                    cv::rectangle(Image, coord - cv::Point(sideLength, sideLength),
coord + cv::Point(sideLength, sideLength), color, CV_FILLED);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        cv::putText(Image, std::to_string(nCount), coord +
cv::Point(2*sideLength, sideLength), cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 0.5,
color);
    }
    break;
}
case TT_PUL_INDENTATION_ID: {
    shared_ptr<CTestPUL> pTest =
dynamic_pointer_cast<CTestPUL>(elem);
    int size = 6; //рамерный коэффициент(радиус описаной окружности)
    (pTest->m_bIsComplete) ? color = cv::Scalar(0, 255, 0) : color =
cv::Scalar(0, 0, 255);
    if (area.getPixelByCoordinate({(pTest->m_fIndentX), (pTest-
>m_fIndentY)}).first)
    {
        cv::Point center = area.getPixelByCoordinate({(pTest-
>m_fIndentX), (pTest->m_fIndentY)}).second;
        cv::Point rook_points[1][3];

        rook_points[0][0] = cv::Point( static_cast<int>( size * 0)
,static_cast<int>(size * (-1) )) + center;
        rook_points[0][1] = cv::Point(static_cast<int>(size * 0.87)
,static_cast<int>(size * 0.5 )) + center;
        rook_points[0][2] = cv::Point(static_cast<int>(size * (-
0.87)) ,static_cast<int>(size * 0.5 )) + center;

        const cv::Point* ppt[1] = { rook_points[0] };
        int npt[] = { 3 };
        fillPoly( Image, ppt, npt, 1, color, 8 );
        cv::putText(Image, std::to_string(nCount), {center.x +
2*size, center.y},
                    cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 0.5, color);
    }
    break;
}
case TT_SCRATCH_ID:
case TT_SCRATCH_MO_ID: {
    shared_ptr<CTestScratch> pTest =
dynamic_pointer_cast<CTestScratch>(elem);
    int width = 2;
    (pTest->m_bIsComplete) ? color = cv::Scalar(0, 255, 0) : color =
cv::Scalar(0, 0, 255);
    cv::Point first = area.getPixelByCoordinate({pTest->m_fScratchX,
pTest->m_fScratchY}).second;
    cv::Point second = area.getPixelByCoordinate({pTest-
>m_fScratchX2, pTest->m_fScratchY2}).second;
    cv::line(Image, first, second, color, width);
    cv::putText(Image, std::to_string(nCount), first ,
cv::FONT_HERSHEY_COMPLEX_SMALL, 0.5, color);
    break;
}
}
++nCount;
}
}

void Render::DrawInstallinTest(cv::Mat Image, TPointCoordinate &PointA,
TPointCoordinate &PointB, int nType)
{
    cv::Scalar color = cv::Scalar(0, 255, 255);
    int width = 2;
    cv::line(Image, cv::Point(PointA.x, PointA.y), cv::Point(PointB.x,
PointB.y), color, width);
    if (nType == 1)

```

```

    {
        double mainDirection[2] = {PointB.x - PointA.x, PointB.y - PointA.y};
        double c, d; //компоненты перпендикулярного вектора
        double alpha = 1.0; //множитель длины вектора
        double length = sqrt(pow(mainDirection[0], 2) + pow(mainDirection[1],
2)) / 3;
        c = 1.0;
        d = - mainDirection[0] / mainDirection[1];
        alpha = sqrt(pow(length, 2) / ((c * c) + (d * d)));
        cv::Point O1 = {static_cast<int>(PointA.x + alpha*c),
static_cast<int>(PointA.y + alpha*d)};
        cv::Point O2 = {static_cast<int>(PointA.x - alpha*c),
static_cast<int>(PointA.y - alpha*d)};
        cv::Point O3 = {static_cast<int>(PointB.x + alpha*c),
static_cast<int>(PointB.y + alpha*d)};
        cv::Point O4 = {static_cast<int>(PointB.x - alpha*c),
static_cast<int>(PointB.y - alpha*d)};
        cv::line(Image, O1, O2, color, width);
        cv::line(Image, O3, O4, color, width);
    }
}

void Render::DrawSquares(cv::Mat Image, std::map<int, TSquareObject> squares,
viewArea& area)
{
    cv::Scalar color = cv::Scalar(0, 255, 255);
    cv::Scalar textColor = cv::Scalar(0, 102, 204);
    int width = 2;

    for(auto& elem: squares) {
        switch (elem.second.type) {
            case 2:
            {
                cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
                break;
            }
            case 3:
            {
                if (elem.second.corrdinates.size() == 1)
                {
                    cv::circle(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second, width, color, CV_FILLED);
                }
                if (elem.second.corrdinates.size() == 2)
                {
                    cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
                    break;
                }
                cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
            }
        }
    }
}

```

```

        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second,
        area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second, color, width);
        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
        area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second, color, width);
        break;
    }
    case 4:
    {
        if (elem.second.corrdinates.size() == 1) {
            cv::circle(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
                width, color, CV_FILLED);
        }
        if (elem.second.corrdinates.size() == 2) {
            cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
            break;
        }
        if (elem.second.corrdinates.size() == 3) {
            cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
            cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second, color, width);
            cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second, color, width);
            break;
        }
        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second,
            area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second, color, width);
        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[1].x,
elem.second.corrdinates[1].y}).second,
            area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second, color, width);
        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[2].x,
elem.second.corrdinates[2].y}).second,

```

```

        area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[3].x,
elem.second.corrdinates[3].y}).second, color, width);
        cv::line(Image,
area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[3].x,
elem.second.corrdinates[3].y}).second,
        area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second, color, width);
        break;
    }
}
cv::Size textSize =
getTextSize(std::to_string(static_cast<int>(elem.second.square))+ " mkm2",
            cv::FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, 3,
nullptr);

// center the text
cv::Point
textOrg(area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second.x - 5,

area.getPixelByCoordinate({elem.second.corrdinates[0].x,
elem.second.corrdinates[0].y}).second.y - 5);

// draw the box
cv::rectangle(Image, textOrg + cv::Point(-3, 3),
            textOrg + cv::Point(textSize.width, -textSize.height),
cv::Scalar(255,255,255), CV_FILLED);

cv::putText(Image,
std::to_string(static_cast<int>(elem.second.square)) + " mkm" + "2", textOrg,
            cv::FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, textColor);
}
}

void Render::DrawTriangle(cv::Mat Image, std::vector<TPointCoordinate>
coordinates, viewArea &area)
{
    cv::Scalar color = cv::Scalar(0, 255, 255);
    int width = 2;
    if (coordinates.size() == 1)
    {
        cv::circle(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, width*2, color, CV_FILLED);
    }
    if (coordinates.size() == 2)
    {
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
    }
    if (coordinates.size() == 3)
    {
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
    }
}
}

```

```

void Render::DrawQuadrangle(cv::Mat Image, std::vector<TPointCoordinate>
coordinates, viewArea &area)
{
    cv::Scalar color = cv::Scalar(0, 255, 255);
    int width = 2;
    if (coordinates.size() == 1)
    {
        cv::circle(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, width*2, color, CV_FILLED);
    }
    if (coordinates.size() == 2)
    {
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
    }
    if (coordinates.size() == 3)
    {
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
    }
    if (coordinates.size() == 4)
    {
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[1].x,
coordinates[1].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[2].x,
coordinates[2].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[3].x,
coordinates[3].y}).second, color, width);
        cv::line(Image, area.getPixelByCoordinate({coordinates[3].x,
coordinates[3].y}).second, area.getPixelByCoordinate({coordinates[0].x,
coordinates[0].y}).second, color, width);
    }
}

bool Render::setDirectory(QString directory)
{
    m_directory = directory.toStdString();
    m_calibration.setDirectory("./");
    fs::create_directory(m_directory);
    fs::create_directory(m_directory + "/Capture");
    return loadProject();
}

int Render::findMaxID()
{
    int maxId = 0;
    for (auto lauer: m_layers){
        for (auto shot : *(lauer.getShots())){
            if (maxId < shot.getId()) {
                maxId = shot.getId();
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    qDebug() << maxId;
    return maxId;
}

CMiniMap *Render::getMiniMap()
{
    return &m_map;
}

```

- Блок формирования и выдачи отчетов

```

void Report::MakeReportNI(CString data)
{
    const char *font_list[] = {
        "Courier",
        "Courier-Bold",
        "Courier-Oblique",
        "Courier-BoldOblique",
        "Helvetica",
        "Helvetica-Bold",
        "Helvetica-Oblique",
        "Helvetica-BoldOblique",
        "Times-Roman",
        "Times-Bold",
        "Times-Italic",
        "Times-BoldItalic",
        "Symbol",
        NULL
    };

    HPDF_Font def_font;
    HPDF_REAL tw;
    HPDF_REAL height;
    HPDF_REAL dh = 0;
    HPDF_REAL width;

    def_font = HPDF_GetFont(pdf, "Courier", NULL);

    page[0] = HPDF_AddPage(pdf);
    page[1] = HPDF_AddPage(pdf);
    page[2] = HPDF_AddPage(pdf);

    HPDF_Page_SetSize(page[0], HPDF_PAGE_SIZE_A4, HPDF_PAGE_PORTRAIT);
    HPDF_Page_SetSize(page[1], HPDF_PAGE_SIZE_A4, HPDF_PAGE_PORTRAIT);
    HPDF_Page_SetSize(page[2], HPDF_PAGE_SIZE_A4, HPDF_PAGE_PORTRAIT);

    HPDF_Outline root;
    root = HPDF_CreateOutline(pdf, NULL, "Content", NULL);
    HPDF_Outline_SetOpened(root, HPDF_TRUE);

    HPDF_Outline outline[4];
    outline[0] = HPDF_CreateOutline(pdf, root, "A. General information",
NULL);
    outline[1] = HPDF_CreateOutline(pdf, root, "B. Indentation Details",
NULL);

    HPDF_Destination dst;
    dst = HPDF_Page_CreateDestination(page[0]);
    HPDF_Destination_SetXYZ(dst, 0, HPDF_Page_GetHeight(page[0]), 1);
    HPDF_Outline_SetDestination(outline[0], dst);

    dst = HPDF_Page_CreateDestination(page[1]);

```

```

HPDF_Destination_SetXYZ(dst, 0, HPDF_Page_GetHeight(page[1]), 1);
HPDF_Outline_SetDestination(outline[1], dst);

dst = HPDF_Page_CreateDestination(page[2]);
HPDF_Destination_SetXYZ(dst, 0, HPDF_Page_GetHeight(page[2]), 1);
HPDF_Outline_SetDestination(outline[2], dst);

def_font = HPDF_GetFont(pdf, "Courier", NULL);
HPDF_Page_SetFontAndSize(page[0], def_font, 20);

const char *page_title = "Indentation report";
tw = HPDF_Page_TextWidth(page[0], page_title);
dh += 22;

height = HPDF_Page_GetHeight(page[0]);
width = HPDF_Page_GetWidth(page[0]);

HPDF_Image image;
image = HPDF_LoadPngImageFromFile(pdf, "NS.png");
HPDF_Page_DrawImage(page[0], image, HPDF_REAL(10), HPDF_REAL(0),
HPDF_REAL(HPDF_Image_GetWidth(image)), HPDF_REAL(HPDF_Image_GetHeight(image))
);

HPDF_Page_BeginText(page[0]);
HPDF_Page_TextOut(page[0], (width - tw) / 2, height - dh, page_title);
HPDF_Page_EndText(page[0]);
dh += 20;

HPDF_Page_MoveTo(page[0], 10, height - dh);
HPDF_Page_LineTo(page[0], width-10, height - dh);
HPDF_Page_Stroke(page[0]);
dh += 20;

HPDF_Page_SetFontAndSize(page[0], def_font, 16);

//page 2
HPDF_Page_SetFontAndSize(page[1], def_font, 16);

dh = 10;

char data_char[80];
strcpy(data_char, data.GetBuffer());
HPDF_Page_BeginText(page[1]);
HPDF_Page_TextOut(page[1], 10, height - dh, data_char);
HPDF_Page_EndText(page[1]);

int num_rows = 5;
int num_cols = 4;
char *table_title = "Example 2: Basic table with adjusted font styles";
hpdf_table_t t = hpdf_table_create(num_rows, num_cols, table_title);

const HPDF_RGBColor title_text_color = COLOR_DARK_RED;
const HPDF_RGBColor title_bg_color = COLOR_LIGHT_GRAY;
hpdf_table_set_title_style(t, HPDF_FF_HELVETICA_BOLD, 14,
title_text_color, title_bg_color);
hpdf_table_set_title_halign(t, CENTER);

const HPDF_RGBColor content_text_color = COLOR_DARK_GRAY;
const HPDF_RGBColor content_bg_color = COLOR_LIGHT_BLUE;
hpdf_table_set_content_style(t, HPDF_FF_COURIER_BOLD, 10,
content_text_color, content_bg_color);

hpdf_table_set_content(t, m_ppContent);

```

```

    hpdf_table_set_labels(t, m_ppLabels);
    hpdf_table_use_labels(t, FALSE);

    hpdf_table_set_origin_top_left(TRUE);

    HPDF_REAL xpos = 100;
    HPDF_REAL ypos = 75;
    hpdf_table_stroke(pdf, page[1], t, xpos, ypos, 400, 0);

    HPDF_SaveToFile(pdf, "report.pdf");
}

void Report::sendTextToPage_center(int pageIdx, HPDF_REAL width, HPDF_REAL
tw, HPDF_REAL height, int dh, const char *textToSend)
{
    HPDF_Page_BeginText(page[pageIdx]);
    HPDF_Page_TextOut(page[pageIdx], (width - tw) / 2, height - dh,
textToSend);
    HPDF_Page_EndText(page[pageIdx]);
}

void Report::sendTextToPage_left(int pageIdx, HPDF_REAL indent, HPDF_REAL
height, int dh, const char *textToSend)
{
    HPDF_Page_BeginText(page[pageIdx]);
    HPDF_Page_TextOut(page[pageIdx], indent, height - dh, textToSend);
    HPDF_Page_EndText(page[pageIdx]);
}

void Report::sendTextToPage_right(int pageIdx, HPDF_REAL width, HPDF_REAL
height, int dh, const char *buff_variable)
{
    HPDF_Page_BeginText(page[pageIdx]);
    HPDF_Page_TextOut(page[pageIdx], width / 2, height - dh, buff_variable);
    HPDF_Page_EndText(page[pageIdx]);
}

void Report::sendTextToPage_right_and_split(int pageIdx, HPDF_REAL width,
HPDF_REAL height, HPDF_REAL *dh, HPDF_REAL dh_to_next_line, HPDF_Font
def_font, int fontHeight, char *buff_variable)
{
    HPDF_TextWidth text_to_split_into_strings_width;
    text_to_split_into_strings_width = HPDF_Font_TextWidth(def_font,
(HPDF_BYTE *)buff_variable, strlen(buff_variable));
    int numOfLines = int(
ceil(text_to_split_into_strings_width.width*fontHeight / 1000.0 / (width /
2)) );

    char *pch = strtok(buff_variable, " "); //во втором параметре указаны
разделители (пробел, запятая, точка)
    char* buff_variable_splited[100]; // максимум сто слов
    int counter = 0;
    int counter_to_ptr_delete = 0;
    while(pch != NULL) //пока есть слова
    {
        buff_variable_splited[counter] = new char[strlen(pch) + 1];
        strcpy(buff_variable_splited[counter], pch);
        pch = strtok(NULL, " ");
        counter++;
        counter_to_ptr_delete++;
    }

    int numOfWorks = counter;

```

```

char buff_line_i[1500];
char buff_line_i_test[1500];
counter = 0;
int lineNum = 0;
while(counter < numOfWords) {
    memset(buff_line_i, 0, 500 * (sizeof buff_line_i[0]));
    memset(buff_line_i_test, 0, 500 * (sizeof buff_line_i_test[0]));

    strcpy(buff_line_i, buff_variableSplited[counter]);
    strcat(buff_line_i, " ");

    strcpy(buff_line_i_test, buff_variableSplited[counter]);
    strcat(buff_line_i_test, " ");
    counter++;
    while(lineNum < 1 && counter < numOfWords) {
        strcat(buff_line_i_test, buff_variableSplited[counter]);
        strcat(buff_line_i_test, " ");
        size_t lengthTmp = strlen(buff_line_i_test);
        text_to_split_into_strings_width =
HPDF_Font_TextWidth(def_font, (HPDF_BYTE *)buff_line_i_test, lengthTmp);
        lineNum = int(
floor(text_to_split_into_strings_width.width*fontHeight / 1000.0 / (width /
2.0)) );

        if(lineNum < 1) {
            strcat(buff_line_i, buff_variableSplited[counter]);
            strcat(buff_line_i, " ");
        }
        else {
            counter--;
        }
        counter++;
    }
    HPDF_Page_BeginText(page[0]);
    HPDF_Page_TextOut(page[0], width / 2, height - dh[0],
buff_line_i);
    HPDF_Page_EndText(page[0]);
    dh[0] += dh_to_next_line;
    lineNum = 0;
}
if(numOfWords != 0) {
    dh[0] -= dh_to_next_line;
}

counter_to_ptr_delete--;
while(counter_to_ptr_delete >= 0) //пока есть слова
{
    delete[] buff_variableSplited[counter_to_ptr_delete];
    counter_to_ptr_delete--;
}
}

void Report::sendTextToPage_left_underlined(int pageIdx, HPDF_REAL indent,
HPDF_REAL height, HPDF_REAL *dh, HPDF_REAL dh_to_underline, HPDF_Font
def_font, int fontHeight, const char *textToSend)
{
    HPDF_Page_BeginText(page[0]);
    HPDF_Page_TextOut(page[0], indent, height - dh[0], textToSend);
    HPDF_Page_EndText(page[0]);

    dh[0] += dh_to_underline;

    HPDF_TextWidth text_to_underline_width;

```

```
    text_to_underline_width = HPDF_Font_TextWidth(def_font, (HPDF_BYTE
*)textToSend, strlen(textToSend));
    HPDF_Page_MoveTo(page[0], 10, height - dh[0]);
    HPDF_Page_LineTo(page[0],
HPDF_REAL(text_to_underline_width.width*fontHeight / 1000.0 + 10), height -
dh[0]);
    HPDF_Page_Stroke(page[0]);

    dh[0] -= dh_to_underline;
}
```

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвёрдых
и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»



Т.А.М. Володин

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ



С.А. Терентьев

«13» сентября 2019 год

М.П.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| инв. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № подл. | |

Пользовательское ПО
портативного роботизированного твердомера

РУКОВОДСТВО ОПЕРАТОРА

ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.PoRTH.00001-01 34 04 ЛУ

ПРОВЕРЕНО

Заведующий отделом

А.С. Усеинов

«13» сентября 2019 г.

РАЗРАБОТАНО

Стажер-исследователь

Е.В. Гладких

«13» сентября 2019 г.

НОРМОКОНТРОЛЕР

В.В. Соловьев

«13» сентября 2019 г.

УТВЕРЖДЕН
RU.iPoRTH.00001-01 34 04-ЛУ

ПОРТАТИВНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ
ТВЕРДОМЕР
Блок вычислительный сбора и обработки данных

Руководство оператора

RU.iPoRTH.00001-01 34 04

Листов 13

| | |
|--------------|--|
| Име. № подл. | |
| Подп. и дата | |
| Взам. инв. № | |
| Име. № дубл. | |
| Подп. и дата | |

1. Назначение программы

Программа iPoRTH View_adm.exe предназначена для администрирования результатов измерений, полученных при помощи вычислительного блока сбора и обработки данных экспериментального образца портативного роботизированного твердомера iPoRTH. В данной программе осуществляется отображение данных, хранящихся в специальной директории, на экране компьютера, их первичная и постобработка, а также генерация отчетов.

ПО состоит из следующих программных блоков:

- блок хранения, сортировки и поиска;
- блок построения топологических карт поверхности образца;
- блок формирования и выдачи отчетов.

2. Условия выполнения программы

2.1 Технические средства, необходимые для применения программы

Минимальные требования к аппаратному обеспечению персонального компьютера:

- CPU Celeron 2.6GHz;
- Память: 4GB;
- Жесткий диск: 100GB;
- клавиатура, мышь, дисплей.

2.2 Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы:

- операционная система Microsoft Windows 7/8/10;
- динамически подключаемая библиотека Qt5Core.dll;
- динамически подключаемая библиотека Qt5Gui.dll.
- динамически подключаемая библиотека Qt5Multimedia.dll.
- динамически подключаемая библиотека Qt5MultimediaWidgets.dll.
- динамически подключаемая библиотека Qt5Network.dll.
- динамически подключаемая библиотека libGLESV2.dll.
- динамически подключаемая библиотека opencv_world343.dll.
- динамически подключаемая библиотека D3Dcompiler_47.dll.

3. Выполнение программы

3.1 Визуализация данных индентационного измерительного модуля

3.1 Блок хранения, сортировки и поиска

Работа с программой начинается с данного блока. Для запуска необходимо выбрать директорию с проектом, в которой хранятся все данные измерений, калибровочные файлы и изображения, полученные с камеры микроскопа. Можно создать новый проект, при этом либо дать ему название,

либо использовать стандартное, которое формируется в формате “ДД.ММ.ГГГГ_ЧЧ.ММ.СС” (см. рис. ГВ.1).

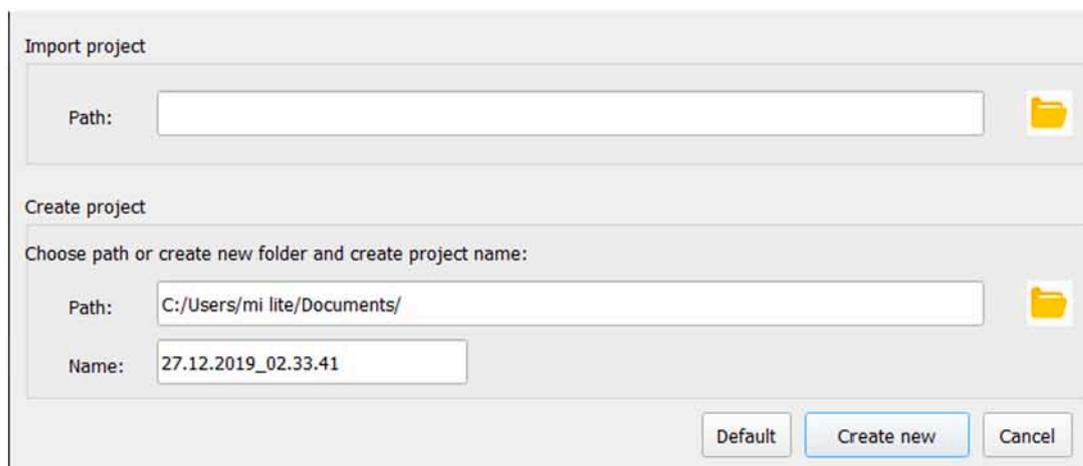


Рисунок ГВ.1 – Внешний вид окна вывода графиков данных

Один экземпляр программы в полной функциональности работает только с одним проектом. При необходимости загрузки сразу нескольких проектов необходимо запускать несколько экземпляров программы (рис.ГВ.2).

| | Project's name | Date |
|---|-----------------------|-------------|
| 1 | Diamond | 22.12.2019 |
| 2 | Wood | 12.12.2019 |
| 3 | Metal | 25.12.2019 |
| 4 | Aluminum | 03.12.2019 |

Рисунок ГВ.2 – Окно информации о линии с возможностью настройки цвета и ширины линии

Дерево проектов приведено на рис. ГВ.3.

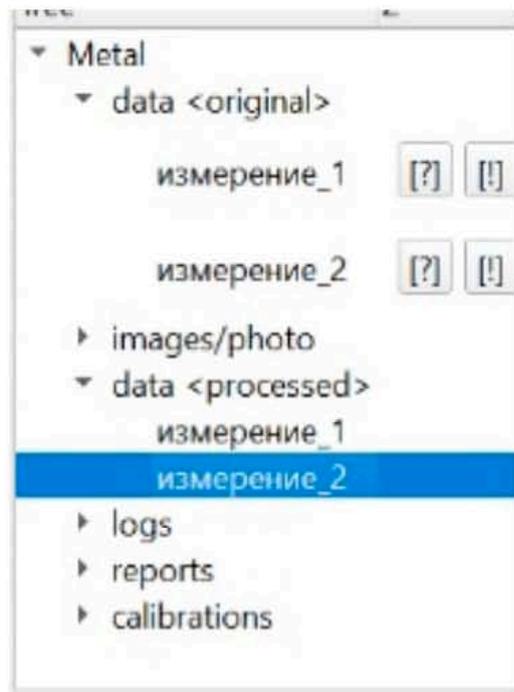


Рисунок ГВ.3 – Дерево проекта

В панели проектов отображаются ранее созданные проекты. При двойном щелчке ЛКМ отображается дерево выбранного проекта со структурой данных. Сортировка проектов может выполняться как по названию, так и по дате создания проектов.

Визуализация данных из дерева проектов выполняется с помощью двойного щелчка ЛКМ.

При переходе в режим визуализации data < > и отображении графиков, становится активна панель редактирования графических данных.

На рисунке ГВ.4 приведен главный вид окна программы View_adm.exe.

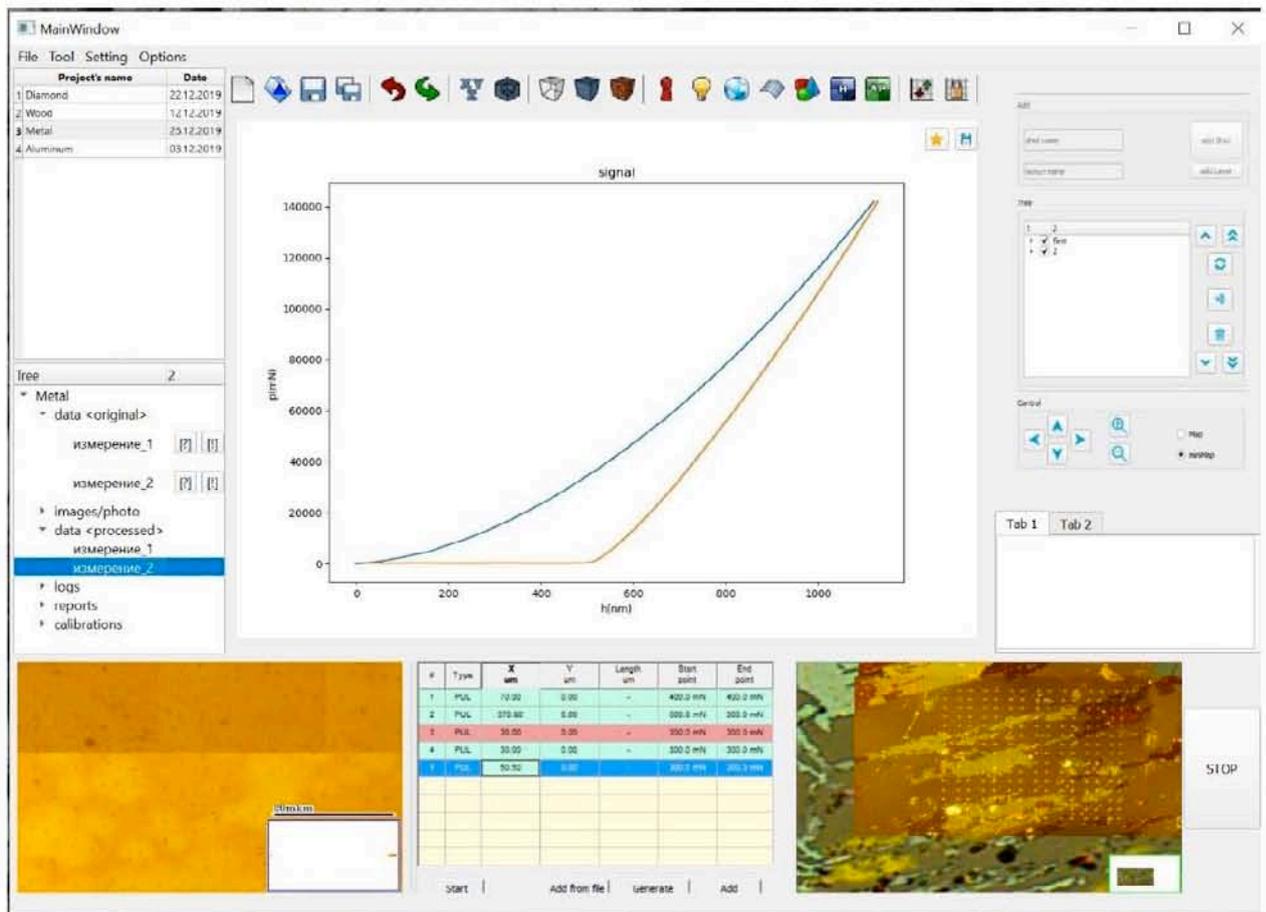


Рисунок ГВ.4 – Главное окно программы View_admin.exe

При открытии файла из дерева проекта в центральной области окна программы возникает его графическое отображение, работа с которым осуществляется при помощи элементов панели инструментов. Помимо стандартных значков открытия нового файла, сохранения и т.д., присутствуют специальные инструменты (работа с калибровкой, усреднение и т.п.):

-  – очистка и пересчет калибровки;
-  – удаление калибровки;
-  – переключение режима вывода данных с усреднением по группам и без;
-  – загрузка данных.

3.2 Блок построения топологических карт поверхности образца

Работа с Блоком построения топологических карт поверхности образца начинается с загрузки сохраненного блоком сбора и обработки данных для визуализации результатов измерений изображения с видеокамеры цифрового оптического микроскопа, рисунок ГВ.5.

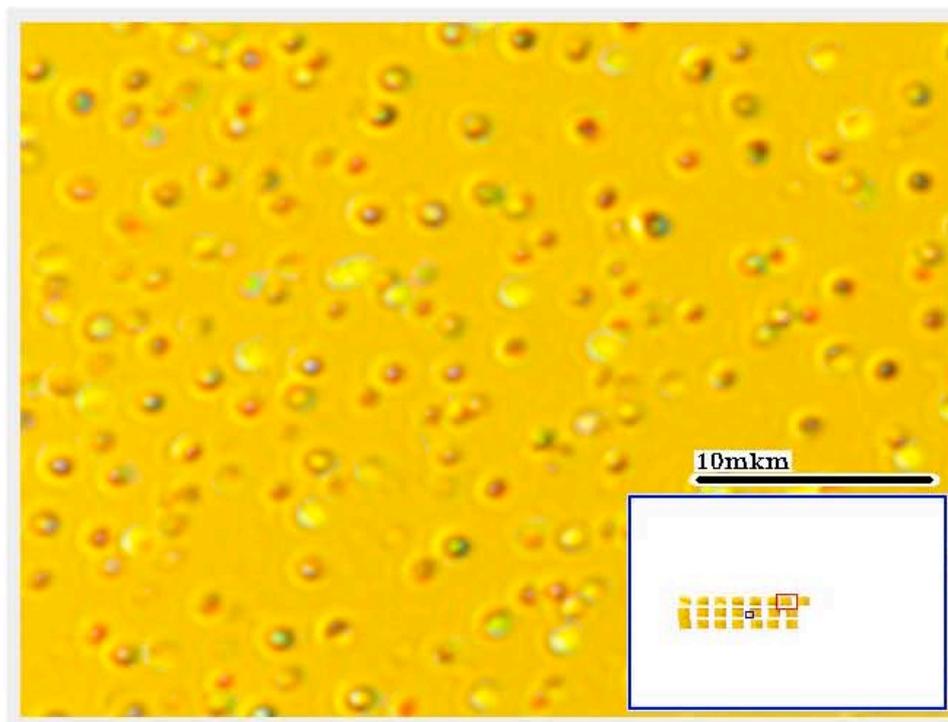


Рисунок ГВ.5 – Видеоизображение образца, полученное с оптического микроскопа

Переход к режиму построения многослойных карт осуществляется нажатием кнопки Map расположенной над панелью управления построения и отображения многослойных карт (см. рис. ГВ.6).

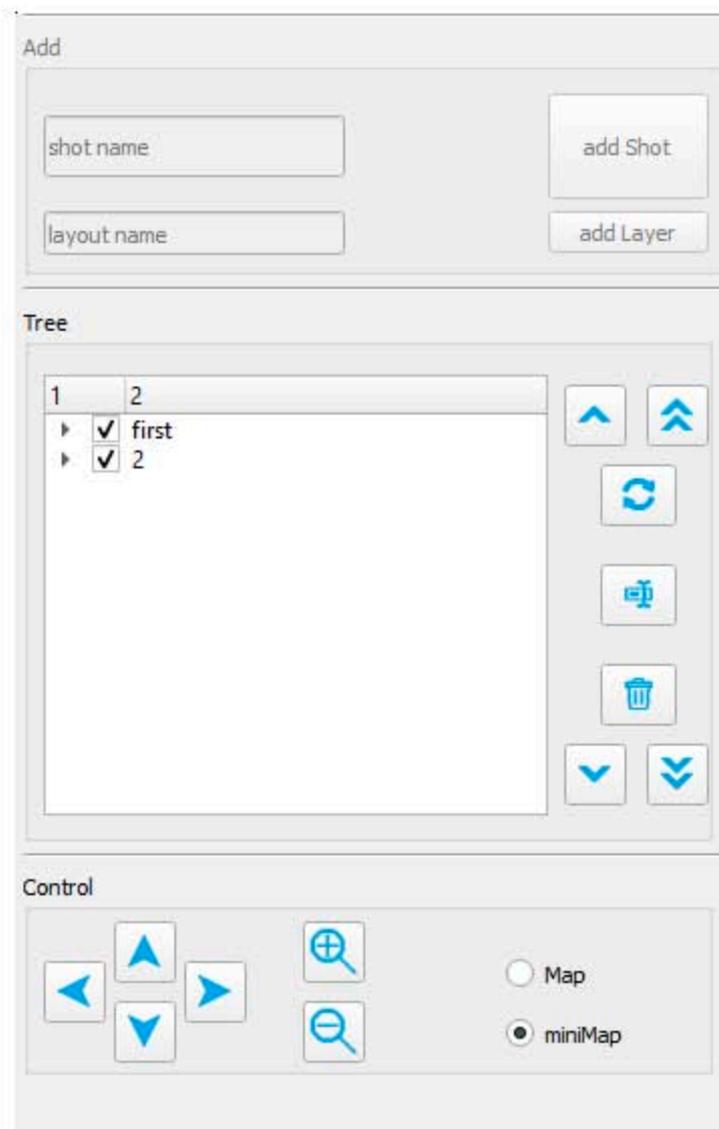


Рисунок ГВ.6 – Панель отображения и построения многослойных карт

Для создания слоя необходимо ввести название создаваемого слоя в поле "layout name" и нажать кнопку "add Layer". Для создания кадра необходимо выбрать нужный слой в списке слоев и нажать кнопку "add Shot" (см. рис. ГВ.7).

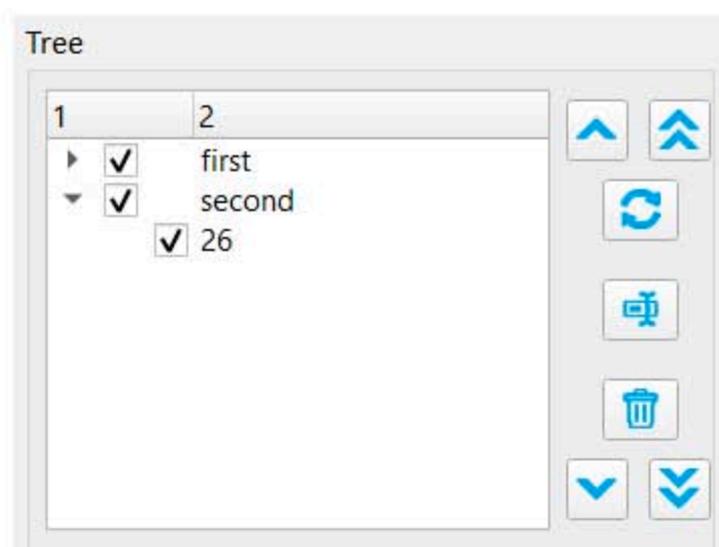


Рисунок ГВ.7 – Панель регулировки параметров отображения карты

В панель параметров отображения карты позволяет строить карту необходимой конфигурации изменяя дерево слоев и кадров в поле "Tree". Напротив каждого слоя и кадра находится маркер отображения, активация которого регулирует то, будет ли он отображен. Порядок слоев и кадров можно регулировать с помощью стрелок справа от списка. Слои и кадры, находящиеся выше в списке, отображаются в приоритетном порядке. Это позволяет исследователю отобразить карту образца интересующей его конфигурации.

| Кнопки панели построения и отображения многослойных карт | |
|---|--|
|  | Перемещает изображение/слой выше в дереве на 1 позицию |
|  | Перемещает изображение/слой в верхнюю позицию дерева |
|  | Перемещает изображение/слой ниже в дереве на 1 позицию |
|  | Перемещает изображение/слой в нижнюю позицию соответствующего списка |
|  | Перестроить изображение области видимости карты с новыми параметрами |
|  | Переименовать выделенный слой/изображение |
|  | Удалить выделенный слой/изображение |

| | |
|---|---|
| <input type="radio"/> Map <input checked="" type="radio"/> miniMap | Переключение режима работы навигационных клавиш, между смещением области отображения карты в основном окне, и области отображения навигационной миникарты находящейся в правом нижнем углу основного окна |
|  | Смещает отображаемую область влево |
|  | Смещает отображаемую область вправо |
|  | Смещает отображаемую область вверх |
|  | Смещает отображаемую область вниз |
|  | Уменьшение области видимости, отображаемой на карте |
|  | Увеличение области видимости, отображаемой на карте |

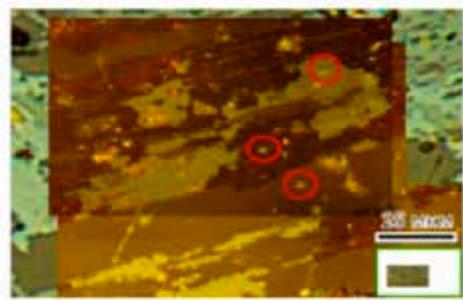
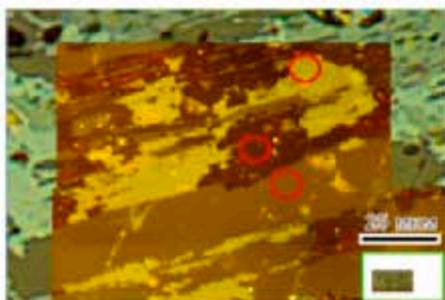
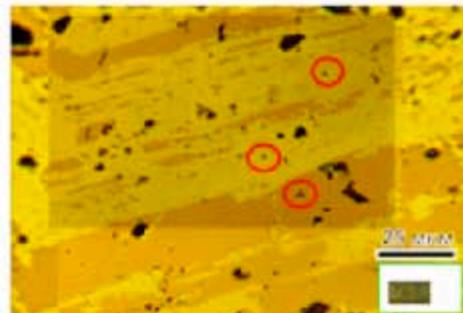
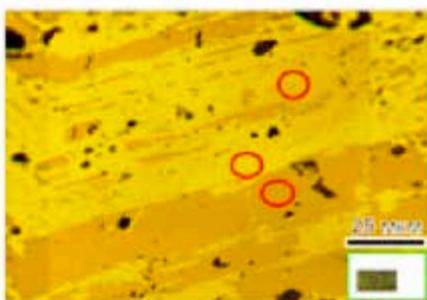


Рисунок ГВ.8 – Различные варианты отображения области карты образца

3.3 Блок формирования и выдачи отчетов

Любые данные центрального виджета могут быть добавлены в отчет.

Для добавления данных в структуру формирования отчета необходимо нажать на . Для сохранения данного виджета как картинке в

директорию отчета “.\reports\img” необходимо нажать на . (См. рисунок ГВ.9). Перемещая маркеры на границах выделенной строчки, можно изменять область выделения (например, выбрать часть строки).

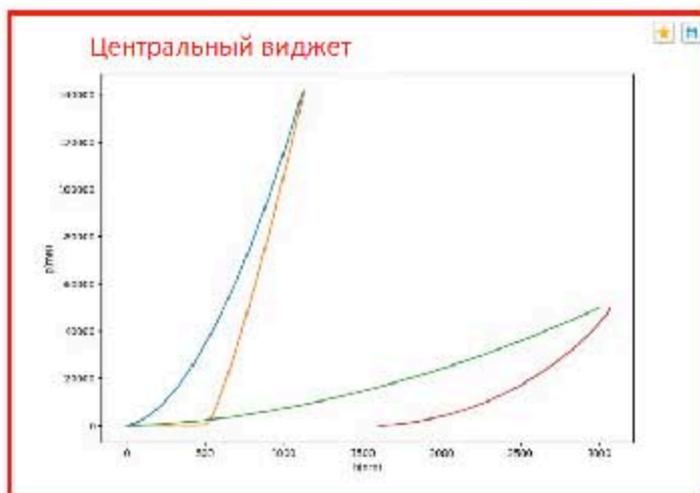


Рисунок ГВ.9 – Пример центрального виджета с возможностью добавления в отчет

Отчет формируется в формате pdf из данных, которые были выбраны для его генерации в окне “Generate Report”. Созданные отчеты хранятся в дереве проекта во вкладке “reports”, рисунок ГВ.10.

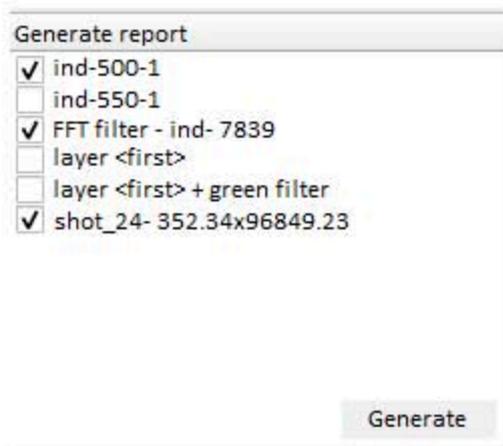


Рисунок ГВ.10 – Выбор данных для генерации отчета

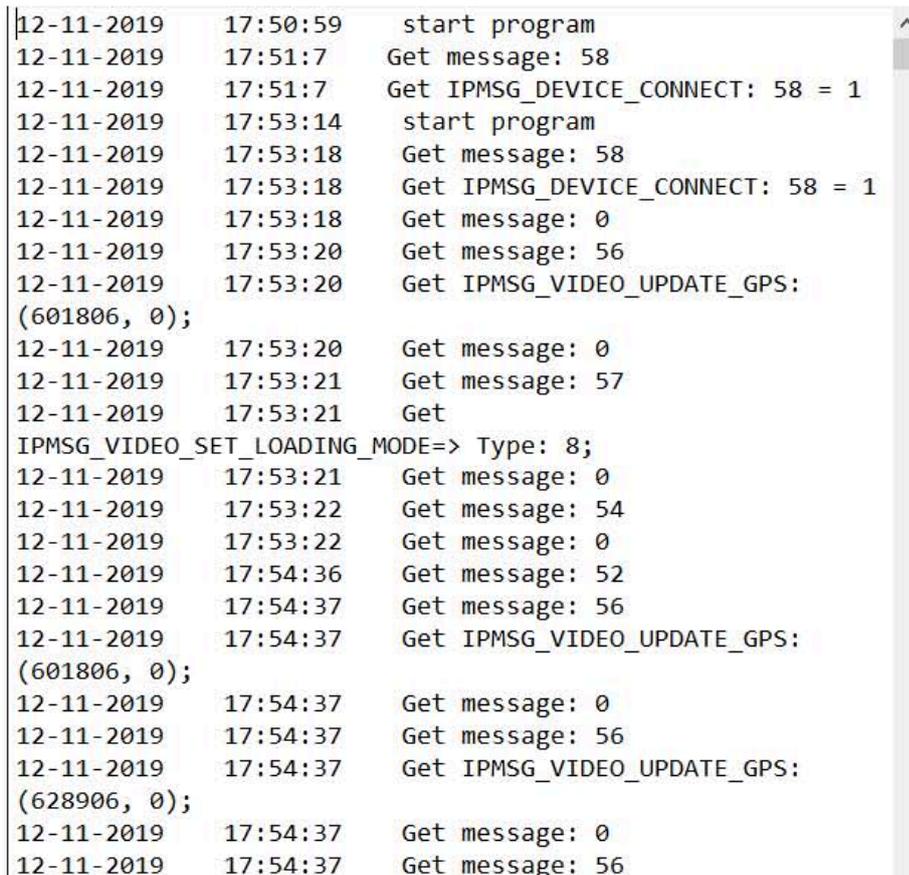
Все отчеты сохраняются в директории программы “.\reports”, если не было выбран другой путь сохранения. В отчет также добавляются общие данные проекта, такие как:

- имя оператора;
- наименование исследованного образца;
- режим и параметры испытаний.

4. Сообщения оператору

Отчет о всех процедурах, выполненных в ходе работы программных блоков, выводится в непрерывном режиме в отладочный текстовый файл.

Пример такого файла приведен на рисунке ГВ.11.



```
12-11-2019 17:50:59 start program
12-11-2019 17:51:7 Get message: 58
12-11-2019 17:51:7 Get IPMSG_DEVICE_CONNECT: 58 = 1
12-11-2019 17:53:14 start program
12-11-2019 17:53:18 Get message: 58
12-11-2019 17:53:18 Get IPMSG_DEVICE_CONNECT: 58 = 1
12-11-2019 17:53:18 Get message: 0
12-11-2019 17:53:20 Get message: 56
12-11-2019 17:53:20 Get IPMSG_VIDEO_UPDATE_GPS:
(601806, 0);
12-11-2019 17:53:20 Get message: 0
12-11-2019 17:53:21 Get message: 57
12-11-2019 17:53:21 Get
IPMSG_VIDEO_SET_LOADING_MODE=> Type: 8;
12-11-2019 17:53:21 Get message: 0
12-11-2019 17:53:22 Get message: 54
12-11-2019 17:53:22 Get message: 0
12-11-2019 17:54:36 Get message: 52
12-11-2019 17:54:37 Get message: 56
12-11-2019 17:54:37 Get IPMSG_VIDEO_UPDATE_GPS:
(601806, 0);
12-11-2019 17:54:37 Get message: 0
12-11-2019 17:54:37 Get message: 56
12-11-2019 17:54:37 Get IPMSG_VIDEO_UPDATE_GPS:
(628906, 0);
12-11-2019 17:54:37 Get message: 0
12-11-2019 17:54:37 Get message: 56
```

Рисунок ГВ.11 – Пример файла, содержащего отчет о выполнении программы

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвердых
и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

**Твердомер портативный роботизированный
(instrumented Portable Robotic Tester for Hardness)**

**Руководство по эксплуатации
ЭДiPoRTH.000 РЭ**

| | |
|---|------------|
| Введение | 488 |
| 1 Основные функциональные возможности портативного роботизированного твердомера..... | 489 |
| 1.1 Основные преимущества портативного твердомера | 489 |
| 1.2 Пригодность | 489 |
| 2 Описание и работа портативного роботизированного твердомера. 490 | |
| 2.1 Назначение, область применения и технические характеристики портативного роботизированного твердомера | 490 |
| 2.2 Состав портативного роботизированного твердомера | 490 |
| 2.3 Устройство и работа портативного роботизированного твердомера и его основных модулей | 494 |
| 2.3.1 Режимы работы | 494 |
| 2.3.2 Описание и работа основных модулей портативного роботизированного твердомера | 496 |
| 2.4 Маркировка и упаковка | 518 |
| 3 Использование по назначению портативного роботизированного твердомера | 519 |
| 3.1 Подготовка к эксплуатации и эксплуатационные ограничения | 519 |
| 3.2 Меры безопасности при эксплуатации портативного роботизированного твердомера | 520 |
| 3.3 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 1. | 521 |
| 3.4 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 2. | 524 |
| 3.5 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 3. | 527 |
| 3.6 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 4. | 531 |
| 3.7 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 1. | 531 |
| 3.8 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 2. | 532 |
| 3.9 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 3. | 533 |
| 3.10 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 4. | 534 |
| 3.11 Обработка результатов измерений, проведенных на портативном роботизированном твердомере. | 535 |
| 4 Техническое обслуживание портативного роботизированного твердомера | 537 |
| 4.1 Требования безопасности при техническом обслуживании портативного роботизированного твердомера | 537 |
| 4.2 Порядок технического обслуживания..... | 537 |
| 5 Текущий ремонт портативного роботизированного твердомера..... | 538 |
| 6 Транспортирование, хранение и утилизация..... | 539 |

Введение

1.1 Руководство по эксплуатации предназначено для изучения портативного роботизированного твердомера, использующего принципы инструментального индентирования (**instrumented Portable Robotic Tester for Hardness**) далее по тексту – портативный твердомер, правильной эксплуатации и поддержания его в готовности к работе. Руководство содержит основные сведения об устройстве изделия, методиках проведения измерений, технические характеристики портативного твердомера, режимы работы, правила обращения с изделием, порядок подготовки к работе. В руководстве по эксплуатации приведены основные функциональные возможности, требования по безопасности, порядок упаковки, хранения, транспортирования и технического обслуживания.

К эксплуатации портативного твердомера допускается обслуживающий персонал с квалификацией не ниже техника, прошедший обучение по технике эксплуатации и обслуживания, проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответствующей квалификационной группы по технике безопасности и не имеющий медицинских противопоказаний в количестве 2 человек.

Перед эксплуатацией портативного твердомера необходимо внимательно ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

Основные функциональные возможности портативного роботизированного твердомера

Основные преимущества портативного твердомера

Обеспечение оперативного роботизированного контроля параметров. Изделие позволяет оперативно проконтролировать рельеф поверхности, твердость, модуль упругости, предел текучести, коэффициент и показатель деформационного упрочнения широкого круга конструкционных материалов и функциональных покрытий.

Портативность. Вес измерительных блоков от 3 до 15 кг.

Автономность работы. Время работы без подзарядки до 10 часов или 300 измерений прибора.

Применимость

Портативный твердомер позволяет в автоматическом режиме проводить измерения на крупногабаритных элементах узлов и агрегатов изделий и механизмов, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях, в том числе на габаритных заготовках, трубопроводах, элементах конструкции атомных и тепловых электростанций, а также функциональных металлических и композиционных гетерофазных конструкционных материалов нового поколения и деталей сложной формы, в том числе, полученных с использованием аддитивных технологий.

Описание и работа портативного роботизированного твердомера

Назначение, область применения и технические характеристики портативного роботизированного твердомера

Портативный роботизированный твердомер ЭД.iPoRTH.000 предназначена для проведения в автоматическом режиме технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях.

Основные характеристики материалов, измерение которых обеспечивает портативный роботизированный твердомер, приведены в **Таблице 1**.

Таблица 1

| Характеристика | Диапазон значений |
|---|-------------------|
| Твердость H_{IT} с погрешностью $\pm (0,1 \times H_{IT} + 0,1$ ГПа); | От 0,2 до 25 ГПа |
| Модуль упругости E_{IT} с погрешностью $\pm(0,1 \times E_{IT} + 0,5$ ГПа); | От 3 до 450 ГПа |
| Предел текучести σ_T с погрешностью $\pm(0,1 \times \sigma_T + 20$ МПа); | От 0,1 до 1,5 ГПа |
| Коэффициент деформационного упрочнения k с погрешностью $\pm(0,1 \times k + 20$ МПа); | От 0,5 до 1,5 ГПа |
| Высота формы рельефа поверхности h с погрешностью $\pm(0,03 \times k + 50$ нм) | От 0,1 до 150 мкм |
| Шероховатость рельефа поверхности Ra с погрешностью 01, мкм | От 0,2 до 4,6 мкм |

Состав портативного роботизированного твердомера

Портативный роботизированный твердомер состоит из следующих основных модулей:

- Модуль измерительный индентационный (ЭД.iPoRTH.МИИ.000), ФГБНУ ТИСНУМ – 1 шт.;
- Модуль оперативного контроля (ЭД.iPoRTH.МИОК.000), ФГБНУ ТИСНУМ – 1 шт.;

- Микроскоп цифровой оптический, Mitutoyo – 1 шт.;
- Профилометр конфокальный оптический, STIL SAS, – 1 шт.;
- Система крепления и позиционирования измерительных модулей (ЭД.iPoRTH.СКиПМИ.000), ОАО «Тяжпрессмаш» – 1 шт.;
- Блок управления электронный с встроенной системой электропитания (ЭД.iPoRTH.БУЭ.000), ФГБНУ ТИСНУМ – 1 шт.;
- Блок вычислительный сбора и обработки данных с встроенной системой электропитания (ЭД.iPoRTH.БВСОД.000), ФГБНУ ТИСНУМ – 1 шт.;
- Модуль беспроводной цифровой связи и управления МИОК с аккумуляторной батареей (ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000) ФГБНУ ТИСНУМ – 1 шт.
- Устройство для визуального считывания данных - Монитор с сенсорным экраном (VIEWSONIC TD2220-2 21.5") – 1 шт.;
- Устройство для визуального считывания данных – Смартфон Xiaomi Mi A2 Lite 4/64Gb с операционной системой на базовой платформе Android- 1 шт.;

Внешний вид и примерное расположение основных модулей твердомера портативного роботизированного приведены на **рисунке 1**.

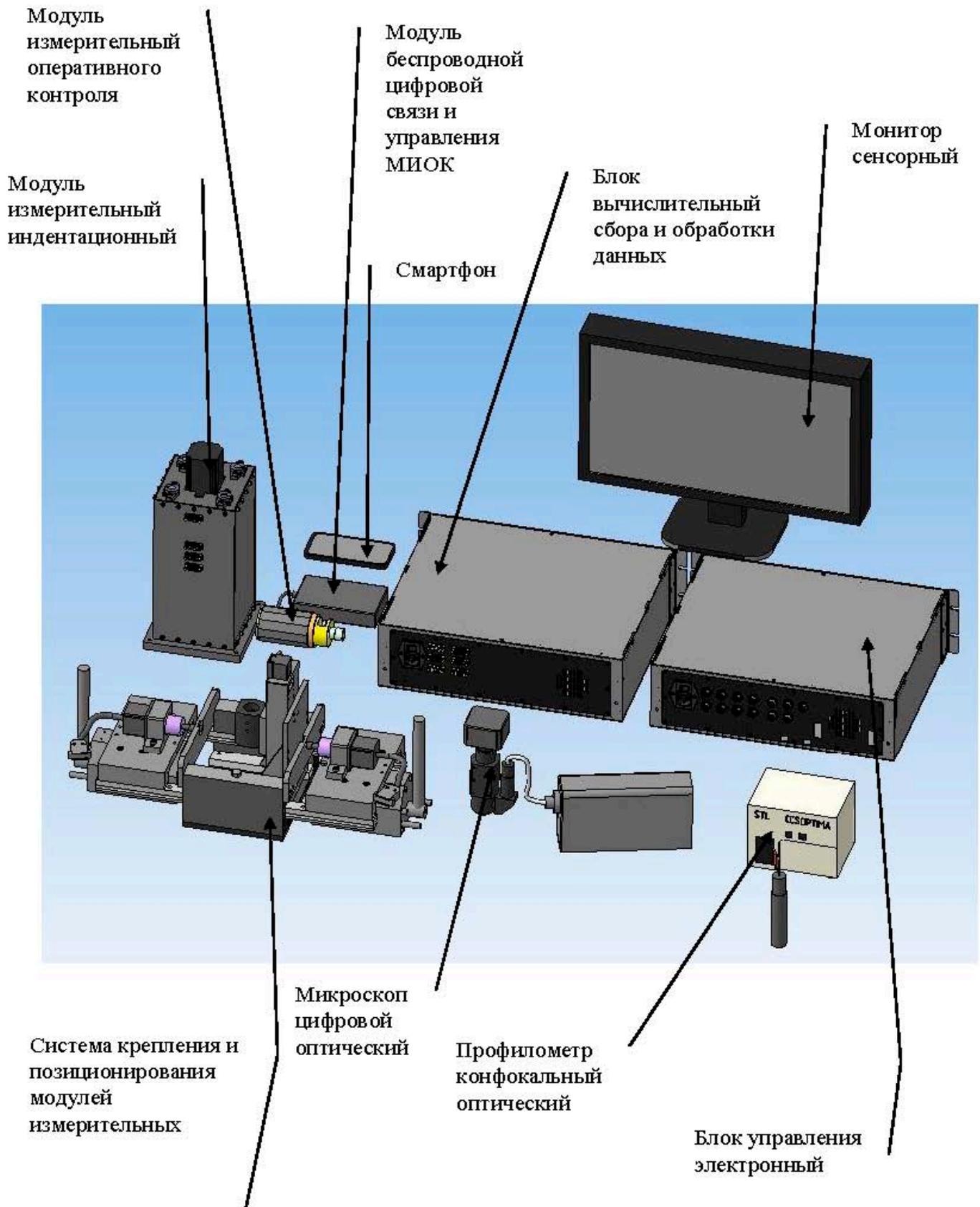


Рисунок 1 – Твердомер портативный роботизированный iPoRTH

В комплект твердомера портативного роботизированного также входят:

- Комплект тестовых образцов твердости и шероховатости;
- Пакет управляющего программного обеспечения;
- Комплект инструмента и принадлежностей в пластиковом ящике в составе:
 - Отвертка шлицевая, размер шлица 2 мм;
 - Отвертка крестовая, номер шлица 1;
 - Набор шестигранных ключей размер (мм) 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 6, 8, 10
 - Пинцет, длина 100 мм ;
 - Скальпель;
 - Ключ гаечный типоразмер 17.
- Комплект пронумерованных соединительных электрических кабелей;
- Комплект стандартных крепежных изделий в составе:
 - Винт с внутренним шестигранником:
 - М6х25 ГОСТ1 1738-84 – 4 шт.;
 - М4х18 ГОСТ1 1738-84 – 10 шт.;
 - Винт установочный:
 - М6х10 ГОСТ 11074-93 – 6 шт.
 - Болт:
 - М10х50 ГОСТ 15589-70 – 2 шт.
- Комплект эксплуатационной документации в составе:
 - Руководство оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 01 (Встроенное ПО iPoRT Электронной схемы управления);
 - Руководство оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02 (Пользовательское ПО iPoRTH для визуализации результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных);
 - Руководство оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 03 (Встроенное ПО iPoRTH Модуля беспроводной цифровой связи и управления МИОК);
 - Руководство оператора RU.iPoRT.00001-01 34 04 (Пользовательское ПО iPoRT для администрирования результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных);
 - Методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости;
 - Методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения;
 - Методика измерения площади отпечатка, использующая информацию о контактном электрическом сопротивлении и данные конфокальной оптической микроскопии;

- Методика измерения высоты формы и шероховатости рельефа поверхности;
- Руководство по эксплуатации ЭД.iPoRTH.000 PЭ;
- Руководство по эксплуатации «Магнитный грузоподъемный захват серии «МГ» ТУ 5254-012-10856794-2015»;
- Руководство по эксплуатации «Микроскоп цифровой оптический Mitutoyo»;
- Руководство по эксплуатации «Профилометр конфокальный оптический CCS OPTIMA»;
- Руководство по эксплуатации Монитор с сенсорным экраном VIEWSONIC TD2220-2 21.5";
- Руководство по эксплуатации Смартфон Xiaomi Mi A2 Lite 4/64Gb с операционной системой на базовой платформе Android.

Устройство и работа портативного роботизированного твердомера и его основных модулей

Режимы работы

Портативный твердомер имеет четыре режима работы:

- 1) **Режим 1** – Режим проведения измерений методом АВИ (Automated Ball Indentation). В этом режиме производится измерение предела текучести σ_T , коэффициента деформационного упрочнения k и показателя деформационного упрочнения образцов n (см. Таблицу 1). Технические параметры, реализуемые в режиме 1 приведены в таблице 2.

Таблица 2

| Технический параметр | Значение параметра |
|--|--|
| Тип наконечника индентирующего | Сферический или сферообразный с радиусом кривизны кончика от 300 мкм до 2,5 мм, стальной |
| Диапазон погружения индентирующего наконечника d при измерении диаграммы нагрузка-пластическая деформация с точностью $\pm(0,1 \times d + 0,5 \text{ мкм})$. | От 1 мкм до 1 мм |
| Диапазон нагрузки P , прикладываемой на поверхность образца при измерении диаграммы нагрузка-пластическая деформация с точностью $\pm(0,1 \times P + 0,5 \text{ Н})$. | От 1 Н до 3 000 Н |

| | |
|---|------------------------|
| Диапазон напряжения, прикладываемого к области контакта с разрешением не более 1 мВ. Диапазон регистрируемых значений тока должен составлять не менее 100 мА с разрешением не более 10 мкА. | От минус 2 до плюс 2 В |
| Диапазон регистрируемых значений тока с разрешением не более 10 мкА. | Не менее 100 мА |
| Время проведения единичного измерения | От 10 до 300 с |
| Цифровой интерфейс обмена данными | Проводной |

- 2) **Режим 2** – Режим проведения измерений методом цифровой оптической микроскопии. Этот режим позволяет проконтролировать геометрические параметры исследуемой поверхности, площадь отпечатка, оставленного на материале в ходе инструментального индентирования наконечниками сферообразного типа.
- 3) **Режим 3** - Режим проведения измерений методом конфокальной оптической профилометрии. В этом режиме производится измерение высоты формы h и шероховатости рельефа поверхности Ra (см. Таблицу 1) на линейной базе до 1 мм с латеральным разрешением не более 5 мкм.
- 4) **Режим 4** – Режим проведения измерений методом инструментального индентирования по ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577(1-4). В этом режим производится измерение твердости H_{IT} и модуля упругости E_{IT} образцов (см. Таблицу 1). Технические параметры, реализуемые в режиме 4 приведены в **таблице 3**.

Таблица 3

| Технический параметр | Значение параметра |
|--|---|
| Тип наконечника индентирующего | Пирамиды Берковича с углом между высотой и гранью $65,3^\circ \pm 0,3^\circ$, алмазный |
| Диапазон погружения индентирующего наконечника d при измерении твердости и модуля упругости с точность | От 0,5 до 25 мкм |

| | |
|---|--------------------|
| $\pm(0,1 \times d + 0,1 \text{ мкм})$. | |
| Диапазон нагрузки P , прикладываемой на поверхность образца при измерении твердости и модуля упругости с точностью $\pm(0,1 \times P + 1 \text{ мН})$. | От 5 мН до 5000 мН |
| Время проведения единичного измерения | От 10 до 300 с |
| Цифровой интерфейс обмена данными | Беспроводной |

Описание и работа основных модулей портативного роботизированного твердомера.

Основные модули портативного роботизированного твердомера предназначены для выполнения следующих функций:

1. Модуль измерительный индентационный ЭД.iPoRTH.МИИ.000 обеспечивает работу твердомера портативного роботизированного в **Режиме 1**. Проводит измерения путем вдавливания наконечника сферообразного типа в поверхность образца, регистрирует измеряемые сигналы и передает их по проводному интерфейсу через блок управления электронный в блок вычислительный сбора и обработки данных, откуда выводится на устройство для визуального считывания данных – сенсорный монитор. Основная техническая характеристика МИИ приведена в **таблице 4**. Внешний вид и устройство приведены на **рисунке 2** и **рисунке 3**.

Таблица 4.

| Техническая характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Габаритные размеры: Длина x Ширина x Высота | 175 x 175 x 410 мм |
| Вес, кг | 15 кг |
| Напряжение питания двигателя шагового | 24 В |

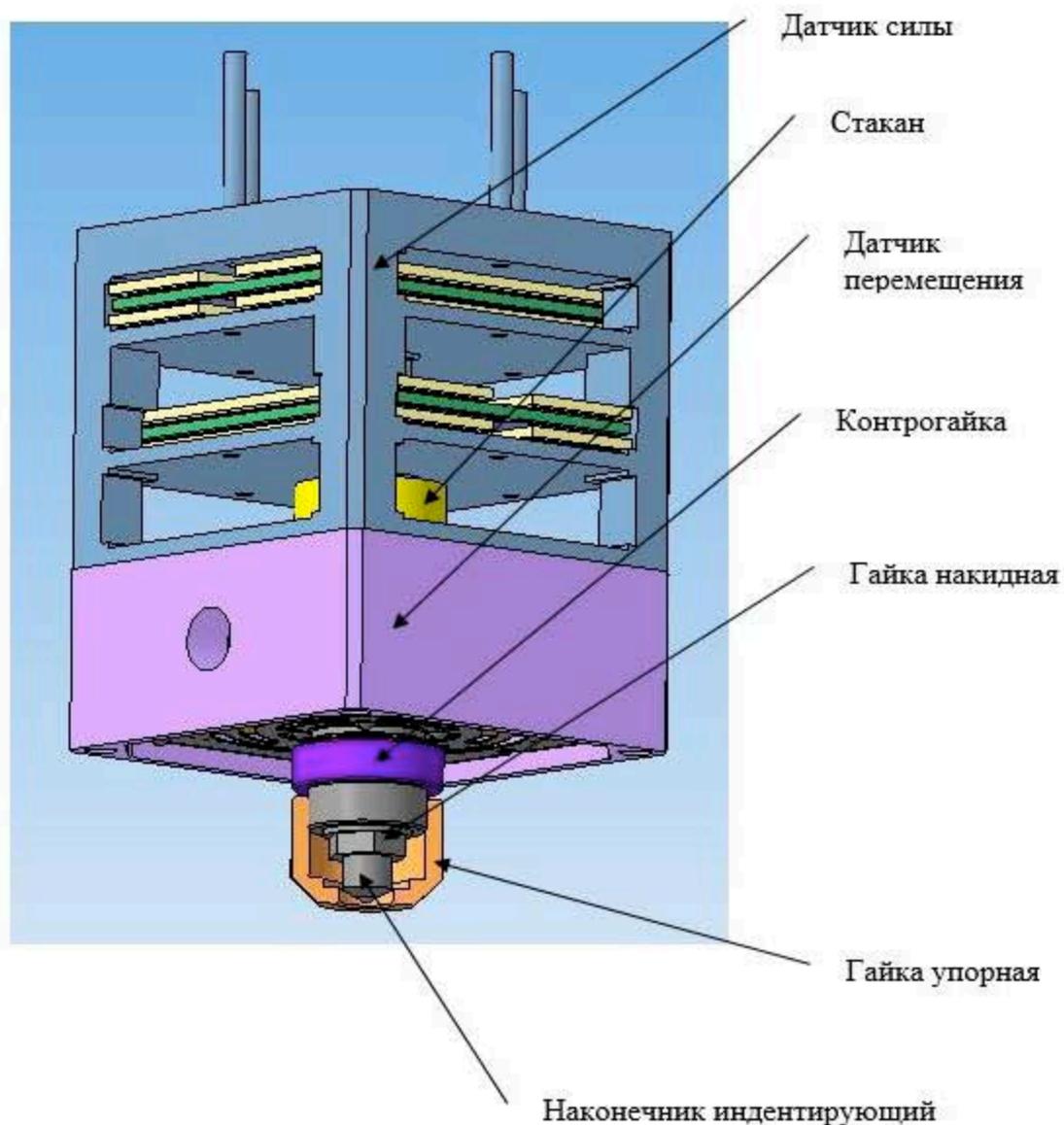


Рисунок 2 – Датчик с индентирующим наконечником

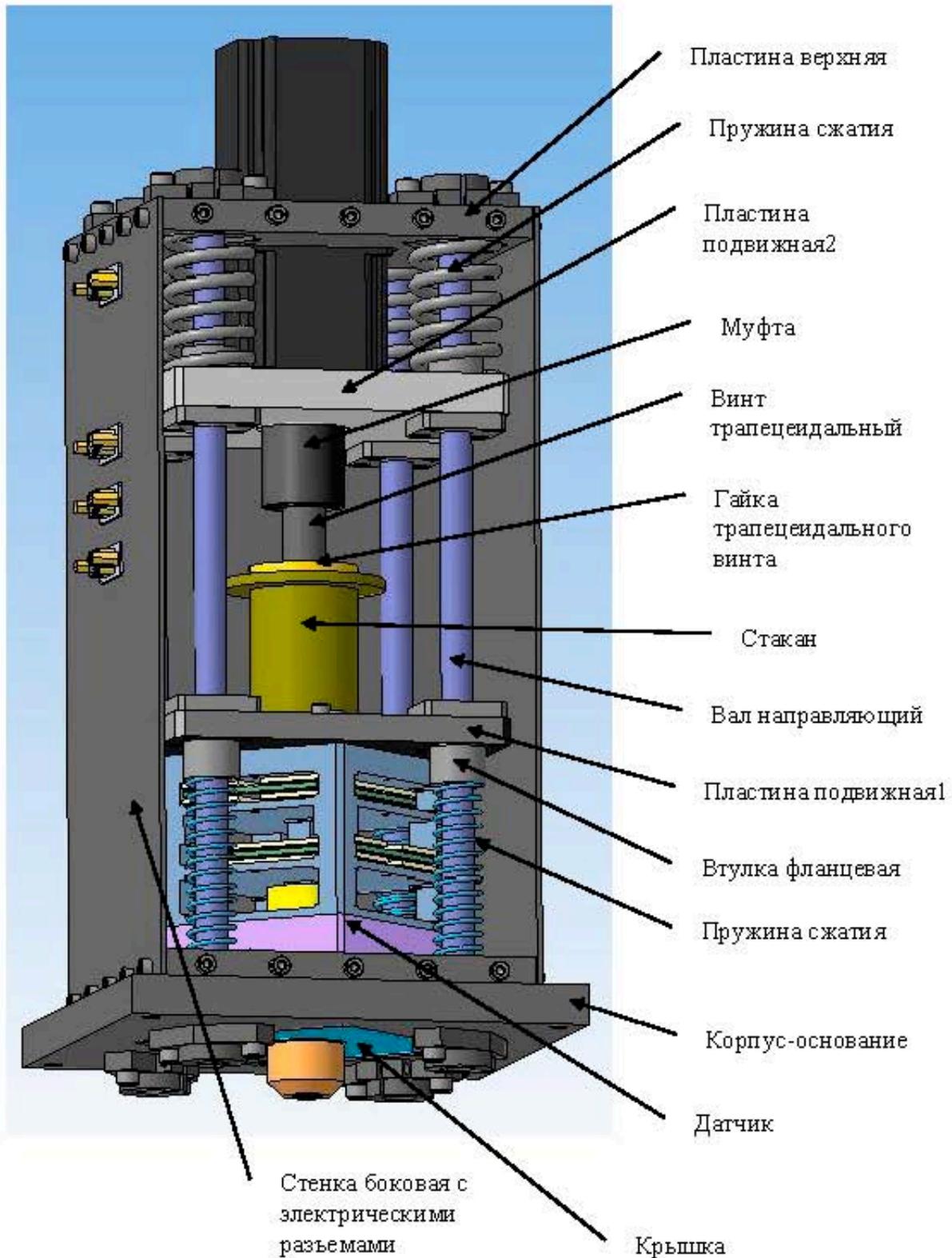


Рисунок 3 – Модуль измерительный индентационный

2. Микроскоп цифровой оптический обеспечивает работу твердомера iPoRTH в Режиме 2. Передает по проводному интерфейсу оптическое изображение поверхности образца в блок вычислительный сбора и

обработки данных, откуда оно выводится на устройство для визуального считывания данных – сенсорный монитор. Основная техническая характеристика микроскопа приведена в **таблице 5**.

Внешний вид и состав микроскопа показаны на **рисунке 4**.

Таблица 5.

| Техническая характеристика | Значение |
|---|-------------------|
| Габаритные размеры с видеокамерой: Длина x Ширина x Высота | 79 x 68 x 200 мм |
| Габаритные размеры осветителя: Длина x Ширина x Высота | 120 x 70 x 230 мм |
| Напряжение питания осветителя | 220 В |
| Фокусное(рабочее расстояние) | 95 мм |
| Видеокамеры цифровая | |
| Размер матрицы | 1/2 дюйма |
| Разрешение матрицы | 3 Мегапикселя |

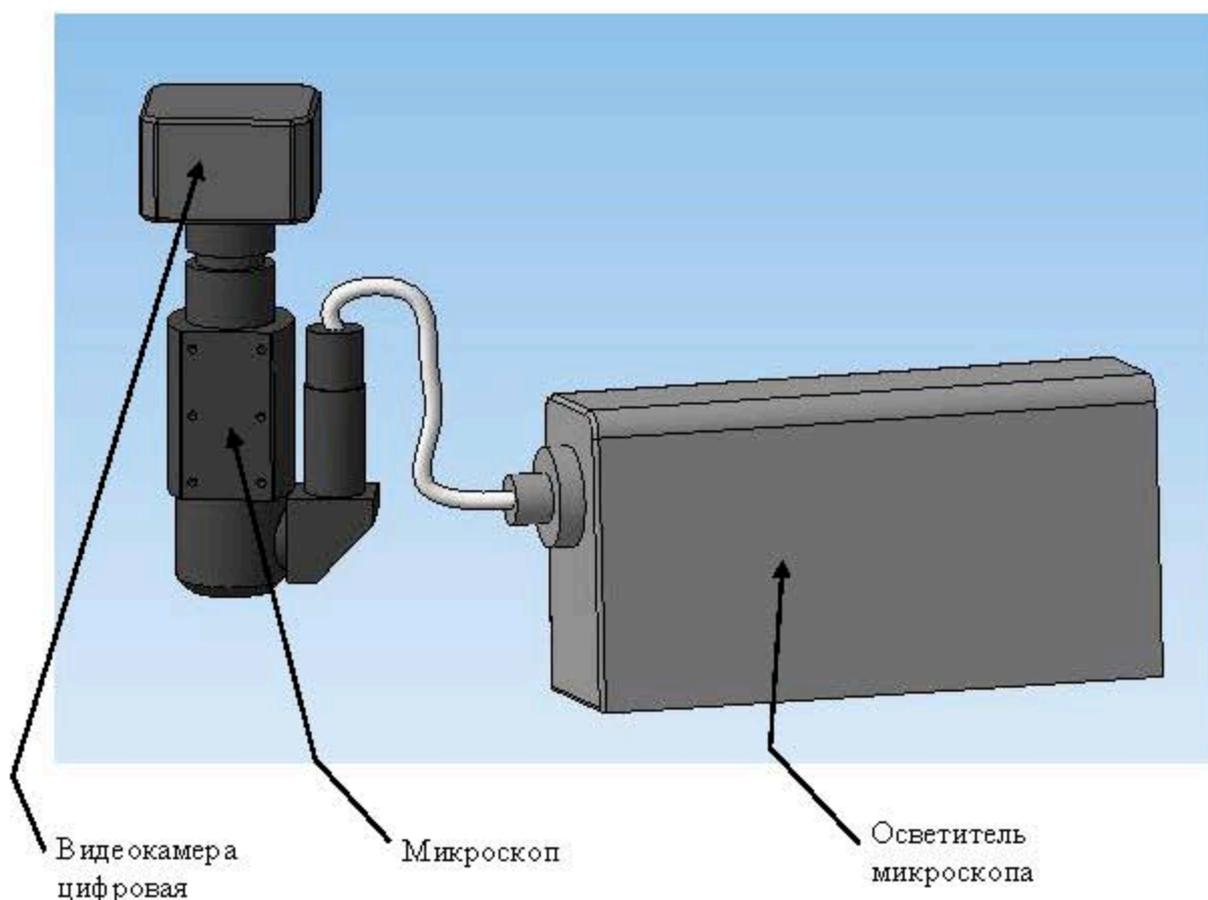


Рисунок 4 – Микроскоп цифровой оптический

3. Профилометр конфокальный оптический обеспечивает работу твердомера iPoRTH в **Режиме 3**. Измеряет и передает по проводному интерфейсу трехмерное изображение рельефа поверхности образца в блок вычислительный сбора и обработки данных, откуда оно выводится на устройство для визуального считывания данных – сенсорный монитор. Основная техническая характеристика профилометра приведена в **таблице 6**. Внешний вид и состав профилометра показаны на **рисунке 5**.

Таблица 6

| Техническая характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Габаритные размеры профилометра: Диаметр Длина | 27 мм 145 мм |
| Габаритные размеры контроллера: Длина x Ширина x Высота | 160 x 110 x 140 мм |
| Напряжение питания контроллера | 24 В |
| Фокусное (рабочее расстояние) | От 18 до 22 мм |



Рисунок 5 – Профилометр конфокальный оптический

4. Система крепления и позиционирования измерительных модулей ЭД.iPoRTH.СКиПМИ.000 (далее по тексту СКиПМИ) имеет магнитные захваты, обеспечивает жесткую посадку, взаимное перемещение модуля измерительного индентационного, микроскопа цифрового оптического, профилометра конфокального оптического и образца, а также подвод измерительного индентора к исследуемой поверхности на рабочее расстояние. Основная техническая характеристика системы крепления и позиционирования приведена в **таблице 7**. Внешний вид и состав системы крепления и позиционирования показаны на **рисунке 6**.

Таблица 7.

| Техническая характеристика | Значение |
|--|---|
| Габаритные размеры системы: Длина Ширина Высота | Не более 650 мм Не более 250 мм Не более 320 мм |
| Система удержания на поверхности образца | магнитная |
| Максимальная грузоподъемность магнитного захвата ЭРГА МГ 300 | 300 кг |
| Номинальный ток шагового актуатора | 2,41 А |
| Ход шагового актуатора | 36 мм |
| Подвод наконечника индентирующего модуля измерительного индентационного с точностью 1 мм на расстояние | Не более 5 мм |
| Подвод с точностью не менее 0,1 мм на расстояние Микроскопа оптического Профилометра конфокального | 95 мм От 18 до 22 мм |
| Напряжение питания транслятора линейного Z | 24 В |
| Ход транслятора линейного Z | 60 мм |

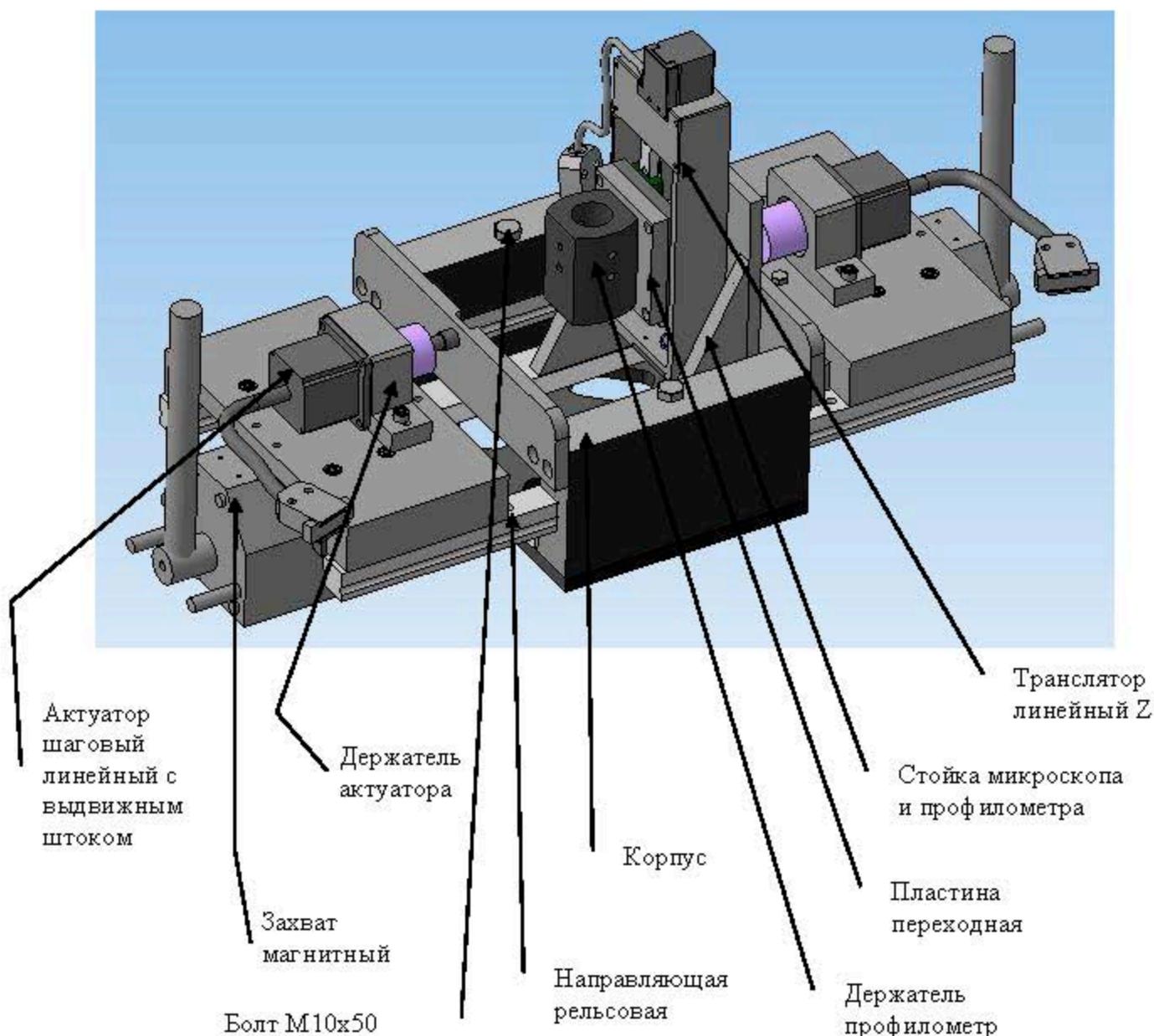


Рисунок 6 – Система крепления и позиционирования измерительных модулей

5. Модуль измерительный оперативного контроля (далее по тексту МИОК) ЭД.iPoRTH.МИОК.000 с Модулем беспроводной цифровой связи и управления МИОК с аккумуляторной батареей (далее по тексту МБЦС) ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000 обеспечивает работу твердомера портативного роботизированного в **Режиме 4**. Проводит измерения путем вдавливания наконечника типа пирамиды Берковича в поверхность образца, регистрирует измеряемые сигналы и передает их по беспроводному интерфейсу Bluetooth в блок вычислительный сбора и обработки данных, где они обрабатываются в автоматическом режиме и

выводятся на устройство для визуального считывания данных – монитор с сенсорным экраном или проводит измерения путем вдавливания наконечника типа пирамиды Берковича в поверхность образца, регистрирует измеряемые сигналы в автоматическом режиме, и передает их по беспроводному интерфейсу Bluetooth на устройство для визуального считывания данных – смартфон.

Основная техническая характеристика МИОК с МБЦС приведена в **таблице 8**.

Внешний вид МИОК приведен на **рисунке 7**.

Таблица 8

| Техническая характеристика | Значение |
|--|-----------------------------------|
| Габаритные размеры МИОК: Диаметр Высота | Не более 70 мм Не более 177 мм |
| Габаритные размеры МБЦС: Длина x Ширина x Высота | 150 мм x 90 мм x 30 мм |
| Вес без крышки МИОК | 0,8 кг |
| Напряжение питания актуатора линейного электромагнитного МИОК | 12В |
| Время зарядки встроенного аккумулятора МБЦС | Не более 4 часов |
| Время автономной работы при встроенном источнике электропитания (если количество циклов инструментального индентирования не более 300) | Не менее 10 часов |

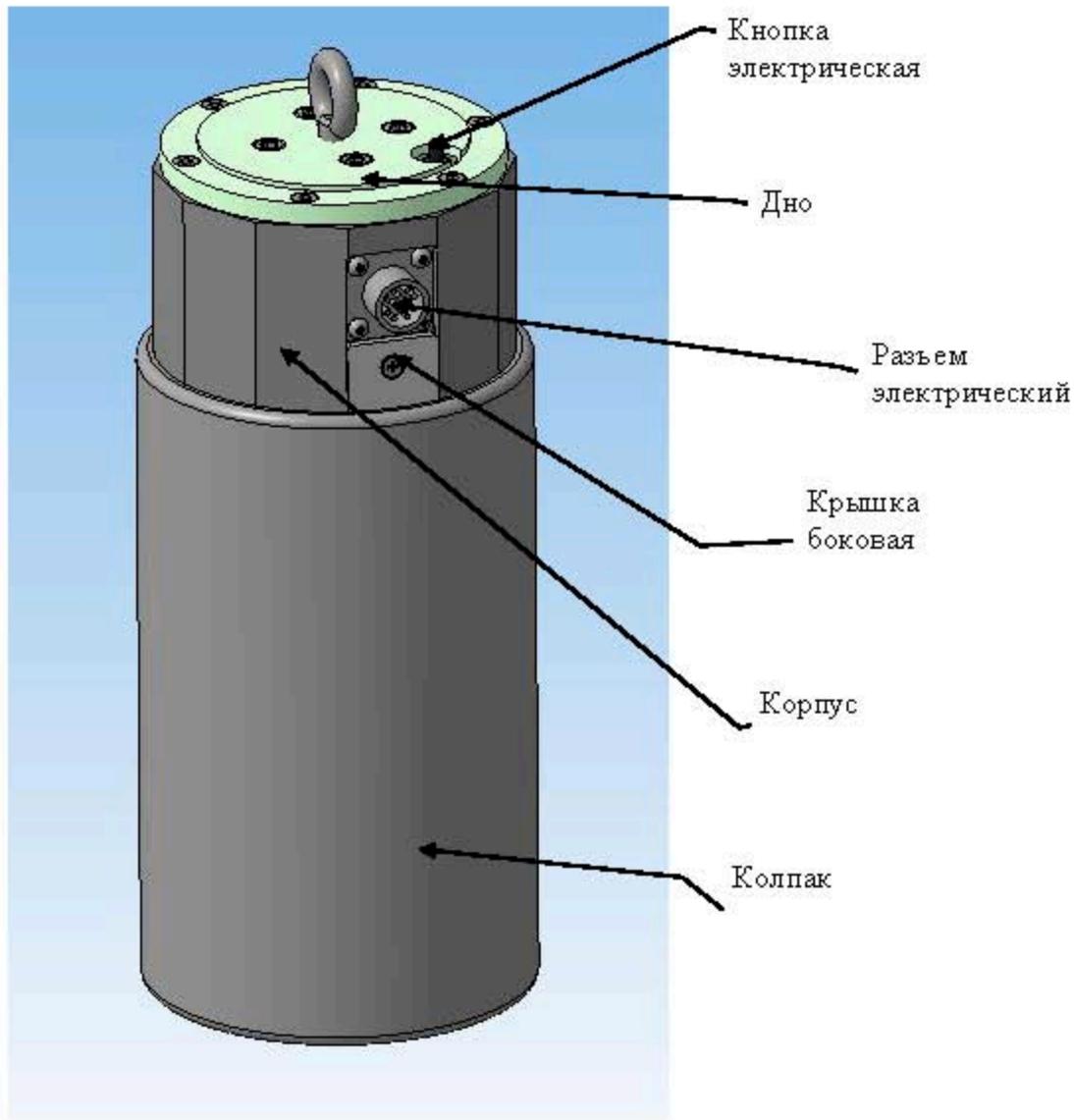


Рисунок 7 - Модуль оперативного контроля

Колпак выполняет защитную функцию, когда модуль не используется по назначению.

Модуль измерительный оперативного контроля (МИОК) имеет три сменные насадки **рисунок 8**. Каждая насадка вкручивается в корпус и фиксируется гайкой. Использование различных насадок позволяет работать с образцами разной геометрии.

Насадка сменная узкая предназначена для образцов шириной от 18 мм.

Насадка сменная широкая – для образцов шириной от 48 мм.

Насадка сменная с фиксацией образца - для образцов толщиной от 1 мм до 6 мм.

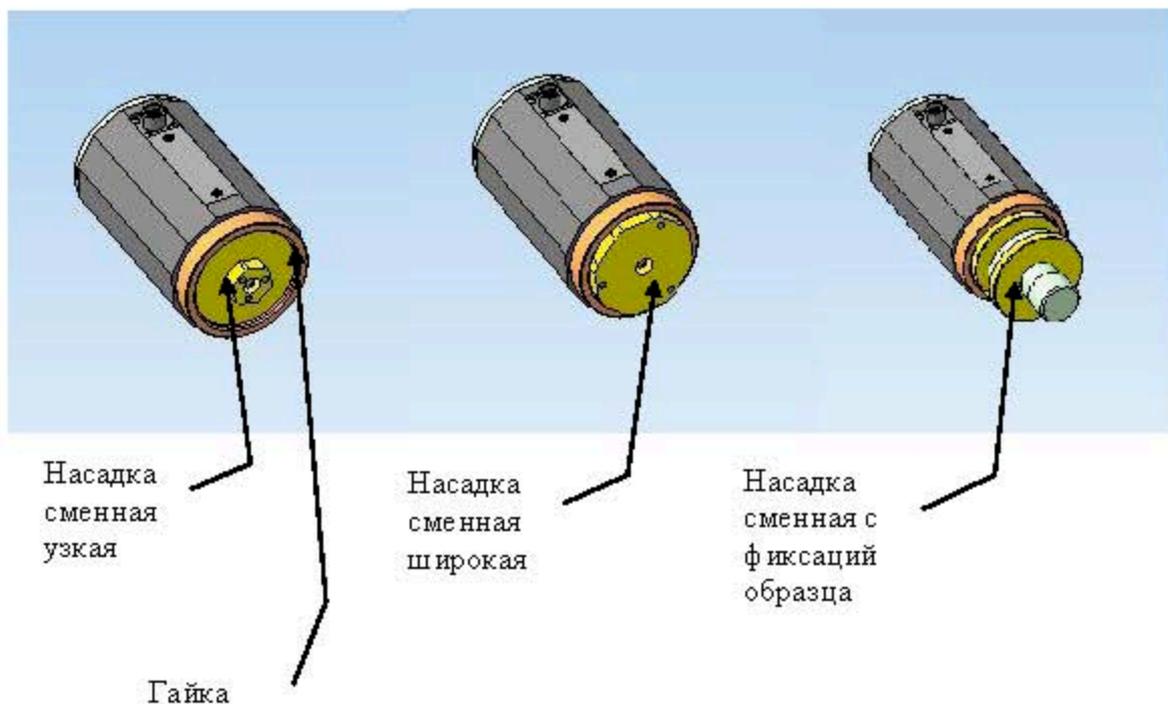


Рисунок 8 – Модуль оперативного контроля с насадками

Внутреннее устройство МИОК показано на **рисунке 9**.

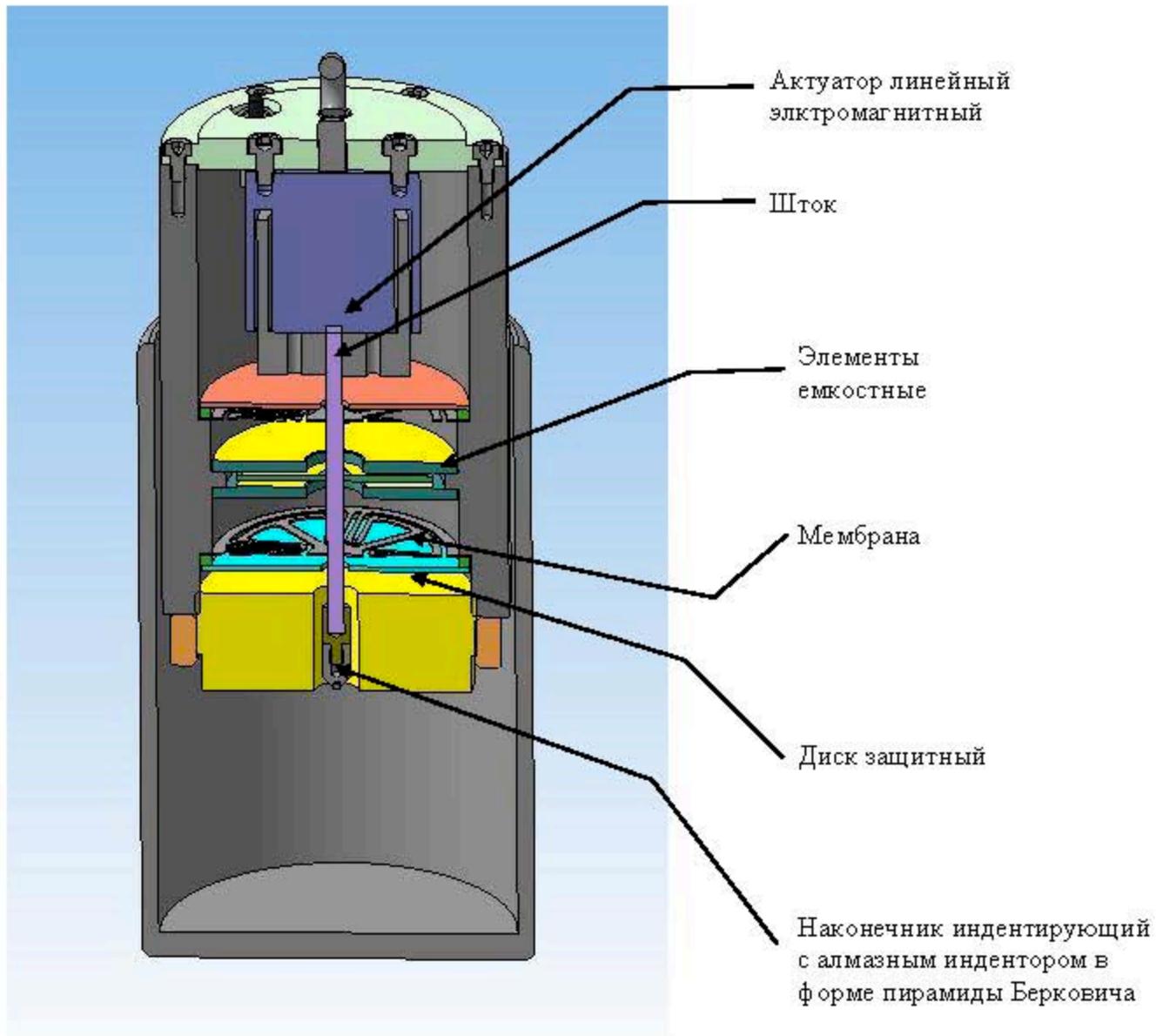


Рисунок 9 – Модуль оперативного контроля в разрезе

Модуль беспроводной цифровой связи и управления МИОК ЭД.iPoRTH.МБЦС-1.000 с аккумуляторной батареей обеспечивает возможность автономной (без внешнего питания) работы модуля измерительного оперативного контроля.

Внешний вид МБЦС показан на **рисунке 10**. Схема электрическая функциональная приведена на **рисунке 11**.

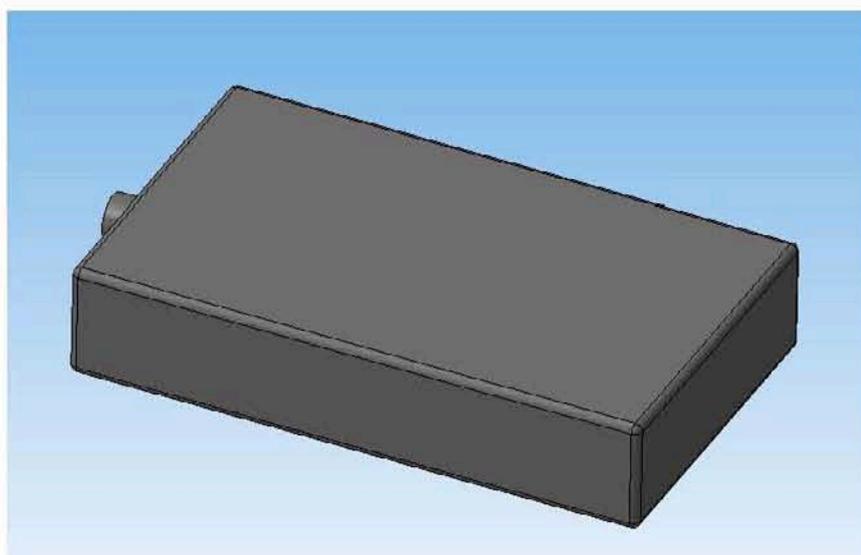
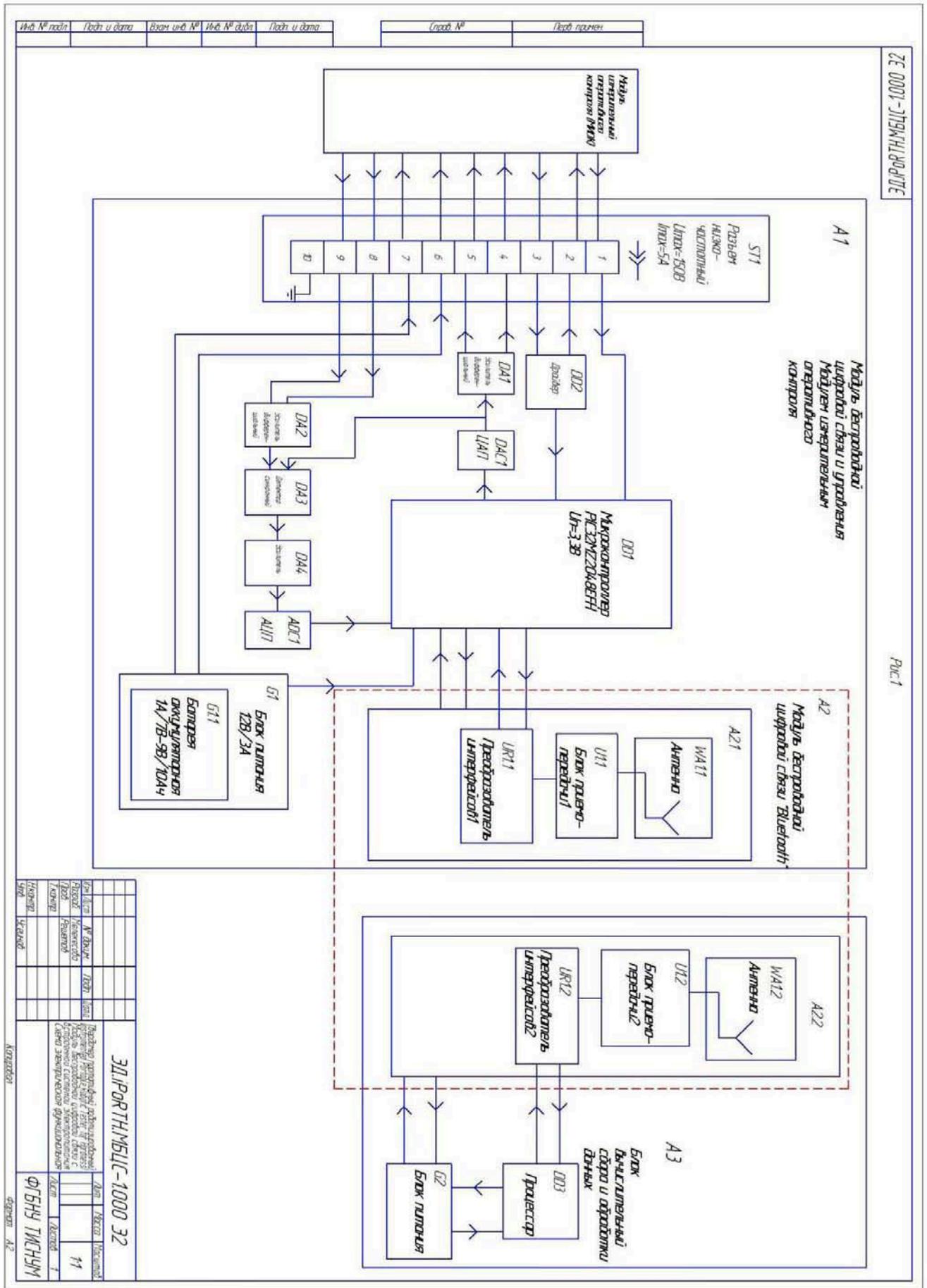


Рисунок 10 – Модуль беспроводной цифровой связи и управления МИОК



ЭД.РПРТН.МСЦ-1000 Э2

Рис.1

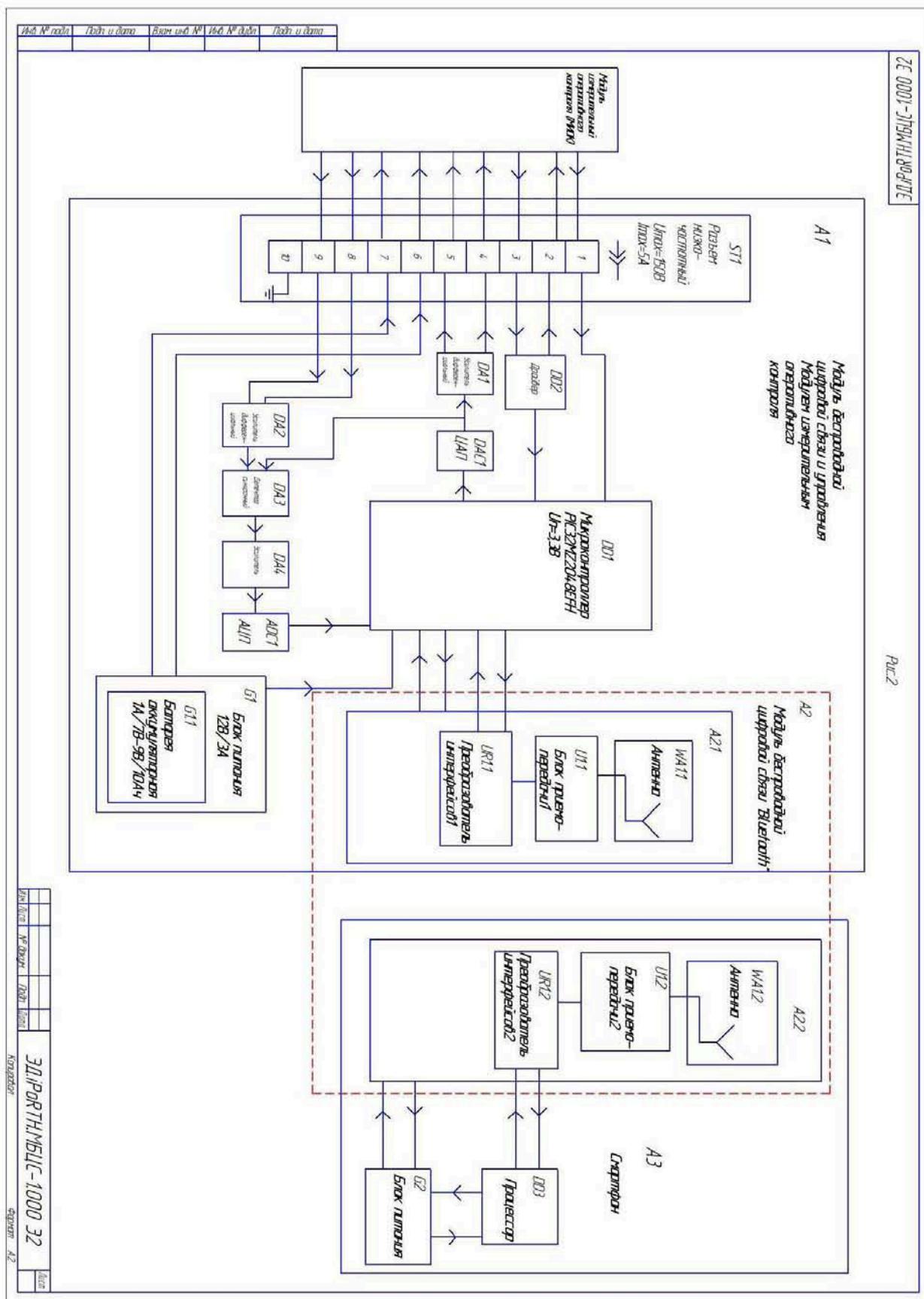


Рисунок 11 – Схема электрическая функциональная модуля беспроводной цифровой связи и управления МИОК

6. Блок управления электронный ЭДіРoRTH.БУЭ (далее по тексту БУЭ) осуществляет измерение, первичную обработку данных, передачу информации в вычислительный блок сбора и обработки данных, а также регулировку, развертку и поддержание заданного уровня сигналов, управление системой позиционирования. Основная техническая характеристика БУЭ приведена в **таблице 9**. Внешний вид показан на **рисунке 12**. Схема электрическая функциональная приведен на **рисунке 13**.

Таблица 9.

| Техническая характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Габаритные размеры: Длина x Ширина x Высота | 486 x 373 x 133 мм |
| Напряжение питания | 220 В |

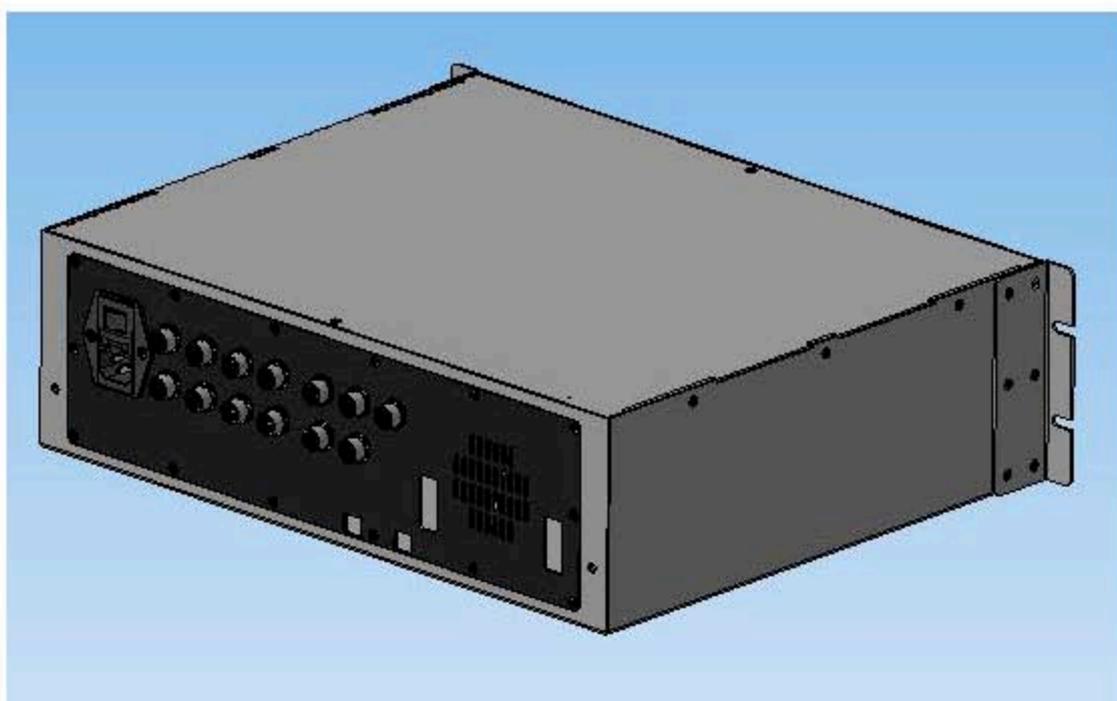


Рисунок 12 - Блок управления электронный

7. Блок вычислительный сбора и обработки данных ЭД.iPoRTH.БВСОД.000 производит сбор, хранение и обработку считанной информации с целью получения конечных величин и зависимостей, представляемых пользователю: механических свойств и параметров рельефа поверхности. Основная техническая характеристика БВСОД приведена в **таблице 10**. Внешний вид показан на **рисунке 14**. Схема электрическая функциональная приведена на **рисунке 15**.

Таблица 10.

| Техническая характеристика | Значение |
|--|--------------------|
| Габаритные размеры: Длина x Ширина x Высота | 486 x 373 x 133 мм |
| Напряжение питания | 220 В, 50 Гц |

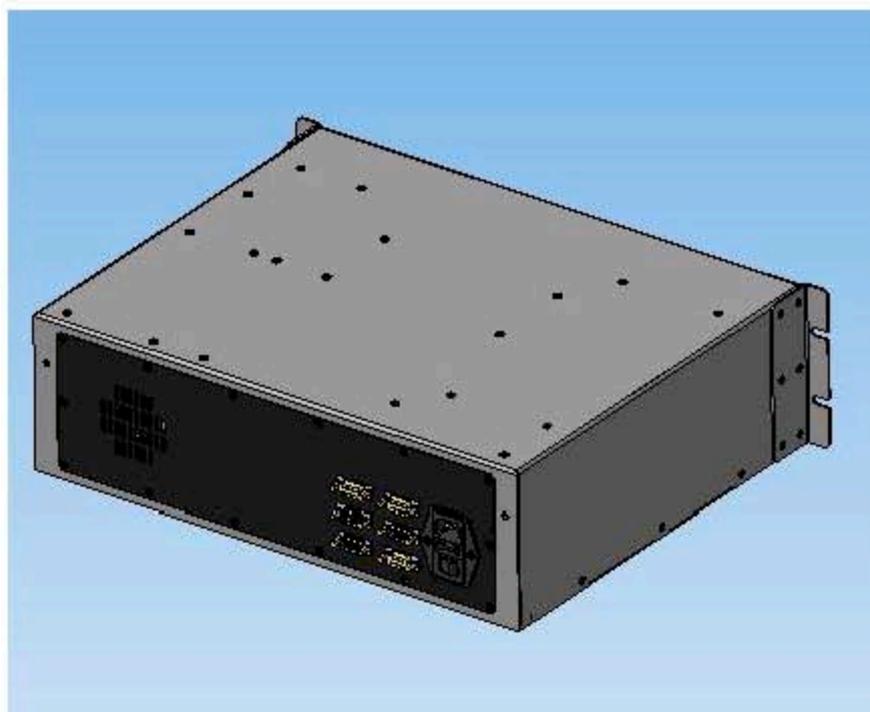


Рисунок 14 – Блок вычислительный сбора и обработки данных

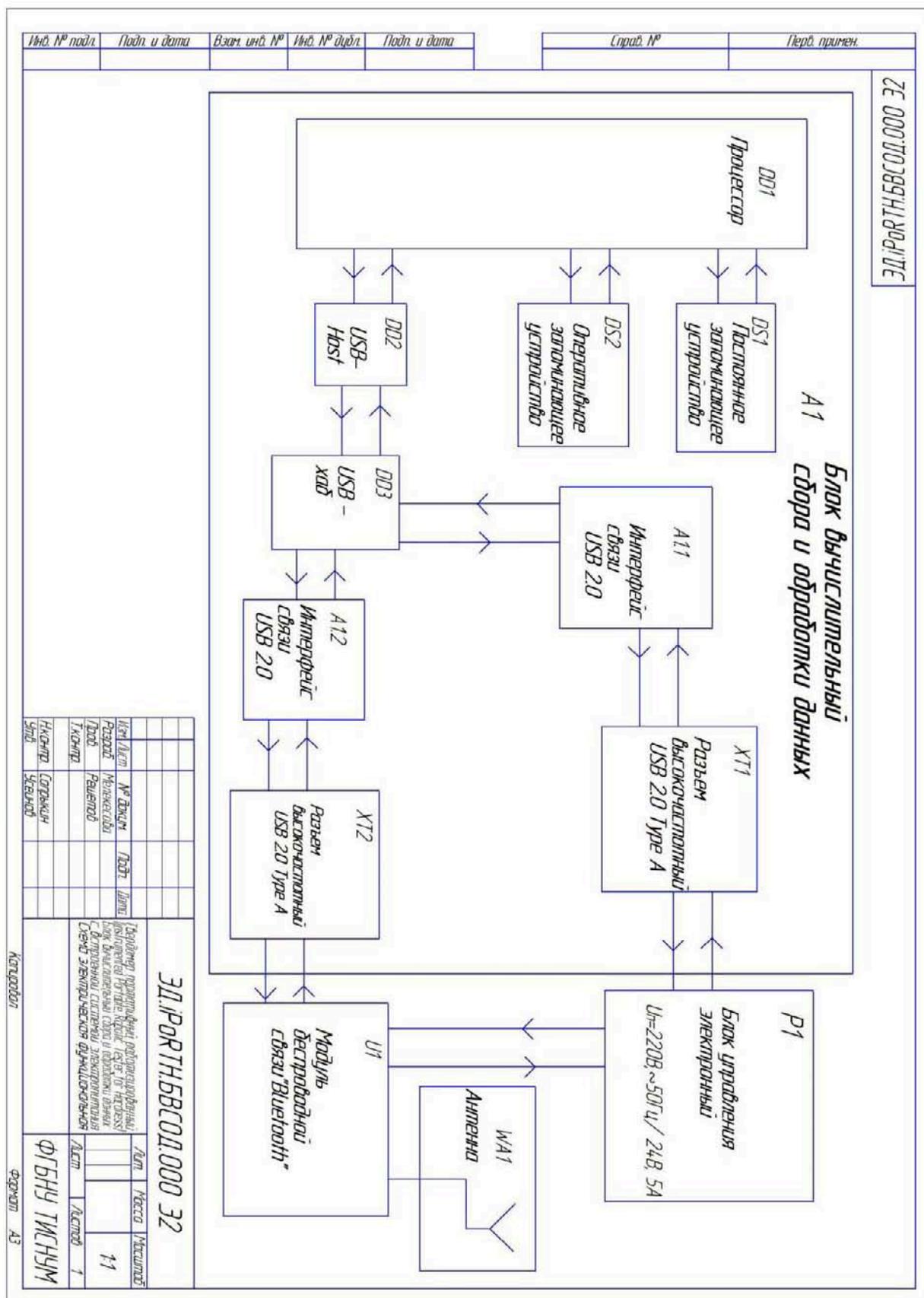


Рисунок 15 – Схема электрическая функциональная БВСОД

8. Устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном позволяет вывести результаты измерений, полученные от всех измерительных блоков для визуального контроля и обработки. Устройство для визуального считывания данных смартфон позволяет вывести результаты измерений, полученные от МИОК с МБЦС для визуального контроля и обработки. Основная техническая характеристика устройств для визуального считывания данных приведена в **таблице 11**.

Таблица 11.

| Техническая характеристика | Значение |
|--|------------------------------------|
| Монитор с сенсорным экраном | |
| Габаритные размеры монитора с сенсорным экраном с подставкой: Длина x Ширина x Высота | 511 x 635 x 240 мм |
| Потребляемая мощность экрана | 43 Вт |
| Размер экрана | 21.5 дюйм |
| Разрешение экрана | 1920 x 1080 |
| Смартфон | |
| Габаритные размеры смартфона: Длина x Ширина x Высота | 150 x 72 x 9 мм |
| Размер экрана | 5.84 дюйма |
| Память встроенная | 64 Гб |
| Процессор | Qualcomm Snapdragon 625 MSM8953 |
| Емкость аккумулятора | 4000 мА/ч |

9. Комплект тестовых образцов твердости и комплект тестовых мер шероховатости предназначен для подготовки твердомера портативного роботизированного к работе, его настройки и калибровки.

Комплект тестовых мер шероховатости 6 шт.:

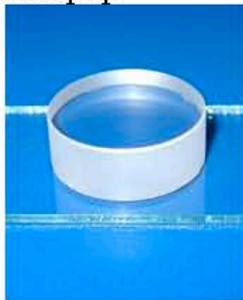
- Мера профильная ПРО-10 T1.01.03 Ra 4.6 мкм
- Мера профильная ПРО-10 T1.01.04 Ra 2,3 мкм
- Мера профильная ПРО-10 T1.01.01 Ra 1.1 мкм
- Мера профильная ПРО-10 T1.01.06 Ra 0.6 мкм
- Мера профильная ПРО-10 T1.02.02 Ra 0.3 мкм
- Мера профильная ПРО-10 T2.01.01 Ra 0.2 мкм

Комплект тестовых образцов твердости 4 шт.:

- Плавленый кварц



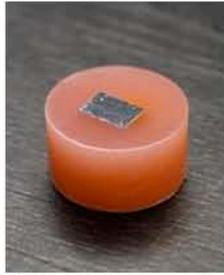
Твердость: $9,5 \pm 1,0$ ГПа
Модуль упругости (Юнга): $72,0 \pm 3,0$ ГПа
Шероховатость: < 5 нм
Габаритные размеры: $\text{Ø}25 \times 5$ мм
Подготовка поверхности: глубокая шлифовка-полировка
Сапфир



Твердость: $24,5 \pm 2,5$ ГПа
Модуль упругости (Юнга): $415,0 \pm 35,0$ ГПа
Шероховатость: < 5 нм
Габаритные размеры: $\text{Ø}25 \times 5$ мм
Подготовка поверхности: эпи-полировка
Поликарбонат



Твердость: $0,21 \pm 0,02$ ГПа
Модуль упругости (Юнга): $3 \pm 0,3$ ГПа
Шероховатость: < 5 нм
Габаритные размеры: $10 \times 10 \times 5$ мм
Алюминий



Твердость: $0,5 \pm 0,1$ ГПа

Модуль упругости (Юнга): $70,0 \pm 7,0$ ГПа Шероховатость: < 5 нм

Габаритные размеры: $10 \times 10 \times 5$ мм

Подготовка поверхности: полировка, сьем наклепанного слоя методом электролитического травления

10. Управляющее программное обеспечение (ПО) твердомера iPoRTH включает в себя:

а) Встроенное ПО электронной схемы управления, которое обеспечивает настройку режимов работы твердомера iPoRTH, управление приближением индентора к образцу, подачу управляющих команд для запуска измерительных процедур, регистрацию измерительных сигналов.

б) Встроенное ПО модуля беспроводной цифровой связи и управления МИОК, которое обеспечивает обмен данными и командами между измерительным модулем оперативного контроля и вычислительным блоком сбора и обработки данных или смартфоном.

в) Пользовательское ПО блока вычислительного сбора и обработки данных, используемое для визуализации результатов измерений;

г) Пользовательское ПО блока вычислительного сбора и обработки данных, используемое для администрирования (обработки и хранения) результатов измерений.

Маркировка и упаковка

Модули портативного роботизированного твердомера поставляются потребителю в специальных ящиках из фанеры. На каждом упаковочном ящике должна быть наклеена этикетка по ГОСТ 180888-83 и ГОСТ 26828-86, содержащая следующие сведения:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- наименование оборудования;
- дата упаковывания.

Каждый упаковочный ящик должен иметь манипуляционные знаки в соответствии с ГОСТ 14192-96 и ГОСТ Р 51474-99

- Хрупкое. Осторожно.

3 Использование по назначению портативного роботизированного твердомера

3.1 Подготовка к эксплуатации и эксплуатационные ограничения

Твердомер портативный роботизированный содержит прецизионные электромеханические элементы, поэтому оберегайте его от ударных нагрузок и сильных механических воздействий.

Требования к условиям окружающей среды

Портативный роботизированный твердомер обеспечивает проведение измерений в следующих рабочих условиях:

- Температура окружающего воздуха – от минус 10°C до плюс 30°C;
- Атмосферное давление – от 700 до 760 мм рт. ст.;
- Относительная влажность – от 20% до 80%;
- Интегральный уровень сейсмического и вибрационного шума в диапазоне частот от 1 Гц до 100 Гц по параметру колебательного ускорения - не более 10 мм/с².

Требования к исследуемым образцам

- Для проведения измерений образцы изделий должны быть жестко закреплены;
- размер области исследования на поверхности образца должен быть не менее 5 мм в произвольных направлениях перпендикулярных направлению индентирования;
- радиусы кривизны индентируемых поверхностей должны быть больше 200 мм для выпуклых образцов и больше 1 м для вогнутых и седлообразных;
- толщина образца в исследуемой области должна быть не менее 10 мм;
- параметр волнистости в исследуемой области W_z должен быть не более 20 мкм;
- для измерений твердости и модуля упругости согласно ГОСТ Р 8.748-2011 параметр шероховатости R_a должен удовлетворять рекомендациям данного стандарта для выбранных рабочих диапазонов нагрузок и глубин индентирования;
- для измерения зависимости напряжение–пластическая деформация, а также соответствующих данной величин: предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения параметр R_a должен быть не

- более 5 мкм;
- наклон поверхности образца относительно плоскости, перпендикулярной направлению индентирования, должен быть не более 3°.

3.2 Меры безопасности при эксплуатации портативного роботизированного твердомера

При эксплуатации портативного роботизированного твердомера обслуживающий персонал должен соблюдать следующие требования по безопасности:

Не допускать наличия оголенных электрических проводов и частей проводов без изоляции находящихся под напряжением.

В электрических модулях, входящих в состав портативного роботизированного твердомера должно быть выполнено защитное заземление.

Запрещается производить сборку, разборку, смену измерительных модулей портативного роботизированного твердомера при включенном внешнем питании любого модуля твердомера.

Следует соблюдать осторожность при установке модулей измерительных с системой крепления и позиционирования на образец с целью недопущения падения оборудования на обслуживающий персонал. Перед использованием системы крепления и позиционирования изучить инструкцию по работе с магнитными захватами.

3.3 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 1.

Режим работы 1 – Режим проведения измерений методом АВИ (Automated Ball Indentation) обеспечивают следующие модули портативного роботизированного твердомера:

- Модуль измерительный индентационный (далее по тексту МИИ)
- Система крепления и позиционирования измерительных модулей (далее по тексту СКИПМИ)
- Блок управления электронный (далее по тексту БУЭ)
- Блок вычислительный сбора и обработки данных (далее по тексту БВСОД)
- Устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном

Разместить систему крепления и позиционирования измерительных модулей на поверхности измеряемого образца и зафиксировать магнитные захваты. (Порядок использования магнитных захватов смотреть в руководстве по эксплуатации на магнитные захваты).

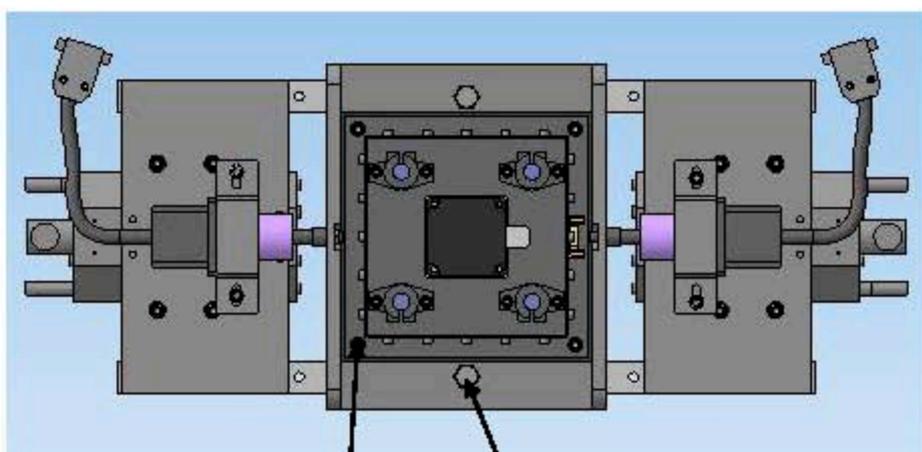
Установить Модуль измерительный индентационный в систему позиционирования см. **рисунок 16** и закрепить винтами М6х25 – 4 шт.. Зафиксировать корпус с установленным модулем МИИ, затянув болт М10х50 – 2 шт.

Подключить монитор к источнику питания согласно инструкции производителя.

Установить электрические соединения между модулями согласно электромонтажному чертежу см. **рисунок 17**.

СКИПМИ может работать как с двумя подключенными шаговыми двигателями, так и с одним подключенным шаговым двигателем. Допускается размещать БУЭ, БВСОД и устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном на расстоянии не более 3 м от МИИ.

Твердомер готов к работе.



Винт М6х25

Болт М10 х50

Рисунок 16 – Установка и фиксация МИИ в системе позиционирования. Вид сверху

3.4 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 2.

Режим работы 2 – Режим проведения измерений методом цифровой оптической микроскопии обеспечивают следующие модули портативного роботизированного твердомера:

- Микроскоп цифровой оптический (далее по тексту микроскоп)
- Система крепления и позиционирования измерительных модулей
- Блок управления электронный
- Блок вычислительный сбора и обработки данных
- Устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном

Разместить систему крепления и позиционирования измерительных модулей на поверхности измеряемого образца и зафиксировать магнитные захваты. (Порядок использования магнитных захватов смотреть в руководстве по эксплуатации на магнитные захваты).

Прикрутить микроскоп к пластине переходной винтами М4х18 – 6 шт. см. **рисунок 18**.

Пластину переходную с микроскопом прикрутить к пластине подвижной транслятора Z винтами М4х18 – 4 шт.

Установить стойку с микроскопом в систему позиционирования см. **рисунок 19** (стенка корпуса и рельс не показаны) и закрепить винтами М6х25 – 4 шт.

Зафиксировать корпус с установленным микроскопом, затянув болт М10х50 – 2 шт.

Подключить видеокамеру цифровую кабелем USB к БВСОД. Осветитель микроскопа подсоединить к корпусу микроскопа согласно руководству по эксплуатации на микроскоп.

Подключить монитор к источнику питания согласно инструкции производителя.

Установить электрические соединения между модулями согласно электромонтажному чертежу см. **рисунок 20**.

Допускается размещать БУЭ, БВСОД и устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном на расстоянии не более 3 м от микроскопа.

Твердомер готов к работе.

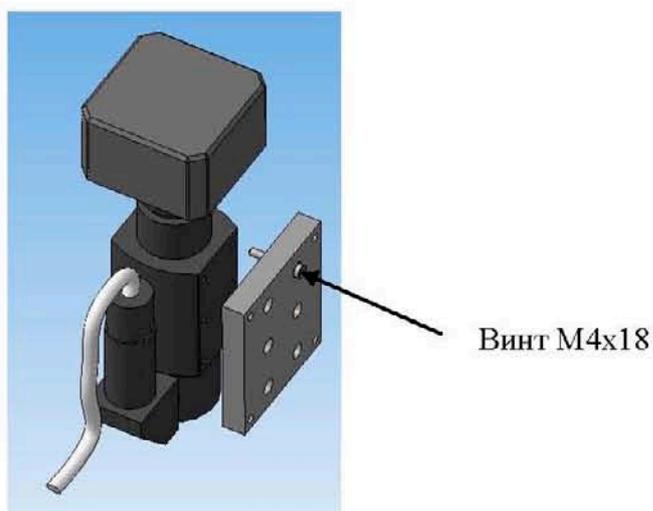


Рисунок 18 – Крепление микроскопа к пластине переходной

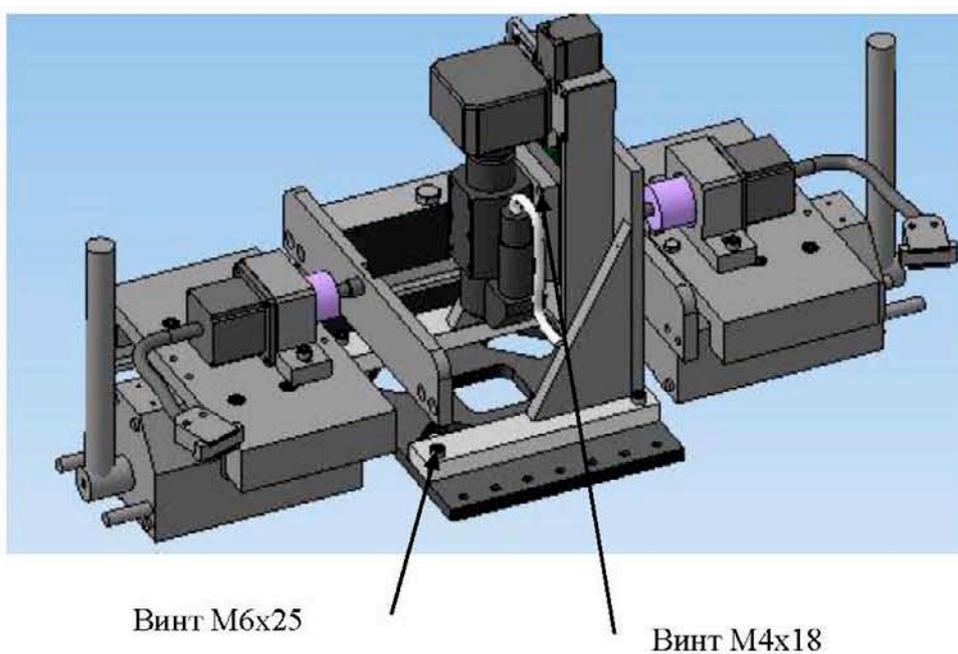


Рисунок 19 – Установка и фиксация микроскопа в системе позиционирования (направляющие рельсы по которым перемещается микроскоп не показаны)

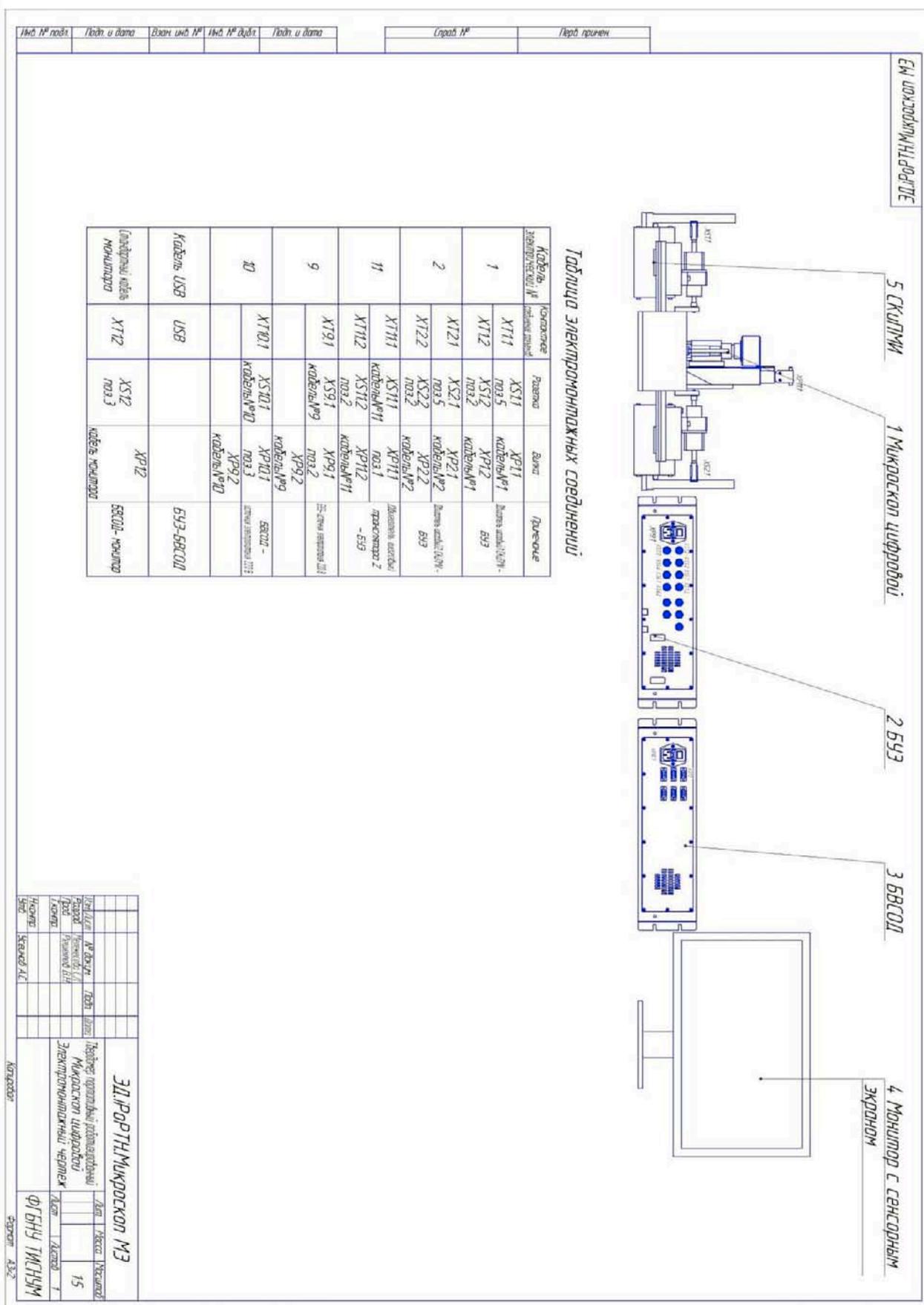


Рисунок 20 - Монтаж электрических соединений твердомера для работы в режиме 2.

3.5 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 3.

Режим работы 3 – Режим проведения измерений методом конфокальной оптической профилометрии обеспечивают следующие модули портативного роботизированного твердомера.

- Профилометр конфокальный оптический (далее по тексту профилометр)
- Система крепления и позиционирования измерительных модулей
- Блок управления электронный
- Блок вычислительный сбора и обработки данных
- Устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном

Разместить систему крепления и позиционирования измерительных модулей на поверхности измеряемого образца и зафиксировать магнитные захваты. (Порядок использования магнитных захватов смотреть в руководстве по эксплуатации на магнитные захваты).

Вставить профилометр в зажим для профилометра и зафиксировать винтами установочными М6х10 - 3 шт.

Прикрутить зажим с профилометром к пластине переходной винтами М4х18 – 6 шт.

Пластину переходную с профилометром прикрутить к пластине подвижной транслятора Z винтами М4х18 – 4 шт. Крепление деталей профилометра см. **рисунок 20**.

Установить стойку с профилометром в систему позиционирования см. **рисунок 21** (стенка корпуса и рельс не показаны) и закрепить винтами М6х25 – 4 шт..

Зафиксировать корпус с установленным профилометром, затянув болт М10х50 – 2 шт.

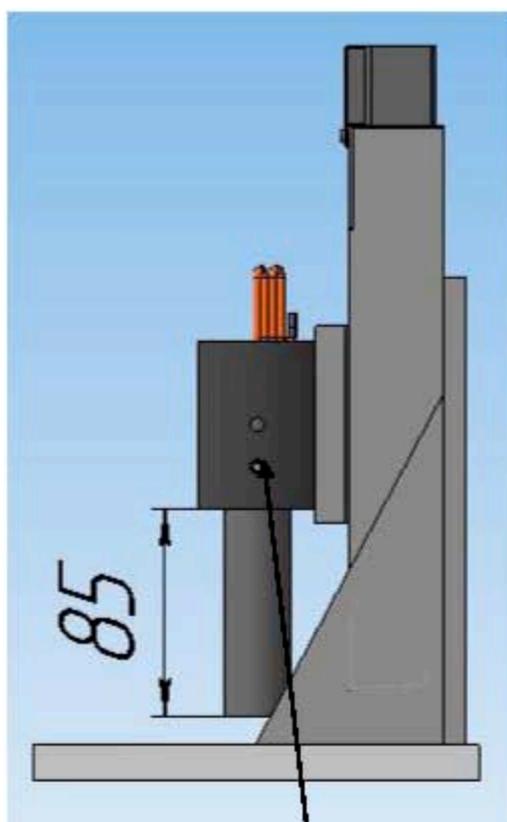
Подсоединить профилометр к контроллеру профилометра согласно руководству по эксплуатации на профилометр конфокальный оптический.

Подключить монитор к источнику питания согласно инструкции производителя.

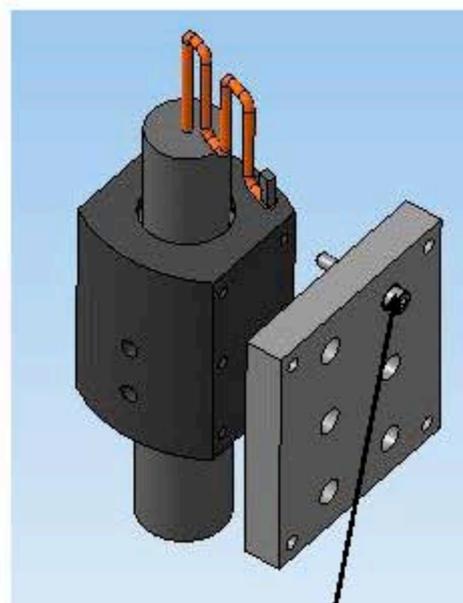
Установить электрические соединения между модулями согласно электромонтажному чертежу см. **рисунок 22**.

Допускается размещать БУЭ, БВСОД и устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном на расстоянии не более 3 м от профилометра.

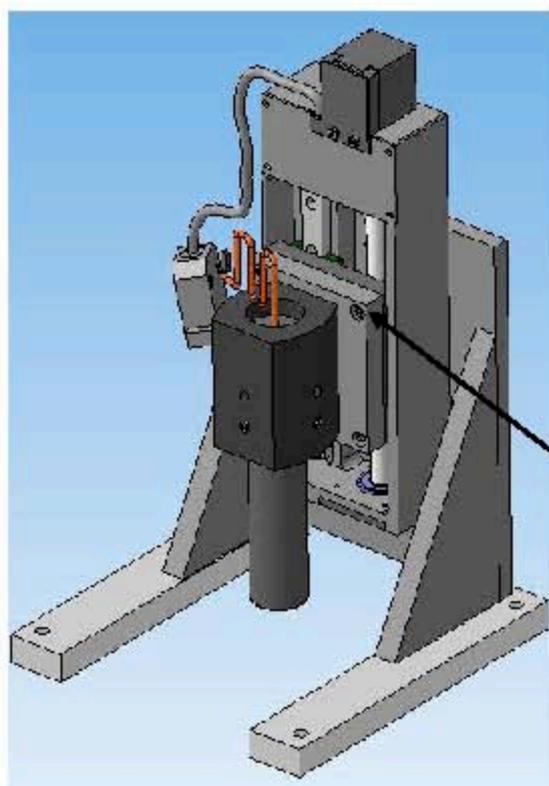
Твердомер готов к работе.



Винт установочный
М6х10

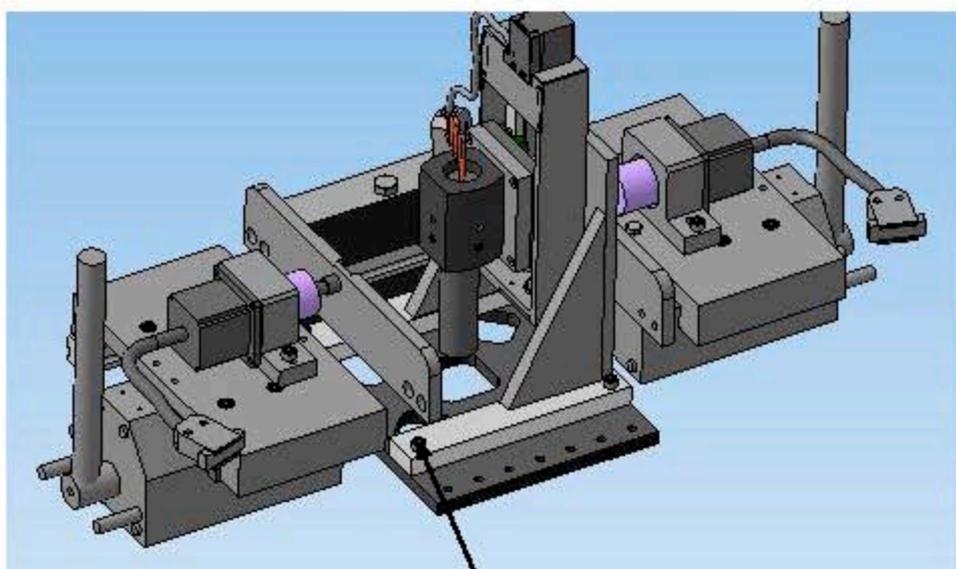


Винт М4х18



Винт М4х18

Рисунок 20 –Крепление деталей профилометра



Винт М6х25

Рисунок 21 – Крепление профилометра в системе позиционирования (направляющие рельсы по которым перемещается профилометр не показаны)

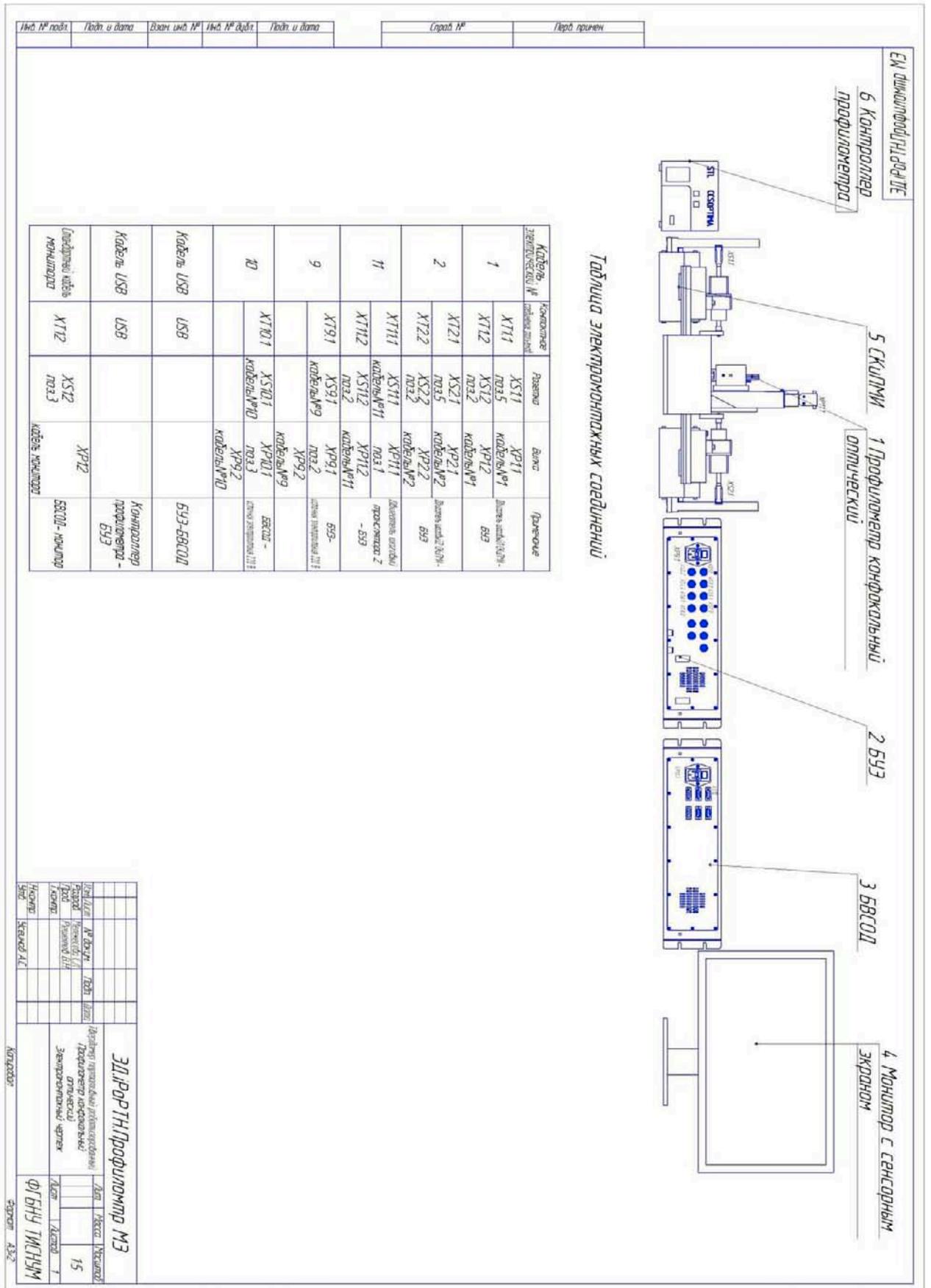


Рисунок 22 - Монтаж электрических соединений твердомера для работы в режиме 3

3.6 Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 4.

Режим работы 4 – Режим проведения измерений методом инструментального индентирования по ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577(1-4) обеспечивают следующие модули портативного роботизированного твердомера:

- Модуль измерительный оперативного контроля (далее по тексту МИОК)
- Модуль беспроводной цифровой связи и управления МИОК (далее по тексту МБЦС)
- Блок вычислительный сбора и обработки данных (далее по тексту БВСОД)
- Устройство для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном или смартфон

Установить в МИОК нужную насадку:

Вкрутить нужную насадку в корпус МИОК до упора.

Зафиксировать насадку гайкой.

Установить электрические соединения между модулями МИОК и МБЦС специальным электрическим кабелем.

При работе с устройством для визуального считывания данных смартфон подготовить к работе согласно инструкции производителя.

Твердомер готов к работе

При работе с устройством для визуального считывания данных монитор с сенсорным экраном установить электрические соединения между модулями БВСОД, монитор и подключение их к источнику внешнего питания в порядке, указанном в подразделе «Подготовка портативного роботизированного твердомера к использованию в режиме 1».

Твердомер готов к работе.

3.7 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 1.

- Нажать кнопки включения питания, расположенные на лицевых панелях БУЭ и БВСОД.
- Нажать кнопку включения питания монитора с сенсорным экраном.
- Дождаться загрузки управляющего программного обеспечения.
- Провести измерения требуемых параметров, руководствуясь документом:

«Методика, реализующей автоматизированную процедуру измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения».

- Порядок работы с программным обеспечением смотреть в: Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 01 (Встроенное ПО iPoRT Электронной схемы управления); Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02; (Пользовательское ПО iPoRTH для визуализации результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных).
- Для изменения точки приложения нагрузки МИИ на образец необходимо:
 - Ослабить болты М10;
 - Переместить корпус с МИИ, управляя автоматизированным способом двигателями шаговыми СКИПМИ;(см. руководство оператора эл. схемы управления)
 - Затянуть болты М10;
 - Продолжить проведение измерений.
- По окончании проведения измерений закрыть управляющее программное обеспечение.
- Перевести кнопки включения питания модулей БУЭ, БВСОД и монитора в положение выключено.
- Отключить модули твердомера от внешних источников питания 220 В.

3.8 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 2.

- Нажать кнопки включения питания, расположенные на лицевых панелях БУЭ и БВСОД.
- Нажать кнопку включения питания монитора с сенсорным экраном.
- Дождаться загрузки управляющего программного обеспечения.
- Провести визуальное изучение поверхности образца и измерение требуемых параметров в порядке, указанном в Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 01 (Встроенное ПО iPoRT Электронной схемы управления); Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02; (Пользовательское ПО iPoRTH для визуализации результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных);

Руководство по эксплуатации «Микроскоп цифровой оптический Mitutoyo», Япония.

- Для изменения положения микроскопа относительно поверхности образца необходимо:
Ослабить болты M10;
Переместить корпус с микроскопом, управляя автоматизированным способом двигателями шаговыми СКИПМИ (см. руководство оператора эл. схемы управления)
Затянуть болты M10;
Продолжить проведение измерений.
- По окончании проведения измерений закрыть управляющее программное обеспечение.
- Перевести кнопки включения питания модулей БУЭ, БВСОД и монитора в положение выключено.
- Отключить модули твердомера от внешних источников питания 220 В.

3.9 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 3.

- Нажать кнопки включения питания, расположенные на лицевых панелях БУЭ и БВСОД.
- Нажать кнопку включения питания монитора с сенсорным экраном.
- Дождаться загрузки управляющего программного обеспечения.
- Провести измерения требуемых параметров, руководствуясь документами:
«Методика измерения площади отпечатка, использующая информацию о контактном электрическом сопротивлении и данные конфокальной оптической микроскопии»;
«Методика измерения высоты формы и шероховатости рельефа поверхности».
- Порядок работы с программным обеспечением смотреть в:
Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 01;
(Встроенное ПО iPoRT Электронной схемы управления);
Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02;
Руководство по эксплуатации «Профилометр конфокальный оптический CCS OPTIMA», Испания;
 - Для изменения положение профилометра относительно поверхности образца необходимо:
Ослабить болты M10;

Переместить корпус с профилометром, управляя автоматизированным способом двигателями шаговыми СКИПМИ (см. руководство оператора эл. схемы управления)

Затянуть болты М10;

Продолжить проведение измерений.

- По окончании проведения измерений закрыть управляющее программное обеспечение.
- Перевести кнопки включения питания модулей БУЭ, БВСОД и монитора в положение выключено.
- Отключить модули твердомера от внешних источников питания 220 В.

3.10 Проведение измерений портативным роботизированным твердомером в режиме 4.

Проведение измерений с использованием монитора.

- Нажать кнопку включения питания, расположенную на лицевой панели БВСОД.
- Нажать кнопку включения питания монитора с сенсорным экраном.
- Дождаться загрузки управляющего программного обеспечения.
- Установить МИОК на поверхность образца либо зажать образец в насадку.
- Нажать кнопку, расположенную на корпусе МИОК необходимое количество раз. Одно нажатие – одно измерение.
- Провести измерения требуемых параметров руководствуясь документом:
«Методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости».
- Результаты проведенных измерений визуализируются на мониторе.
- Порядок работы с программным обеспечением смотреть в:
Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02;
(Пользовательское ПО iPoRTH для визуализации результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных);
- Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 03
(Встроенное ПО iPoRTH Модуля беспроводной цифровой связи и управления МИОК).

- По окончании проведения измерений закрыть управляющее программное обеспечение.
- Перевести кнопки включения питания модуля БВСОД и монитора в положение выключено.
- Отключить модули твердомера от внешних источников питания 220 В.

Проведение измерений с использованием смартфона.

- Включить смартфон. (см. Руководство по эксплуатации «Смартфон Xiaomi Mi A2 Lite 4/64Gb»).
- Дождаться загрузки управляющего программного обеспечения.
- Установить МИОК на поверхность образца либо зажать образец в насадку.
- Нажать кнопку, расположенную на корпусе МИОК необходимое количество раз. Одно нажатие – одно измерение.
- Провести измерения требуемых параметров руководствуясь документом:
«Методика, реализующая автоматизированную процедуру измерения твердости и модуля упругости».
- Результаты проведенных измерений визуализируются на смартфоне.
- Порядок работы с программным обеспечением смотреть в:
Руководстве оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 02;
(Пользовательское ПО iPoRTH для визуализации результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных);
- Руководство оператора RU.iPoRTH.00001-01 34 03
(Встроенное ПО iPoRTH Модуля беспроводной цифровой связи и управления МИОК).
 - По окончании проведения измерений закрыть управляющее программное обеспечение.
 - Выключить смартфон.

3.11 Обработка результатов измерений, проведенных на портативном роботизированном твердомере

Программное обеспечение Блока вычислительного сбора и обработки данных позволяет проводить дополнительную обработку результатов измерений, полученных во всех режимах работы портативного

роботизированного твердомера. Порядок работы с программным обеспечением описан в Руководстве оператора RU.iPoRT.00001-01 34 04 (Пользовательское ПО iPoRT для администрирования результатов измерений Блока вычислительного сбора и обработки данных). Результаты работы визуализируются на мониторе.

4 Техническое обслуживание портативного роботизированного твердомера

К техническому обслуживанию портативного роботизированного твердомера допускается обслуживающий персонал с квалификацией не ниже техника, прошедший инструктаж по технике эксплуатации и обслуживания и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе с присвоением соответствующей квалификационной группы по технике безопасности и не имеющий медицинских противопоказаний в количестве не менее 2 человек.

4.1 Требования безопасности при техническом обслуживании портативного роботизированного твердомера

Для обеспечения безопасности при техническом обслуживании твердомера отключить все модули от питающей электрической сети.

4.2 Порядок технического обслуживания

Техническое обслуживание твердомера производится по мере необходимости в зависимости от частоты использования. Средняя периодичность технического обслуживания 1 раз в месяц.

Очистить модули твердомера от пыли и загрязнений мягкой хлопчатобумажной или замшевой безворсовой тканью.

Проверить целостность электрических кабелей и состояние электрических разъемов. При наличии повреждений соединительные кабели заменить.

Провести техническое обслуживание покупных изделий твердомера в соответствии с рекомендациями предприятия-изготовителя.

5 Текущий ремонт портативного роботизированного твердомера

Твердомер состоит из нескольких модулей. Все неисправности твердомера являются либо нарушением электрической связи между какими-либо модулями, либо отказами самих модулей.

В первом случае необходимо проверить присоединение кабелей ко всем модулям твердомера на предмет нарушения электрического контакта, а также целостность оплетки кабеля. Во втором случае ремонт может быть выполнен только изготовителем.

В случае выявления неисправности любого модуля твердомера необходимо сообщить об этом изготовителю в кратчайший срок.

Исключение составляют покупные изделия, входящие в состав твердомера. Их ремонт может быть выполнен силами пользователя либо сервис-центрами предприятий-изготовителей данных устройств.

6 Транспортирование, хранение и утилизация

Транспортирование твердомера осуществляется в разобранном по составным частям (блокам, модулям) виде. Покупные модули транспортируются в оригинальной упаковке производителя.

Упакованный твердомер допускается транспортировать всеми видами транспорта. Транспортирование должно производиться в условиях, исключающих механические повреждения.

Остальные требования к условиям транспортирования и хранения должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51 908-2002.

Гарантийный срок хранения модулей твердомера в упаковке изготовителя – 5 лет со дня изготовления.

Твердомер портативный роботизированный утилизируется организацией, осуществляющей ремонт и обслуживание твердомера, имеющей право на проведение этих работ, без нанесения ущерба окружающей среде и в соответствии с требованиями законодательства.

Все узлы и корпусные детали твердомера изготовлены из материалов, являющихся экологически чистыми, их утилизация не наносит вред окружающей среде. Основной материал, использующийся при изготовлении твердомера – цветные металлы и сплавы. Покупные изделия, входящие в состав твердомера, утилизируются в соответствии с указаниями предприятия-изготовителя.

Степень утилизации составных частей твердомера от 80% до 90%.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
ОТЧЕТ О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Технологический институт сверхтвёрдых и новых углеродных материалов»
(ФГБНУ ТИСНУМ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий отделом
ФГБНУ ТИСНУМ
кандидат физ.-мат. наук
А.С. Усеинов



«29» ноября 2019 г.

М.И.

ОТЧЕТ
О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ №3
по теме:

«Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях»

Соглашение о предоставлении субсидии от 18 сентября 2017 г.
№14.577.21.0274

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»
Приоритетное направление «Индустрия наносистем»

г. Москва, г. Троицк, 2019 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

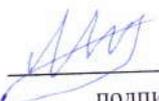
Вед. науч. сотр.,
д.ф.-м.н.

 29.11.19

подпись, дата

В.Н. Решетов
(разделы 1-3,
заключение,
приложения ЕА-ЕГ)

Науч. сотр.,
к.ф.-м.н.

 29.11.19

подпись, дата

И.И. Маслеников
(разделы 1-3,
приложения ЕА-ЕГ)

Млад.науч.сотр.

 29.12.19

подпись, дата

Е.В. Гладких
(разделы 1-3)

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ Е..... | 540 |
| ОТЧЕТ О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ | 540 |
| ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ | 543 |
| ОБЩИЕ ДАННЫЕ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЙ | 544 |
| 1. Анализ технического уровня разработок в исследуемой области техники | 546 |
| 2. Анализ тенденций и прогноз развития исследуемой области техники..... | 550 |
| 3. Анализ патентоспособности динамического наноиндентора | 555 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 556 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ ЕА. ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 557 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ ЕБ. РЕГЛАМЕНТ ПОИСКА | 559 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ ЕВ. ОТЧЕТ О ПОИСКЕ..... | 561 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ ЕГ. ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 569 |

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ, УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ,
СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ

МПК (МКИ) – международная патентная классификация изобретений
(международная классификация изобретений);

ФИПС – Федеральный институт промышленной собственности

НКИ – национальная классификация изобретений;

ГС – гармонизированная система (гармонизированная товарная
номенклатура);

СМТК – стандартная международная торговая классификация ООН;

БТН – Брюссельская таможенная номенклатура;

УДК – универсальная десятичная классификация.

ПНИЭР - прикладные научные исследования и экспериментальные
разработки;

РИД – результаты интеллектуальной деятельности;

ISO International Organization for Standardization

ASTM - American Society for Testing and Materials

МЭМС – микро электро-механическая система

WO – Международная заявка

RU – Российская Федерация

US – Соединенные Штаты Америки

KR – Корея

ESPACENET – База данных Европейского Патентного офиса

ОБЩИЕ ДАННЫЕ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Патентные исследования проведены в соответствии с пунктом 5.2 Технического задания (приложение №1 к Соглашению от 18 сентября 2017 г. № 14.577.21.0274 о предоставлении субсидии).

Дата начала работ: 16 сентября 2019 г.; дата окончания работ: 29 ноября 2019 г.

Патентные исследования проводились в рамках проекта, целью которого является обеспечение возможности проведения измерений механических характеристик (твердости, модуля упругости, предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения) и рельефа поверхности при помощи портативного прибора, способного осуществлять измерения на крупномасштабных элементах узлов и конструкций, используемых в машиностроительной и атомной отраслях, а также на металлических функциональных и гетерофазных композиционных конструкционных материалах нового поколения и деталях сложной формы, в том числе, полученных путем применения аддитивных технологий.

Объектом патентных исследований являются устройства, осуществляющие измерения механических свойств материалов с помощью контролируемого по глубине и нагрузке вдавливания твердого наконечника в тестируемый материал.

Целью патентных исследований является проведение исследования патентоспособности динамического наноиндентора, использующего принципы инструментального индентирования с возможностью контроля динамических характеристик системы подвеса индентора в полосе частот, существенно превышающих частоту основного резонанса системы подвеса индентора.

Задачами патентных исследований являются:

- исследование технического уровня разработок в области создания и использования устройств, проводящих измерения механических свойств

посредством внедрения алмазного наконечника, в том числе в динамическом режиме, когда траектория движения индентора содержит как монотонную, так и осциллирующую компоненты;

- исследование тенденций развития полнофункциональных приборов, осуществляющих все предусмотренные стандартом на инструментальное индентирование измерительные методики;

- исследование патентоспособности динамического наноиндентора.

Для достижения цели патентных исследований патентно-информационный поиск был выполнен на основе материалов, опубликованных в базах данных Google Patent, ESPACENET и «Роспатент». Также использовалась информация, представленная на сайтах производителей: Hysitron (головная организация Bruker – США), Keysight Technologies (США, ранее Agilent Technologies), CSM Instruments, Швейцария (головная организация Anton Paar – Австрия), Micro Materials Ltd (Великобритания), ФГБНУ ТИСЧУМ (Россия). Глубина патентного поиска: 2001-2019 год. Устройства относятся к рубрикам Международной патентной классификации G01Q (G01Q 10/00, G01Q 20/00, G01Q60/24, G01Q60/36, G01Q60/38), G01N (G01N 3/00, G01N 3/02, G01N37/00, G01N3/02, G01N3/40, G01N3/42), G01D5/22, G01B5/28, G01B7/34.

Перечисленные выше производители являются лидерами в области измерения механических характеристик области контакта индентора с тестируемой поверхностью в нанодиапазоне, используемые ими технологические решения определяют современный уровень развития нанотвердомеров. Таким образом, информация об использованных данными производителями технологических решениях для создания приборов является достаточной для достижения необходимых результатов патентных исследований.

1. Анализ технического уровня разработок в исследуемой области техники

Для выявления технических тенденций развития объекта исследований были проанализированы отобранные описания к патентам и заявкам стран, производящих соответствующие устройства (Российская Федерация, США, Япония, Швейцария, Австрия и Великобритания) за период с 2001 по 2019 гг.

По числу полученных патентов и упоминаниям в научных статьях наиболее распространенными являются приборы TI 900 TriboIndenter Hysitron (США), Nanoindenter G200 Keysight Technologies (бывшая Agilent Technologies, ранее MTS Systems) (США), NanoHardnessTester CSM-Instruments (Швейцария), NanoTest Vantage Micro Materials Ltd. (Великобритания), FISCHERSCOPE HM2000 and Picoindenter HM500 компания Fischer Messtechnik и динамические микротвердомеры DUH-211/211S компании SHIMADZU. На территории Российской Федерации в публикациях периодически упоминаются приборы семейства «НаноСкан».

Продающийся сегодня под торговой маркой G200 нанотвердомер (Keysight Technologies) является приемником оборудования, разработанного В. Оливером и Дж. Фарром для диагностики твердости и модуля упругости по методу инструментального индентирования. Силозадающий элемент этого устройства аналогичен используемым в громкоговорителях преобразователям (US 6844721, US 7441465), что дает возможность работать в широком динамическом диапазоне усилий, прикладываемых к образцу со стороны индентирующего модуля. Базовая модификация прибора оборудована емкостным датчиком для контроля перемещения. Среди недостатков такой системы можно выделить низкую резонансную частоту (сотни Гц) и достаточно большую массу подвижной системы (десятки грамм). Эти факторы приводят к высокому уровню сейсмической чувствительности всей измерительной системы и требуют

высококачественной изоляции от вибраций и акустических шумов при работе в промышленных условиях.

Компанией Hysitron была предложена другая схема, в которой силозадающий и измеряющий перемещение элементы представляют собой одну конструкционную единицу – емкостной преобразователь (US 5,553,486; US 5,661,235; US 5,869,751; US 6,026,677). Динамический диапазон как по нагрузкам, так и по перемещению, в таком случае сместился в сторону меньших значений (не более 30 мН и 10 мкм соответственно), что снижает собственные шумы прибора до нН и десятков пм. Существенным недостатком такого технического решения является малый уровень усилий индентирования. Для расширения усилий в область микроиндентирования данная компания выпускает специальный модуль на основе системы с пьезокерамическим приводом.

В приборах NanoHardnessTester (CSM-Instruments), так же, как и у G200, применяется электромагнитный способ задания силы, перемещение регистрируется специальным электромагнитным датчиком (US 7685868, WO2006/069847). Существенным отличием является наличие опорного кольца, применяемого для поддержания плотного контакта измерительной головки с исследуемым образцом. Предложенная конструкция накладывает ограничения на размер образцов.

NanoTestr Vantage, продукт компании Micro Materials, отличается от прочих имеющихся на рынке нанотвердомеров способом крепления образцов (они располагаются в вертикальной плоскости), что позволяет контролировать конвективные потоки при температурных испытаниях – в комплект прибора входит специальный модуль, позволяющий проводить исследования образцов при температурах от от -20°C до 750°C. Кроме того, само конструктивное решение (наличие держателя и упора) позволяет производить испытания на разрушение и усталость: схема эксперимента может представлять собой множество наноударов.

Разработка российских ученых, приборы семейства НаноСкан, создавались как сканирующие нанотвердомеры (прибор NanoScan-3D). Главной их особенностью можно считать особый тип зондового датчика – камертон, на одной из ножек которого закрепляется индентор. Это решение позволяет исследовать не только механические, но и геометрические характеристики поверхности образца. Технические решения отдельных узлов и ключевых составных элементов конструкции сканирующего нанотвердомера «НаноСкан», защищены следующими патентами Российской Федерации: № 2108561, № 2109369, № 2126536, № 2313776, № 2425356, №2442131, а так же патентами на полезную модель № 96429 и № 96428.

Появившийся позднее прибор НаноСкан-4D, описанный на сайте производителя, во многом схож с другими нанотвердомерами, работающими в соответствии со стандартом на инструментальное индентирование.

Как описано выше, существует множество решений, позволяющих осуществлять измерения механических свойств при малых нагрузках, существенно меньших 200 мН. Основные принципы работы твердомеров являются известными, однако именно их конструктивные особенности и конкретная реализация, обеспечивающая их применение, является патентуемой: в частности, специфические конструктивные решения, позволяющие измерять твердость, модуль упругости и модуль потерь определяют патентную способность.

В состав динамического наноиндентора вводится силовая ячейка, позволяющая отделить тяжелую подвижную часть актюатора от штока, удерживающего индентор, и дополнительный емкостной датчик, измеряющий перемещение механического актюатора по отношению к корпусу прибора. Данная силовая ячейка используется для прецизионного измерения силы прижима, а емкостной датчик – для контроля фазы и амплитуды колебаний корпуса силовой ячейки. В результате совместной обработки данных с трех емкостных датчиков и данных о напряжении, поступающем на актюатор, становится возможным получать набор данных,

позволяющих описать динамическое поведение штока с индентором и силовой ячейки, как в области ниже резонансной частоты подвеса, так и в области частот выше этой резонансной частоты. Используемые в процессе создания данной конструкции решения обеспечивают возможность ее патентования.

2. Анализ тенденций и прогноз развития исследуемой области техники

Одной из разновидностей серийно выпускаемых твердомеров, являющихся универсальными приборами, предназначенными для осуществления измерений в широком диапазоне глубин индентирования и значений твердости и модуля упругости исследуемого материала, являются приборы, работающие по методу инструментального индентирования.

Классическая конструкция нанотвердомера состоит из пяти базовых элементов – жесткого корпуса, в котором расположены подвижные элементы, механического актюатора, преобразующего входное электрическое воздействие в линейное перемещение и нагрузочное усилие, твердого штока с индентором на конце, соединенного с актюатором, упругой системы подвеса штока и емкостного датчика, фиксирующего перемещение штока по отношению к жесткому корпусу прибора. Такая конфигурация позволяет осуществлять инструментальное индентирование строго в соответствии с существующими стандартами в широком диапазоне рабочих нагрузок и глубин погружения индентора в материал. Существует множество технических решений наноинденторов, отличающихся по исполнению, но сходных по назначению.

Несмотря на то, что уже существует ряд технических решений для реализации твердомера, обеспечивающего измерение динамических характеристик образца (в рамках испытания методом инструментального индентирования), конкретные технические подходы, кинематические и электрические схемы и их комбинации, построенные с учетом требований по точности и соответствующие условиям эксплуатации разрабатываемого прибора, имеют свои важные детали.

В современных приборах используются различные схемы нагружения (электромагнитная, пьезокерамическая, пружинная и др.) и системы датчиков силы и перемещения (емкостные, электромагнитные, оптические,

интерферометрические и др.). Интерес данного анализа представляют приборы с возможностью контроля всех компонент прикладываемой силы и знакопеременного перемещения индентора. Фактором, осложняющим исследование вязкоупругих свойств от частоты знакопеременного воздействия, является изменение резонансной частоты и добротности системы упругого подвеса индентора за счет влияния жесткости и вязкости области контакта. В итоге резонансная частота системы подвеса штока может возрасти в десять раз, а добротность упасть до единицы. При значительных амплитудах осциллирующей компоненты становится существенным нелинейный характер зависимости силы реакции материала на осциллирующее перемещение индентора. Совокупность всех этих факторов делает невозможными прецизионные измерения вязкоупругих характеристик материала при неполном контроле перемещения всех компонент наноиндентора.

Наличие системы упругого подвеса штока индентора приводит к необходимости вычитания силы, пошедшей на его деформацию, из силы, создаваемой механическим актюатором. Большая масса подвижного элемента электромагнитного актюатора, обычно используемого в наноинденторах, приводит к понижению резонансной частоты системы подвеса индентора. Примером эффективного решения проблемы прецизионного контроля силы прижима может служить конструкция одного из силовых модулей Hysitron TI 980 TriboIndenter. Используемая в OmniProbe и MultiRange NanoProbe система нагружения с пьезокерамическим актюатором и силовой ячейкой позволила сопрячь жесткий актюатор и мягкую (на начальных участках кривой подвода) область контакта индентора с поверхностью материала. При этом трансформируя перемещение в силу, силовая ячейка позволяет управлять рабочим диапазоном наноиндентирующего модуля и изготавливать модули на разные рабочие диапазоны, используя один и тот же актюатор и систему регистрации перемещения, просто изменяя жесткость пружин силовой ячейки.

В ходе рассмотрения конкретных патентов, остановимся только на тех специфических особенностях и оригинальных идеях, которые интересны с точки зрения усовершенствования динамического наноиндентора.

Интересны патенты JP2005-265731 и US 6,978,664 предлагающие использовать инденторы специальной формы. В первом случае методами нанолитографии на острие индентора формируются своеобразные насечки, помогающие маркировать достижение ими поверхности в ходе наноиндентирования. Во втором случае на кончике индентора формируется специальный тонкий щуп, позволяющий сканировать отпечаток, оставленный центральной частью индентора. Патент JP2014240851 предлагает создать новый тип наконечника для наноиндентирования, применение которого позволит производить испытания с высокой точностью, в процессе которых будут снижены эффекты образования навалов или провалов материала поверхности образца, за счет презиционного формирования кончика индентора. Такой механизм обеспечивается посредством создания пленки из поликристаллического алмаза заданной пирамидальной формы, сформированной путем нанесения анизотропного травления на монокристаллическую подложку. Форма индентора на наноуровне и микроуровне играет существенную роль в интерпретации данных инструментального индентирования и данный аспект надо обязательно иметь в виду при разработке динамического наноиндентора.

Подробный патент US 20090260427, защищающий современную конструкцию прибора CSM-Instruments, интересен комплексным подходом к контролируемым в процессе индентирования величинам и может быть полезен при разработке новых кинематических и силовых схем для рабочих измерительных средств динамического наноиндентора.

Патент US20090165537 указывает на важность не только высокого пространственного разрешения при определении глубины погружения индентора в поверхность, но и абсолютной точности при этих измерениях. Использование емкостных и индуктивных датчиков перемещения требует их

постоянной калибровки и не позволяет с достаточной точностью измерять истинные линейные перемещения. Для повышения точности измерений в состав прибора может быть включен интерферометр.

В патенте ES2283169 (Испания) описан метод проведения измерений наноиндентированием, в котором помимо поступательного движения индентора присутствует вращение наконечника. Данная модификация позволяет измерять не только твердость, но и модули упругости и сдвига.

Выбранное направление исследований по разработке динамического наноиндентора находится в области научно-исследовательских работ, схожих с проведенными ранее данным коллективом авторов, и активно использует разработки предыдущих лет, защищенные патентами РФ.

В исследованиях, производимых ФГБНУ ТИСНУМ в рамках работ по теме «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях», выполняемой в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» по лоту шифр «2014-14-579-0067» (шифр заявки «2014-14-579-0067-007»), используются решения, удовлетворяющие критерию патентной новизны и основанные на патентах РФ.

Список патентов, полученных авторским коллективом ФГБНУ ТИСНУМ:

Патент на полезную модель № 96429 от 27.07.2010 К.В. Гоголинский, Э.В. Мелекесов, В.В. Мещеряков, В.Н. Решетов, А.С. Усеинов, Кузнецов А.П., Лысенко В.Г. Сканирующий зондовый микроскоп-нанотвердомер, совмещенный с оптической системой линейных измерений.

Патент на полезную модель № 96428 от 27.07.2010 К.В. Гоголинский, Э.В. Мелекесов, В.В. Мещеряков, В.Н. Решетов, А.С. Усеинов. Сканирующий нанотвердомер.

Свидетельство № 413249 от 09.07.2010 на товарный знак NANOSCAN
Свидетельство № 413250 от 09.07.2010 на товарный знак
NANOSCAN.

Патент РФ № 2442131 от 10.02.2012 К.В.Гоголинский, Э.В. Мелекесов, В.В. Мещеряков, В.Н. Репетов, А.С. Усеинов «Устройство для измерения параметров рельефа поверхности и механических свойств материалов».

Все рассмотренные устройства являются полнофункциональными приборами, осуществляющими все предусмотренные стандартом на инструментальное индентирования измерительные методики. При этом, по базовой схеме изготавливаются приборы на несколько рабочих диапазонов нагрузок – на максимальные усилия при индентировании: 5 Н, 500 мН и 50 мН, соответственно для самого малого диапазона минимальная контролируемая нагрузка индентирования оказывается меньше 1 мкН. При этом.

Как следует из проведенного поиска, разрабатываемый динамический нанотвердомер займет выгодное место среди рассмотренных устройств, основной упор в развитии которых был до сих пор сделан на возможность получения значения твердости; анализ динамических характеристик образца при этом осуществлялся при недостаточно высоких частотах, т.к. резонансные частоты систем подвеса большинства наноинденторов находятся в районе 100 Гц. На основе проведенного патентного поиска, может быть подана заявка на патент.

Правовая охрана РИД полученных в рамках договора будет осуществляться на основе части 4 Гражданского кодекса Российской Федерации и условий Соглашения о предоставлении субсидии от 22 июля 2014 г. № 14.577.21.0088.

3. Анализ патентоспособности динамического наноиндентора

В данный момент на рынке присутствует ряд аналогичных приборов, позволяющих производить схожие измерения для объектов и конструкций методом инструментального индентирования (NanoIndenter G 200, NHT2, MFP NanoIndenter, Hysitron TI 980 TriboIndenter, CSM Instruments).

В динамическом наноинденторе планируется использовать известный способ приложения силы с помощью электромагнитного актюатора, а также стандартную систему регистрации перемещения. Однако данное обстоятельство не исключает патентоспособность динамического наноиндентора. Датчики и силозадающие элементы сами по себе являются всего лишь составными частями устройства, включающего в себя также другие узлы, которые в совокупности обеспечивают применимость устройства для проведения исследований механических характеристик поверхности. Согласно изобретению, добавление силовой ячейки в конструкцию стандартного нанотвердомера позволяет повысить резонансную частоту системы подвеса индентора и точность контроля силы прижима, а также гибко регулировать рабочий диапазон динамического наноиндентора. Добавление в конструкцию третьего емкостного датчика, контролирующего перемещение актюатора, то есть положение силовой ячейки по отношению к корпусу, позволяет исключить ряд факторов, влияющих на измерение вязкоупругих свойств области контакта подвижной системы подвеса актюатора с исследуемым материалом, и с высокой точностью описать динамическое поведение индентора с помощью обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.

Проведенный анализ подтвердил правильность выбранного пути решения задачи создания динамического наноиндентора, имеющего возможность контроля механических свойств поверхностей изделий в отраслях машиностроения и металлообработки. Кроме того, проведенное патентное исследование существующих технических решений позволило установить патентоспособность динамического наноиндентора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное патентное исследование показало патентную способность динамического наноиндентора. В результате анализа было выявлено, что существующие твердомеры, применяющиеся в технике индентирования с одновременным анализом вязко-упругих свойств либо обладают подвижными элементами слишком большой массы, либо не обеспечивают достаточной чувствительности и контроля параметров колебательной системы. Разрабатываемый прибор позволит проводить исследования таких объектов, что, в свою очередь, продолжит развитие нанотвердомеров, в том числе, измеряющих действительную и мнимую компоненты модуля упругости, в новом направлении. В разрабатываемом динамическом наноинденторе используются элементы, известные ранее, однако устройство может быть запатентовано как цельная конструкция.

Таким образом, результаты интеллектуальной деятельности, созданные в ходе выполнения работ, являются патентоспособными, а получаемый в результате их использования продукт – патентопригодным и конкурентоспособным.

ПРИЛОЖЕНИЕ ЕА. ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ПАТЕНТНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделом ФГБНУ ТИСНУМ
кандидат физ.-мат. наук

 А.С. Усеинов

16 сентября 2019 г.

М.П.

ЗАДАНИЕ № 3
на проведение патентных исследований

| | |
|--------------------------------|--|
| Тема ПНИЭР: | «Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях» |
| Шифр: | 14.577.21.0274 |
| Этап ПНИЭР: | Этап № 3. «Изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов приборов iPoRTH. Оценка результатов исследований» |
| Сроки выполнения этапа ПНИЭР: | Начало: 01.01.2019 Окончание: 31.12.2019 |
| Задачи патентных исследований: | 1) исследование технического уровня разработок в области создания и использования устройств, проводящих измерения механических свойств посредством внедрения алмазного наконечника, в том числе в динамическом режиме, когда траектория движения индентора содержит как монотонную, так и осциллирующую компоненты; 2) исследование тенденций развития полнофункциональных приборов, осуществляющих все предусмотренные стандартом на инструментальное индентирование измерительные методики; 3) исследование патентоспособности динамического наноиндентора |

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Виды патентных исследований | Подразделения-исполнители | Ответственные исполнители (Ф.И.О.) | Сроки выполнения. Начало - окончание | Отчетные документы |
|---|---|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| <p>Исследование технического уровня разработок в области создания и использования устройств, проводящих измерения механических свойств посредством внедрения алмазного наконечника, в том числе в динамическом режиме, когда траектория движения индентора содрержит как монотонную, так и осциллирующую компоненты</p> | <p>Отдел исследования физико-механических свойств</p> | <p>Гладких Е.В.</p> | <p>16.09.2019 – 29.11.2019</p> | <p>Анализ технического уровня разработок в исследуемой области техники</p> |
| <p>Исследование тенденций развития полнофункциональных приборов, осуществляющих все предусмотренные стандартом на инструментальное индентирование измерительные методики</p> | <p>Отдел исследования физико-механических свойств</p> | <p>Гладких Е.В.</p> | <p>16.09.2019 – 29.11.2019</p> | <p>Анализ тенденций и прогноз развития исследуемой области техники</p> |
| <p>Исследование патентоспособности динамического наноиндентора</p> | <p>Отдел исследования физико-механических свойств</p> | <p>Гладких Е.В.</p> | <p>16.09.2019 – 29.11.2019</p> | <p>Анализ патентоспособности динамического наноиндентора</p> |

Заведующий отделом ФГБНУ ТИСНУМ


подпись

А. С. Усенов
расшифровка

16.09.2019
дата

Руководитель
патентного подразделения


подпись

Г. Н. Кремкова
расшифровка

16.09.2019
дата

ПРИЛОЖЕНИЕ ЕБ. РЕГЛАМЕНТ ПОИСКА

РЕГЛАМЕНТ ПОИСКА № 3

16 сентября 2019
дата составления регламента

| | |
|-----------------------------------|---|
| Тема ПНИЭР | Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях |
| Шифр: | 14.577.21.0274 |
| Этап ПНИЭР: | Этап № 3. «Изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов приборов iPoRTH. Оценка результатов исследований» |
| Номер и дата утверждения Задания: | № 3 от 2 сентября 2019 г. |
| Цель поиска информации: | Формирование заявки на патент на изобретение динамический наноиндентор |
| Начало поиска: | 16 сентября 2019 г |
| Окончание поиска: | 29 ноября 2019 г. |
| Обоснование регламента поиска: | В соответствии с требованиями технического задания поиск проводился по патентной литературе в объеме патентных фондов РФ и развитых стран, по ведущим базам данных патентной информации, а также в научно-технической литературе, включая отечественные и зарубежные научные журналы, обзоры и монографии. Глубина поиска не менее 10 лет. |

Таблица № 1

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна поиска | Источники информации, по которым будет проводиться поиск | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|------------------|-----------------------------|------------------------------|--|----------------------|----------------------------------|-----------------------|--|
| | | Наименование | Классификац ионные рубрики: МКИ*, НКИ* и др | Наимен ование | Рубрики УДК* и другие | На име нов ани е | Код товара: ГС*, СМТК*, БТН* | Наиме нован ие | Классифик ационные индексы | Ретроспект ивность | Наименование информационной базы (фонда) |
| 1 Устройства автоматизированного контроля физико- механических свойств технических изделий: приборы, позволяющие производить исследования методом инструментального индентирования | 2 РФ, США, Япония, Швейца рия, Австрия и Великоб ритания | 3 Полные описания изобретений к патентам в национальных и международн ых базах патентной информации США» Google patent *, Европы *, «Esrasenet», России «Роспатент» | 4 G01Q (G01Q 10/00, G01Q 20/00, G01Q60/24, G01Q60/36, G01Q60/38), G01N (G01N 3/00, G01N 3/02, G01N37/00, G01N3/02, G01N3/40, G01N3/40, G01N3/42), G01D5/22, G01B5/28, G01B7/34 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 2001- 2019 | 12 Базы данных патентных ведомств США "Google patent", Европы "Esrasenet", России «Роспатент» |

Заведующий отделом ФГБНУ ТИСНУМ



подпись

А. С. Усенов
расшифровка

Дата

16.09.19

Руководитель



подпись

Г. Н. Кремкова
расшифровка

Дата

16.09.19

патентного подразделения

ПРИЛОЖЕНИЕ ЕВ. ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

ОТЧЕТ О ПОИСКЕ

| | |
|---|---|
| Тема ПНИЭР | Разработка конструкции портативного оборудования и комплекса измерительных методик для роботизированного технологического контроля геометрических и механических характеристик материалов и изделий, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях |
| Шифр: | 14.577.21.0274 |
| Этап ПНИЭР: | Этап № 3. «Изготовление и проведение испытаний экспериментальных образцов приборов iPoRTH. Оценка результатов исследований» |
| Задание на выполнение поиска | Задание на выполнение патентных исследований № 3 от 16.09.2019, утверждено заведующим отделом, руководителем работ по ПНИЭР А.С. Усеиновым Регламент поиска от 16.09.2019 |
| Начало поиска: | 16 сентября 2019 г. |
| Окончание поиска: | 29 ноября 2019 г. |
| Сведения о выполнении поиска: | Регламент поиска выполнен полностью. |
| Предложения по дальнейшему проведению поиска и патентных исследований | Предлагается периодически проводить поиск и патентные исследования для выявления прикладных реализаций в предметной области и с целью прогнозирования дальнейших направлений научных разработок в области устройств, работающих по принципу инструментального индентирования. |

Материалы, отобранные для анализа, приведены в таблице ЕВ.1.

Таблица ЕВ.1 — Патентная документация.

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификационный индекс | Заявитель (патентобладатель) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранного документа или причины его аннулирования |
|---|--|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Устройства автоматизированного контроля физико-механических свойств технических изделий: приборы, позволяющие производить исследования методом инструментального индентирования | Патент США 5,553,486 G01N3/40, G01Q60/36, G01B7/34, G01N3/06, G01N3/02, G01N37/00, G01N3/42, G01P15/125, | Hysitron Incorporated 08/327,979 1.10.1993 10.09.1996 | Apparatus for microindentation hardness testing and surface imaging incorporating a multi-plate capacitor system | действует |
| | Патент США US 5,661,235 G01N37/00, G01N3/02, G01B7/34, G01N3/42, G01N3/06 | Hysitron Incorporated 08/579,996 1.10.1993 26.08.1997 | Multi-dimensional capacitive transducer | действует |
| | Патент США US 5,869,751 G01N37/00, G01N3/42, G01B7/34, G01N3/06, G01N3/02, | Hysitron Incorporated 08/902,410 1.10.1993 9.02.1999 | Multi-dimensional capacitive transducer | действует |
| | Патент США US 6,026,677 G01N3/42, G01P15/125 | Hysitron, Incorporated 08/965,332 1.10.1993 22.02.2000 | Apparatus for microindentation hardness testing and surface imaging incorporating a multi-plate capacitor system | действует |
| | Патент США US 7441465 G01N3/00 | Agilent Technologies, Inc. 11/757,076 2.06.2006 28.10.2008 | Measurement of properties of thin specimens based on experimentally acquired force-displacement data | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|--|--|---|---|--|
| | Патент США US 7685868 G01N3/48 | Csm Instruments Sa 11/721,997 23.12.2004 30.03.2010 | Measuring head for nanoindentation instrument and measuring method using same | действует |
| | Патент WO2006/069847 G01N3/42 | Csm Instr Sa, Jacques Woirdard, Bertrand Bellaton, Richard Consiglio PCT/EP2005/056 026 23.12.2004 6.06.2006 | Measuring head for nanoindentation instrument and measuring method using same | действует |
| | Патент США US 5067346 G01N3/00, G01N3/42, G01N3/02 | Commonwealth Scientific And Industrial Research Organization 07/299,835 10.06.1986 26.11.1991 | Penetrating measuring instrument | действует |
| | Патент США US 7459904 G01D5/22, G01B7/14 | Roger Proksch, Jason Cleveland, Dan Bocek 11/744,754 30.11.2000 2.12.2008 | Precision position sensor using a nonmagnetic coil form | действует |
| | Патент США US 8196458 G01N3/40, G01B5/28 | Asylum Research Corporation 12/729,339 13.03.2006 12.06.2012 | Nanoindenter | действует |
| | EP 1095254 G01N3/00, G01N3/52, G01N3/06 | Micro Materials Limited EP19990932990 15.06.1998 24.11.2004 | Surface testing equipment and method | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|--|--|---|--|--|
| | WO 2000004368 G01N3/52, G01N3/06, G01N3/00 | Micro Materials Ltd, James Frank Smith PCT/GB1999/00 2145 15.06.1998 27.01.2000 | Surface testing equipment and method | действует |
| | Патент Японии 2005-265731 G01N3/42 | National Institute for Materials Science 2004-081546 19.03.2004 29.09.2005 | Indentation Indenter | действует |
| | Заявка США 20090260427 A1 G01N3/42; | Woirgard;Jacque s; (LaGrimaudiere, FR)Bellaton; Bertand; (Neuchatel,CH) Consiglio;Richar d; (Neuchatel, CH) 721997 16.11.2005 22.10.2009 | Measuring Head for Nanoindentation Instrument and Method Using Same | действует |
| | Патент США 6,978,664 G01N3/34 | The United Statea of America as represented by the Secretary of the Air Force (Washington,DC) 10/713,131 17.11.2003 27.12.2005 | Dual function indenter | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|---|--|---|--|--|
| | РОССИЯ Патент № 2126536 G01N3/40 | НТЦ «Сверхтвердые материалы» Бланк В.Д., Попов М.Ю., Дубицкий Г.А., Буга С.Г., Львова Н.А., Гоголинский К.В., Решетов В.Н. Дата подачи заявки 2002.11.05 Опубликовано 2004.01.27 | Наконечник для измерения механических параметров материалов. | действует |
| | РОССИЯ Патент № 2108561 G01N3/40 | Закрытое акционерное общество "НТЕ" Решетов В.Н.; Гоголинский К.В. 18.11.1996 10.04.1998 | Устройство для измерения механических характеристик материалов | действует |
| | РОССИЯ Патент № 2313776 G01N3/00 | ФГУ ТИСНУМ Бланк В.Д.; Гоголинский К.В.; Решетов В.Н.; Сошников А.И.; Терентьев С.А. 27.04.2006 27.12.2007 | Зондовое устройство | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|---|--|--|--|--|
| | РОССИЯ Патент № 2425356 G01N3/40 | ФГУ ТИСНУМ Гоголинский К.В.; Решетов В.Н.; Круглов Е.В. 18.11.2009 27.07.2011 | Устройство для измерения физико- механических свойств материалов | действует |
| | РОССИЯ Патент № 2442131 G01N3/40 | ФГБНУ ТИСНУМ Гоголинский К.В.; Решетов В.Н.; Мещеряков В.В.; Мелекесов Э.В.; Усеинов А.С. 21.07.2010 10.02.2012 | Устройство для измерения параметров рельефа поверхности и механических свойств материалов | действует |
| | РОССИЯ Патент на полезную модель № 96429 G01N3/48 G01N3/42 | ФГУ ТИСНУМ Лысенко В.Г.; Кузнецов А.П.; Усеинов А.С.; Решетов В.Н.; Мещеряков В. В.; Мелекесов Э.В.; Гоголинский К.В. 23.03.2010 27.07.2010 | Сканирующий зондовый микроскоп- нанотвердомер, совмещенный с оптической системой линейных измерений | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|---|--|--|--|--|
| | РОССИЯ Патент на полезную модель № 96428 G01N3/40 G01N3/42 G01N3/48 | ФГБНУ ТИСНУМ Гоголинский К.В.; Решетов В.Н.; Мещеряков В.В.; Мелекесов Э.В.; Усеинов А.С. 18.03.2010 27.07.2010 | Сканирующий нанотвердомер | действует |
| | РОССИЯ Патент № 229029 G01N3/08 | Институт прикладной механики УрО РАН (RU) Вахрушев А.В., Липанов А.М., Шушков А.А. 2005.05.06/2007. 01.20 | Способ определения модуля упругости юнга материалов | действует |
| | РОССИЯ Патент № 2310183 G01N3/00 | Институт проблем материаловеден ия им. И.Н. Францевича Национальной академии наук Украины (UA) Бякова А.В., Мильман Ю.В., Власов А.А., Чугунова С.В., Гончарова И.В., Голубенко А.А. 2005.12.21/ 2007.11.10 | Способ определения остаточных напряжений | действует |

| Предмет поиска (объект исследования, его составные части) | Страна выдачи, вид и номер охранного документа, классификацион ный индекс | Заявитель (патентобладате ль) Страна. Номер заявки, Дата приоритета, дата публикации в бюлл. | Название изобретения | Сведения о действии охранног о документ а или причины его аннулиро вания |
|--|--|--|--|--|
| | Заявка США 20090165537 A1 G01N3/48; | Industrial Technology Research Institute Hsinchu TW 230340 28.09. 2008 02.07.2009 | Device and method for optical nanoindentation measurement | действует |
| | Патент Японии 2014240851 G01N3/42 | Iwatsubo Satoshi; Obata Tsutomu; Katayama Shigeo 20140204876 03.10.2014 25.12.2014 | Indenter for nano indentation test and manufacturing method thereof | действует |
| | Патент ES2283169 G01N3/42 | Gil Sevillano Javier; Martinez Esnaola Jose Manuel ES20040002595 16.10.2007 28.10.2004 | Nano-indenter device for measuring elastic modules of young, has combination of indentation with penetrator of combined pyramidal end has torsion, apart from measuring penetration | действует |

ПРИЛОЖЕНИЕ ЕГ. ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

ЕГ.1 Технический уровень и тенденции развития объекта хозяйственной деятельности

Форма ЕГ.1.1 Показатели технического уровня объекта техники

| * | Значения показателей | | | | | | | | |
|---|----------------------------|---|---|--|--|--|--------------------------------------|--|---|
| | Наименование показателей | Объект разработки (производства) на 2019 г. | Отечественные и зарубежные объекты аналогичного назначения (с указанием моделей фирм, стран, года известности) Возможность и эффективность их использования для решения задач поставленных в ТЗ на ПНИ | | | | Объект по государственному стандарту | Международные и национальные стандарты | Прогноз на 2020 г. |
| 1 | 2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.5 | 4 | 5 | 6 |
| | | TI 900 TriboIndenter Hysitro, США, 2004г. | Nanoindenter G200 Agilent Technologies, США, 2006г. | NanoHardnessTester CSM-Instruments, Швейцария 2007г. | DUH-211/211S, SHIMADZU, Япония, 2009г. | НаноСкан 3D, Россия, 2011г. | Измерительный прибор | измерительный прибор | |
| техно-экономические | динамический нанотвердомер | высокое соотношение цена/качество | высокое соотношение цена/качество | высокое соотношение цена/качество | хорошее соотношение цена/качество | хорошее соотношение цена/качество | -#- | -#- | Создание и использование динамического нанотвердомера |
| эффективность использования по назначению | динамический нанотвердомер | невозможно использовать в ПНИ | невозможно использовать в ПНИ | невозможно использовать в ПНИ | невозможно использовать в ПНИ | возможно использование в ПНИ отдельных узлов прибора | -#- | -#- | Создание и использование динамического нанотвердомера |
| технические | динамический нанотвердомер | превосходят | превосходят | соответствуют | хуже требуемых | соответствуют | -#- | -#- | Создание и использование динамического нанотвердомера |
| эргономические | динамический нанотвердомер | не соответствуют | не соответствуют | не соответствуют | не соответствуют | не соответствуют | -#- | -#- | Создание и использование динамического нанотвердомера |
| Импортозависимость | динамический нанотвердомер | высокая | высокая | средняя | средняя | низкая | -#- | -#- | Создание и использование динамического нанотвердомера |

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Проект

СОГЛАСОВАНО
Генеральный директор
ОАО «Тяжпрессмаш»


/ А.М. Володин
31 декабря 2019 г.


СОГЛАСОВАНО
Врио директора
ФГБНУ ТИСНУМ


/ С.А. Терентьев
31 декабря 2019 г.


ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение опытно-конструкторских работ (ОКР) по теме:
«Разработка промышленного производства портативного оборудования для
роботизированного технологического контроля геометрических и механиче-
ских характеристик материалов и изделий, применяемых в машинострои-
тельной и атомной отраслях»

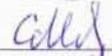
ПРОВЕРЕНО

Заведующий отделом  А.С. Усеинов

РАЗРАБОТАНО

Вед. науч. сотр.  В.Н. Решетов

Науч. сотр.  И.И. Маслеников

Мл. науч. сотр.  С.Л. Мелекесова

Науч. сотр.  К.С. Кравчук

НОРМОКОНТРОЛЕР

 В.В. Соловьев

1. Основание для проведения ОКР и сроки (периоды) выполнения работ

1.1 Решение комиссии _____.

1.2 Сроки выполнения работ:

Начало работ: с « ___ » _____ 20 ____ года

Срок окончания работ: « ___ » _____ 20 ____ года.

2. Исполнитель ОКР

Приводится полное наименование организации-исполнителя, почтовый адрес.

3. Цель выполнения ОКР

Создание серийного специализированного портативного твердомера, обеспечивающего возможность оперативного роботизированного контроля рельефа поверхности, твердости, модуля упругости, предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения широкого круга конструкционных материалов и функциональных покрытий, применяемых в машиностроительной и авиакосмической отраслях.

4. Назначение продукции

4.1 Разрабатываемый серийный портативный роботизированный твердомер, использующий принципы инструментального индентирования (instrumented Portable Robotic Tester for Hardness, далее - iPoRTH), предназначен для контроля в автоматическом режиме механических свойств на крупногабаритных элементах узлов и агрегатов изделий и механизмов, применяемых в машиностроительной и атомной отраслях, в том числе на габаритных заготовках, трубопроводах, элементах конструкции атомных и тепловых электростанций, а также функциональных металлических и композиционных гетерофазных конструкционных материалов нового поколения и деталей сложной формы, в том числе, полученных с использованием аддитивных технологий.

5. Технические требования

5.1 Состав продукции

5.1.1 В состав разрабатываемого оборудования iPoRTH должны входить:

- индентационный измерительный модуль;
- измерительный модуль оперативного контроля;
- цифровой оптический микроскоп;
- оптический конфокальный профилометр;
- система крепления и позиционирования измерительных модулей;
- электронный блок управления;
- комплект тестовых образцов твердости и шероховатости;
- управляющее программное обеспечение;

5.1.2 Измерительный модуль оперативного контроля должен быть оснащен радиоэлектронным обеспечением и автономным источником питания.

5.1.3 Комплект тестовых образцов твердости и шероховатости должен представлять набор образцов, обладающих заданным значением твердости и набор образцов с заданными значениями параметров шероховатости.

5.1.4 Управляющее программное обеспечение прибора iPoRTH должно включать:

- пользовательское ПО вычислительного блока сбора, обработки данных для визуализации и администрирования результатов измерений;
- встроенное ПО электронного блока управления;
- встроенное ПО измерительного модуля оперативного контроля.

5.1.5 Окончательный состав продукции уточняется в процессе разработки и согласовывается с заказчиком на этапе 4 календарного плана.

5.2 Требования к показателям назначения

5.2.1 Выполняемые функции

5.2.1.1 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен обеспечивать:

- измерение твердости и модуля упругости (Юнга) методом инструментального индентирования в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 и ISO 14577 (1-4);
- предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения методом вдавливания сферического наконечника в соответствии с ГОСТ Р 56232-2014;
- измерение размера отпечатка бесконтактным оптическим способом.

5.2.1.2 В приборе iPoRTH должны быть реализованы следующие способы проведения измерений:

- инструментальное индентирование;
- многоцикловое индентирование с частичным снятием нагрузки;
- оптическая микроскопия;
- оптическая профилометрия.

5.2.1.3 Встроенные системы оптического контроля iPoRTH должны позволять контролировать геометрические параметры исследуемой поверхности, площадь и глубину отпечатка, оставленного на материале в ходе инструментального индентирования наконечниками сферообразной геометрии.

5.2.1.4 Блоки специализированного радиоэлектронного обеспечения должны позволять осуществлять работу прибора в автономном режиме, включая процедуру поиска поверхности, регистрацию ряда измеряемых сигналов и их обработку, в автоматическом режиме с индикацией результатов на встроенном дисплее или внешнем электронном устройстве, связанном по проводному или беспроводному цифровому интерфейсу с прибором iPoRTH.

5.2.1.5 Все данные, записанные в процессе проведения измерений, должны храниться в цифровом виде на жестком диске персонального компьютера и должны быть доступны для последующей обработки.

5.2.2 Нормы и количественные показатели

5.2.2.1 Методика измерения твердости и модуля упругости, реализованная в приборе iPoRTH, должна обеспечивать измерение следующих параметров:

- твердость НТ в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 0,2 до 25 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \text{НТ} + 0,1 \text{ ГПа})$;

- модуль упругости ЕТ в соответствии с ГОСТ Р 8.748-2011 в диапазоне значений от 3 до 450 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \text{ЕТ} + 0,5 \text{ ГПа})$;

5.2.2.2 Методика измерения предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения, реализованная в приборе iPoRTH, должна обеспечивать измерение следующих параметров:

- предела текучести σ_T в диапазоне значений от 0,1 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times \sigma_T + 20 \text{ МПа})$;

- коэффициента деформационного упрочнения k в диапазоне значений от 0,5 до 1,5 ГПа с погрешностью $\pm (0,1 \times k + 20 \text{ МПа})$;

- показателя деформационного упрочнения n с погрешностью $\pm (0,15 \times n + 0,01)$;

5.2.2.3 Методика измерения высоты формы и шероховатости рельефа поверхности, реализованная в приборе iPoRTH, должна обеспечивать измерение следующих параметров:

- высота формы рельефа поверхности h в диапазоне от 0,1 до 150 мкм с относительной погрешностью $\pm (0,03 \times h + 50 \text{ нм})$;

- измерение шероховатости R_a должна производиться на линейной базе до 1 мм с латеральным разрешением не более 5 мкм;

- измерение шероховатости R_a должно проводиться методом конфокальной микроскопии;

- диапазон измерения шероховатости R_a от 0,2 до 4,6 мкм;

- погрешность измерения шероховатости R_a 0,1 мкм.

5.2.3 Технические характеристики (параметры)

5.2.3.1 Прибор iPoRTH должен иметь возможность автономного функционирования, будучи установленным на произвольную систему позиционирования, обеспечивающую подвод измерительного индентора с точностью не менее 1 мм на расстояние не более 5 мм к исследуемой поверхности.

5.2.3.2 Прибор iPoRTN должен иметь возможность автономного функционирования при жесткой установке его на объект исследования.

5.2.3.3 Проведение всех предусмотренных измерений с помощью прибора iPoRTN должно осуществляться с использованием электронного блока управления, все результаты исследований должны сохраняться в цифровом виде на электронном носителе.

5.2.3.4 Прибор iPoRTN должен обеспечивать измерение всех перечисленных в п.5.2.2 количественных показателей с оговоренной точностью в условиях изменения температуры окружающего воздуха в диапазоне от минус 10°C до плюс 30°C, атмосферного давления от 700 до 760 мм рт. ст., относительной влажности от 20% до 80% и интегральном уровне сейсмического и вибрационного шума в диапазоне частот от 1 до 100 Гц по параметру колебательного ускорения не более 10 мм/с².

5.2.3.5 В измерительном модуле индентирования должны использоваться сферические или сферообразные (сфероконические или иные) наконечники с радиусом кривизны кончика от 300 мкм до 2,5 мм.

5.2.3.6 В модуле оперативного контроля должны использоваться наконечники в форме пирамиды Берковича с углом между высотой и гранью $65,3 \pm 0,3^\circ$.

5.2.3.7 Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца в режиме измерения твердости и модуля упругости должен составлять от 5 до 5000 мН в зависимости от свойств исследуемого материала и толщины функционального покрытия. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm(0,1 \times P + 1 \text{ мН})$.

5.2.3.8 Измеряемый диапазон прикладываемой нагрузки P на поверхность образца в режиме измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация должен составлять от 1 до 3000 Н в зависимости от свойств исследуемого материала и толщины функционального покрытия. Точность задания усилия при индентировании P должна быть в пределах $\pm(0,1 \times P + 0,5 \text{ Н})$.

5.2.3.9 Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения твердости и модуля упругости, должен составлять от 0,5 до 25 мкм. Точность измерения глубины погружения при индентировании d должна быть в пределах $\pm(0,1 \times d + 0,1 \text{ мкм})$.

5.2.3.10 Измеряемый диапазон погружения индентирующего наконечника d в режиме измерения диаграммы нагрузка-пластическая деформация в зависимости от механических свойств исследуемого материала и толщины покрытия, должен составлять от 1 мкм до 1 мм. Точность измерения итоговой глубины погружения d при индентировании должна быть в пределах $\pm(0,1 \times d + 0,5 \text{ мкм})$.

5.2.3.11 Время проведения единичного измерения должно варьироваться в интервале от 10 до 300 секунд в зависимости от вязкоупругих и пластических свойств исследуемого материала. Точность задания времени нагружения должна быть в пределах 10% от полного времени измерения.

5.2.3.12 Вес измерительного модуля оперативного контроля должен быть не более 3 кг, время автономной работы на встроенном источнике электропитания должно составлять не менее 10 часов, при условии, что за это время осуществляется не более 300 инструментальных индентирований, время зарядки встроенного аккумулятора не более 4 часов. При работе от внешнего источника питания время непрерывной работы прибора и число циклов инструментального индентирования не ограничены.

Вес индентационного измерительного модуля должен быть не более 15 кг.

5.2.3.14 Диапазон прикладываемого к области контакта напряжения должен составлять не менее от минус 2 до плюс 2 В, с разрешением не более 1 мВ.

Диапазон регистрируемых значений тока должен составлять не менее 100 мА с разрешением не более 10 мкА.

5.2.3.15 Прибор iPoRTN должен обеспечивать измерение всех перечисленных в п.5.2.2 количественных показателей с оговоренной точностью при соответствии геометрических параметров исследуемых образцов следующим требованиям:

размер области исследования на поверхности образца должен быть не менее 5 мм в произвольных направлениях перпендикулярных направлению индентирования;

радиусы кривизны индентируемых поверхностей должны быть больше 200 мм для выпуклых образцов и больше 1 м для вогнутых и седлообразных;

толщина образца в исследуемой области должна быть не менее 10 мм;

параметр волнистости в исследуемой области W_z должен быть не более 20 мкм;

для измерений твердости и модуля упругости согласно ГОСТ Р 8.748-2011 параметр шероховатости R_a должен удовлетворять рекомендациям данного стандарта для выбранных рабочих диапазонов нагрузок и глубин индентирования;

для измерения зависимости напряжение–пластическая деформация, а также соответствующих данной величин: предела текучести, коэффициента и показателя деформационного упрочнения параметр R_a должен быть не более 5 мкм;

наклон поверхности образца относительно плоскости, перпендикулярной направлению индентирования, должен быть не более 3° .

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

Требования не устанавливаются.

5.2.5 Требования к совместимости

Требования не устанавливаются.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемый прибор iPoRTN должен быть выполнен в портативном исполнении.

5.3 Требования к электропитанию

5.3.1 Электропитание разрабатываемого прибора iPoRTH должно осуществляться от 1-фазной электросети $50 \text{ Гц} \pm 5\%$ $220 \text{ В} \pm 10\%$ в соответствии с ГОСТ 13109-97.

5.3.2 Потребляемая мощность iPoRTH в рабочем режиме должна составлять 500 Вт, не более.

5.3.3 Пиковая мощность iPoRTH в рабочем режиме должна составлять 1000 Вт, не более.

5.4 Требования надежности

5.4.1.1 Безотказная работа разрабатываемого прибора iPoRTH в целом определяется надежностью каждого из модулей, входящих в состав прибора, а также надежностью связывающих их аппаратных интерфейсов.

5.4.1.2 Прибор iPoRTH должен удовлетворять следующим требованиям надежности:

- вероятность безотказной работы 0,95, не менее;
- средняя наработка датчика на отказ 1000 часов, не менее;
- среднее время восстановления 1 час, не более;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемый прибор iPoRTH должен удовлетворять следующим требованиям:

- срок службы между средними (капитальными) ремонтами 2 года, не менее;
- срок службы до списания 10 лет, не менее.

5.4.3 Требования по сохраняемости

Разрабатываемый СНП должен удовлетворять следующему требованию:

- средний срок сохраняемости 3 года, не менее.

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемого прибора iPoRTH считают:

- невозможность включения iPoRTH;
- сообщение об ошибке при проведении измерительных процедур;
- невозможность проведения измерений в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

5.4.4.2 Предельным состоянием разрабатываемого iPoRTH считают:

- отклонение измеренных значений при проведении калибровки прибора более чем на 15%, но менее чем на 20% от приписанных тестовым образцам;
- снижение наработки на отказ ниже уровня, установленного требованиями п. 5.4.1.2 настоящего технического задания: средняя наработка датчика на отказ 1000 часов, не менее.
- превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 Подтверждение требований п.п. 5.4.1 - 5.4.4 настоящего технического задания проводится:

- расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- экспериментальным (расчетно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком - на этапе приемочных испытаний.

5.5 Конструктивные требования

5.5.1 Предельно допустимая масса iPoRTH в снаряженном состоянии не должна превышать:

- для системы крепления и позиционирования измерительных модулей: 25 кг;
- для индентационного измерительного модуля: 15 кг;
- для измерительного модуля оперативного контроля: 15 кг;
- для электронного блока управления: 10 кг.

5.5.2 Индентационный измерительный модуль должен проводить измерения

путем вдавливания сферообразного наконечника (сфероконического или иного).

5.5.3 Измерительный модуль оперативного контроля должен проводить измерения путем вдавливания наконечника, выполненного в форме пирамиды Берковича.

5.5.4 Измерительный модуль оперативного должен регистрировать измеряемые сигналы, проводить их обработку в автоматическом режиме с индикацией результатов измерения на встроенном дисплее или внешнем электронном устройстве, связанным по проводному или беспроводному цифровому интерфейсу с вычислительным блоком.

5.5.5 Система крепления и позиционирования измерительного модуля индентирования должна обеспечивать жесткую посадку измерительного блока на линейном трансляторе или другом исполнительном механизме, используемом для взаимного перемещения измерительного блока и исследуемого образца, а также при жесткой установке измерительного модуля на объект исследования с помощью магнитных или немагнитных систем крепления.

5.5.6 Система крепления или позиционирования должна обеспечивать взаимное перемещение измерительного блока и образца, а также подвод наконечника индентора к исследуемой поверхности на рабочее расстояние.

5.5.7 Электронный блок управления должен осуществлять измерение, первичную обработку данных, передачу информации в вычислительный блок сбора и обработки данных, а также регулировку, развертку и поддержание заданного уровня сигналов, управление системой позиционирования.

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

По эргономике и технической эстетике разрабатываемый прибор iPoRTH должен соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108-85.

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

5.7.1.1 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен быть стойким и устойчивым к воздействию климатических факторов в соответствии с таблицей В1:

Таблица В1. Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

| № п/п | Наименование воздействующего фактора | Характеристика воздействующего фактора | Максимальное значение (диапазон возможных изменений) воздействующего фактора |
|---------------------|--------------------------------------|--|--|
| Стойкость | | | |
| 1 | Температура окружающей среды | °С | 5-50 |
| 2 | Влажность воздуха | Относительная влажность при температуре 25 °С, % | < 85 |
| 3 | Атмосферное давление | Па (мм рт. ст.) | 720-790 |
| Устойчивость | | | |
| 4 | Температура окружающей среды | °С | 5-50 |
| 5 | Влажность воздуха | Относительная влажность при температуре 25 °С, % | < 85 |
| 6 | Атмосферное давление | Па (мм рт. ст.) | 720-790 |

5.7.1.2 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен соответствовать группе механического исполнения М13 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен обслуживаться персоналом в количестве 1 чел., прошедшим обучение работе на приборе и инструктаж

по технике эксплуатации.

5.7.2.2 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен обеспечивать непрерывную работу с остановкой на обслуживание и юстировку не менее, чем через 168 часов.

5.7.2.3 Гарантийный срок разрабатываемого прибора iPoRTH должен составлять 1 год, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

Ремонт прибора iPoRTH осуществляется производителем, ремонт в условиях промышленной эксплуатации не предусматривается.

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемого прибора iPoRTH по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0-75.

5.8.2 Разрабатываемый прибор iPoRTH при монтаже, наладке и обслуживании должен соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-91 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3 Условия работы персонала разрабатываемого прибор iPoRTH должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.9 Требования к упаковке и маркировке

5.9.1 Требования к упаковке

Методы и средства консервации и упаковки должны соответствовать требованиям ГОСТ 9.014-78 и обеспечивать сохраняемость без обслуживания в режимах и сроках, соответствующих п.5.4.3 настоящего технического задания.

5.9.2 Требования к маркировке

5.9.2.1 Маркировка должна наноситься на несъемных частях в местах, доступных для обзора.

5.9.2.2 Надписи, цифры, буквы и знаки, нанесенные при маркировке, должны быть хорошо видны, и сохранять четкость в течение всего срока эксплуатации.

5.9.2.3 Маркировка упаковки для транспортирования должна содержать основные, дополнительные, информационные надписи и манипуляционные знаки «Хрупкое», «Осторожно» и «Беречь от влаги».

5.10 Требования к консервации, хранению и транспортированию

5.10.1 Составные части разрабатываемого прибора iPoRTH должны храниться в упакованном виде в отопляемых и вентилируемых помещениях при температуре от 10 до 35 °С и относительной влажности воздуха не выше 85 % (при температуре 25 °С) при отсутствии в этих помещениях конденсации влаги, паров химически активных веществ и источников мощных электромагнитных полей;

5.10.2 Гарантийный срок хранения разрабатываемого прибора iPoRTH в условиях отопляемых хранилищ не менее 1 года.

5.10.3 Транспортировка разрабатываемого прибора iPoRTH должна осуществляться в разобранном по составным частям (модулям) виде в специальном ударопрочном контейнере (чемодане).

5.11 Требования стандартизации, унификации и каталогизации

Разработка должна вестись с учетом технической и экономической обоснованной унификации, стандартизации и взаимозаменяемости используемых деталей и узлов.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по метрологическому обеспечению

6.1.1 Метрологическое обеспечение разрабатываемого прибора iPoRTH должно включать в себя совокупность организационных мероприятий, технических средств, требований, положений, правил, норм и методик, необходимых для обеспечения единства измерений и требуемой точности измерений и вычислений.

6.1.2 В ходе выполнения работы должна быть проведена метрологическая экспертиза технической документации в соответствии с требованиями РМГ 63-2003. Документы по результатам метрологической экспертизы должны быть оформлены установленным порядком и включены в состав отчетной документации, предъявляемой Заказчику.

6.2 Требования по программному обеспечению

6.2.1 В состав программного обеспечения (ПО) разрабатываемого прибора iPoRTH должны входить следующие программные подсистемы и компоненты:

- пользовательское ПО вычислительного блока сбора, обработки данных для визуализации и администрирования результатов измерений;
- встроенное ПО электронного блока управления;
- встроенное ПО измерительного модуля оперативного контроля.

6.2.2 Язык интерфейса пользователя – русский, английский.

7. Требования к документации

7.1 На первом этапе работ должна быть разработана и согласована с Заказчиком «Комплектность технической документации, разрабатываемой в рамках ОКР».

7.2 Техническая (конструкторская, технологическая, программная, эксплуатационная) документация должна соответствовать требованиям стандартов ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД.

7.3 Перечень другой отчетной документации, подлежащей оформлению и сдаче Исполнителем Заказчику на этапах выполнения работ, определяется требованиями нормативных актов Заказчика.

7.4 Техническая и другая отчетная документация представляется Заказчику или уполномоченной им организации на бумажном носителе в двух экземплярах и в электронном виде на оптическом носителе в одном экземпляре.

8 Специальные требования

8.1 Требования к испытаниям

8.1.1 Для подтверждения и проверки выбранных конструктивно-схемных, конструктивно-технологических и технических решений, а также требований надежности и других, предъявляемых к разрабатываемому прибору iPoRTH, его составным частям (сборочным единицам) должны быть изготовлены и испытаны следующие макеты:

1) на этапе Технического предложения:

- макет системы крепления и позиционирования измерительных модулей;
- макет модуля оперативного контроля;

2) на этапе Эскизного проекта:

- макет электронного блока управления;

3) на этапе Технического проекта:

- макет индентационного измерительного модуля.

8.1.2 Испытания макетов должны быть проведены по утвержденным программам и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.3 Для подтверждения соответствия разрабатываемой продукции требованиям настоящего технического задания и нормативно-технической документации должны быть проведены следующие испытания опытного образца разрабатываемого прибора iPoRTH:

- предварительные испытания с целью оценки соответствия опытного образца продукции требованиям настоящего технического задания, а также для определения готовности опытного образца к приемочным испытаниям;

- приемочные испытания с целью оценки всех определенных настоящим техническим заданием характеристик продукции, проверки и подтверждения соответствия опытного образца продукции требованиям технического задания в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации продукции, а также для принятия решений о возможности промышленного производства и реализации продукции.

8.1.4 Для проведения испытаний должно быть изготовлено следующее количество опытных образцов разрабатываемого прибора iPoRTH:

- для предварительных испытаний – 3 шт.;
- для приемочных испытаний - 3 шт.

8.1.5 Предварительные испытания опытных образцов разрабатываемых приборов iPoRTH должны быть проведены по утвержденным программам и методикам головного исполнителя ОКР.

8.1.6 Приемочные испытания опытных образцов разрабатываемых приборов iPoRTH должны быть проведены по утвержденным программам и методикам головного исполнителя ОКР, согласованным с Заказчиком.

8.1.7 Для проведения испытаний должна быть разработана оснастка, предназначенная для:

- установки и управления работой измерительных модулей;
- контроля результатов испытаний, отработки измерительных процедур;
- калибровки сигналов нагрузки в диапазоне до 3 кН;
- калибровки линейных перемещений по одной координате в диапазоне от 0,01 до 1 мм;
- контроля формы алмазного индентора методами оптической и атомно-силовой микроскопии.

9 Технико-экономические требования

9.1 Основные технико-экономические требования

9.1.1 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен обеспечить следующие социально-экономические эффекты:

- совершенствование эксплуатационных характеристик в части надежности и долговечности машиностроительных изделий;
- усовершенствование тактико-технических характеристик авиакосмических изделий;
- стимулирование разработки новых методов контроля качества материалов и соответствующего метрологического и испытательного оборудования;
- стимулирование создания новых или существенного усовершенствования традиционных методов контроля качества изделий;
- повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции;
- улучшение потребительских свойств существующей продукции;
- усиление конкурентных позиций отечественных науки и производства.

9.1.2 Разрабатываемый прибор iPoRTH должен быть ориентирован на коммерческое применение в следующих областях:

- контроль качества и эксплуатационных характеристик изделий в машиностроительной и авиакосмической отраслях;
- разработка новых конструкционных и функциональных материалов;
- измерение физико-механических характеристик тонких пленок, покрытий и слоев;
- контроль параметров наноструктурированных материалов используемых в обрабатывающем инструменте.

Разрабатываемый прибор iPoRTH должен являться конкурентоспособным на мировом рынке.

9.1.3 Должны быть проведены маркетинговые исследования состояния рынка аналогов разрабатываемой продукции и разработано обоснование социально-экономической эффективности использования результатов ОКР;

9.1.4 Должен быть разработан бизнес-план производства разработанной продукции.

9.2 Требования к достижению программных индикаторов и показателей

В процессе выполнения ОКР должны быть достигнуты значения программных индикаторов и показателей:

Заполняется в соответствии с требованиями Заказчика

10 Требования к патентной чистоте и патентоспособности

10.1 На 1 и 3 этапах работы должны быть проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

10.2 Патентная чистота на методы изготовления и конструктивные решения должна быть обеспечена в отношении Российской Федерации и стран, куда возможна поставка изделий, а также передача технической, информационной и другой документации.

11 Перечень, содержание, сроки выполнения и стоимость этапов

11.1 Наименование этапов и выполняемые работы

Этап 1. Техническое предложение

1.1 Разработка и согласование с Заказчиком «Комплектности технической документации, разрабатываемой в рамках ОКР»

1.2 Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96

1.3 Разработка технического предложения на прибор iPoRTH, в том числе:

- проработка результатов предшествующих ПНИЭР;
- проработка результатов прогнозирования развития портативных приборов для оперативного контроля механических характеристик;
- предварительные расчеты элементов конструкции прибора iPoRTH;
- сравнительная оценка рассматриваемых вариантов реализации прибора iPoRTH;
- обоснование и выбор оптимального варианта технического решения поставленной задачи.

- 1.4 Разработка РКД на макетов системы крепления и позиционирования измерительных модулей и модуля оперативного контроля прибора iPoRTH.
- 1.5 Изготовление макетов системы крепления и позиционирования измерительных модулей и модуля оперативного контроля прибора iPoRTH.
- 1.6 Разработка программы и методики испытаний макетов системы крепления и позиционирования измерительных модулей и модуля оперативного контроля прибора iPoRTH.
- 1.7 Разработка РКД на макет электронного блока управления прибора iPoRTH.
- 1.8 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями технического задания и актов Заказчика.

Этап 2. Эскизный проект

- 2.1 Изготовление макета электронного блока управления прибора iPoRTH.
- 2.2. Разработка эскизного проекта на прибор iPoRTH, в том числе:
 - исследование, обоснование и формулировка назначения, области применения и основных технических характеристик прибора iPoRTH;
 - проведение ориентировочных расчетов по показателям работоспособности, надежности изделия и экономическим показателям;
 - проведение оценки конструкции прибора iPoRTH по показателям технологичности, стандартизации и унификации.
- 2.3 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями технического задания.

Этап 3. Технический проект. Разработка рабочей конструкторской документации

- 3.1 Проведение патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.
- 3.2 Разработка технического проекта на прибор iPoRTH.
- 3.3 Разработка РКД для изготовления макета индентационного измерительного модуля прибора iPoRTH.

3.4 Изготовление макета индентационного измерительного модуля прибора iPoRTH.

3.5 Разработка технического проекта ПО, в том числе разработка структуры программных компонентов и ПО:

- пользовательского ПО вычислительного блока сбора, обработки данных для визуализации и администрирования результатов измерений;
- встроенного ПО электронного блока управления;
- встроенного ПО измерительного модуля оперативного контроля.

3.6. Разработка рабочей конструкторской документации на прибор iPoRTH, в том числе:

- разработка проекта ТУ и эксплуатационной документации.

3.7 Разработка рабочего проекта ПД.

3.8 Проведение метрологической экспертизы технической документации в соответствии с требованиями РМГ 63-2003.

3.9 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями Технического задания.

Этап 4. Изготовление опытного образца и проведение предварительных испытаний

4.1 Разработка программы и методик предварительных испытаний опытного образца прибора iPoRTH.

4.2 Разработка РКД на оснастку для проведения испытаний.

4.3 Изготовление оснастки для проведения испытаний.

4.4 Разработка рабочей ТД на сборку прибора iPoRTH.

4.5 Проведение предварительных испытаний прибора iPoRTH

4.6 Изготовление опытного образца прибора iPoRTH.

4.7 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями ТЗ.

Этап 5. Проведение приемочных испытаний.

5.1 Корректировка РКД, РПД, ЭД, РТД на прибор iPoRTH по результатам

предварительных испытаний с присвоением литеры «О».

5.2 Разработка программы и методик приемочных испытаний.

5.3 Проведение приемочных испытаний опытного образца прибора iPoRTH.

5.4 Корректировка РКД, РПД, ЭД, РТД на прибор iPoRTH по результатам приемочных испытаний с присвоением литеры «О1».

5.5 Разработка отчетной документации в соответствии с требованиями ТЗ.

11.2 Разрабатываемые документы, сроки исполнения и финансирование по этапам

Перечень документов, разрабатываемых на этапах выполнения ОКР, сроки исполнения и контрактная цена приводятся в календарном плане.

12 Порядок приемки этапов ОКР

12.1 Работы должны выполняться поэтапно в соответствии с требованиями ГОСТ Р 15.201-2000. Требования к этапам выполнения ОКР установлены в разделе 11.1 настоящего технического задания.

12.2 Сдача и приемка выполненных работ (этапов работ) осуществляется в порядке, установленном актами Заказчика, и в соответствии с требованиями настоящего технического задания.

От Исполнителя

От Заказчика

Должность

Должность

_____ ФИО

_____ ФИО

М.П.

М.П.