

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

SibTest – 2019

Сборник тезисов докладов
V Международной конференции
по инновациям в неразрушающем контроле

26–28 июня 2019 г.

Томск 2019

УДК 620.179.1(063)
ББК 30.82 л0)
И66

SibTest – 2019 : сборник тезисов докладов V Международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 106 с.

ISBN 978-5-4387-0881-0

В сборнике представлены материалы V Международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле SibTest, проходившей в Екатеринбург (Россия) на базе Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН 26–28 июня 2019 г. Более 100 авторов из 15 городов России, а также из Германии, Китая, Казахстана представили тезисы своих докладов, в которых рассматриваются инновационные методы неразрушающего контроля и применение передовых технологий в современных средствах неразрушающего контроля, а также развитие кооперации ученых различных стран в проведении научных исследований, разработке и внедрении инновационных технологий в неразрушающем контроле.

УДК 620.179.1(063)
ББК 30.82 л0

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН
Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике
ООО «ИнТех»
ООО «Фотон»

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Современные системы и технологии в неразрушающем контроле
Секция 2. Материаловедение и электронные технологии
Секция 3. Методы и средства диагностики в медицине

ISBN 978-5-4387-0881-0

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. Современные системы и технологии в неразрушающем контроле	9
Влияние расхода газа на результат измерения газовых смесей <i>Аймагамбетова Раушан Жанатовна, Стукач Олег Владимирович</i>	10
Construction of simulating analogs of ventilation networks by base points <i>Assel D. Nurgaliyeva, Nuriya N. Akimbekova, Gulmira S. Sattarova, Alma Zh. Ahmetova, Zhorzh G. Levitskiy</i>	13
Применение вейвлет – фильтрации для компенсации фоновых засветок <i>Моргунов Юрий Юрьевич, Якунин Алексей Григорьевич</i>	14
Контроль эксплуатационных повреждений и напряженного состояния конструкций из низколегированных сталей <i>Балина Ольга Владимировна, Нассонов Валерий Викторович</i>	15
Особенности ближнепольного интерференционного СВЧ микроскопа на основе явления нарушенного полного внутреннего отражения <i>Беличенко Виктор Петрович, Запасной Андрей Сергеевич, Мироньчев Александр Сергеевич, Клоков Андрей Владимирович, Матвиевский Ефим Владимирович</i>	16
Аппаратно-программная система магнитного структурного анализа <i>Костин Владимир Николаевич, Василенко Ольга Николаевна, Бызов Александр Викторович</i>	17
Технология получения первичных томографических данных в контроле сильнопоглощающих объектов из УУКМ <i>Волчкова Анастасия Валентиновна, Капранов Борис Иванович</i>	18
Применение ROC-анализа для оценки функциональных характеристик цифровых детекторов <i>Галкин Денис Игоревич, Иванайский Евгений Анатольевич, Сорокин Александр Сергеевич, Шубочкин Андрей Евгеньевич</i>	19
Волоконно-оптические сенсорные системы в неразрушающем контроле «умного города» <i>Гизеев Марсель Мунирович, Денисенко Павел Евгеньевич, Нуреев Ильнур Ильдарович</i>	20
Волоконные брэгговские структуры в специальных типах двулучепреломляющих волокон <i>Гимадиева Алина Равилевна, Фасхутдинов Ленар Маликович, Нуреев Ильнур Ильдарович</i>	21
Информативные возможности вихретоковой томографии <i>Гольдштейн Александр Ефремович</i>	22
Экспериментальная установка для измерения скорости упругих волн с высокой точностью <i>Гуцина Лилия Владимировна, Муравьев Виталий Васильевич, Злобин Денис Владимирович, Земсков Тимур Иванович, Нуриев Вадим Фадисович, Безрученков Георгий Владимирович</i>	23
Алгоритм пространственно-временной обработки в частотной области для ультразвуковой томографии с использованием матричных антенных решеток <i>Долматов Дмитрий Олегович, Седнев Дмитрий Андреевич</i>	24
Study of the aerodynamic parameters of the installation, generating wind flow in open space <i>Duisenbayeva Moldir Serikbekovna, Neshina Yelena Gennadiyevna, Madi Perizat Shaimuratovna, Abiljanova Fariza Bolatovna, Dyussembina Aigerim Galymovna, Kenzhebek Aksaule Serikbaykyzy</i>	25
Ультразвуковое зондирование высотного профиля поверхности в воздухе <i>Ерзакова Надежда Николаевна, Завьялова Ксения Владимировна, Суханов Дмитрий Яковлевич</i>	26

Исследование влияния низкочастотных помех на преобразователь сопротивления в напряжение при контроле изоляции кабеля <i>Ермошин Николай Иванович, Якимов Евгений Валерьевич, Гольдштейн Александр Ефремович</i>	27
Численное моделирование дальних полей вихревых токов для тонкостенного цилиндрического изделия <i>Ефимов Алексей Геннадьевич, Мартьянов Евгений Владимирович, Шубочкин Андрей Евгеньевич</i>	29
Разработка оптимальных характеристик датчика ударного взаимодействия при определении механических характеристик материалов <i>Ильинский Александр Вячеславович, Федоров Алексей Владимирович, Кинжагулов Игорь Юрьевич, Степанова Ксения Андреевна</i>	30
Тепловой метод неразрушающего контроля тонкостенных изделий <i>Каледин Валерий Олегович, Будадин Олег Николаевич, Вячкина Елена Александровна, Вячкин Евгений Сергеевич</i>	31
Отказоустойчивый контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемно-транспортных машин специального назначения <i>Калиниченко Владимир Сергеевич, Власов Юрий Алексеевич</i>	32
Решение задач контроля механических характеристик функциональных покрытий методом динамического индентирования <i>Кашапова Ирина Альфировна, Ильинский Александр Вячеславович, Кузьмичев Михаил Валерьевич, Егоров Роман Александрович, Федоров Алексей Владимирович</i>	33
Исследование процесса взаимодействия вихретоковых преобразователей с расслоениями в многослойных углепластиковых материалах <i>Шкатов Петр Николаевич, Дидин Геннадий Анатольевич, Субботин Дмитрий Евгеньевич, Кокуров Андрей Михайлович</i>	34
Радиочастотный метод интеррогации ВБР <i>Коробков Леонид Владимирович, Денисенко Павел Евгеньевич, Нуреев Ильнур Ильдарович</i>	35
NDT&E for Industry 4.0 <i>Dirk Koster, Michael Kroening</i>	37
Метод неразрушающего контроля редукторов <i>Крячко Александр Федотович, Шарафудинов Тимур Талибуллоевич</i>	38
Анализ изменения параметров акустической эмиссии при развитии усталостной трещины в стальных образцах <i>Кутень Мария Михайловна, Бобров Алексей Леонидович, Бехер Сергей Алексеевич</i>	38
Волоконно-оптические датчики контроля режима работы щеточно-коллекторного узла тяговых электродвигателей <i>Липатников Константин Алексеевич, Кузнецов Артем Анатольевич, Фасхутдинов Ленар Маликови, Артемьев Вадим Игоревич</i>	39
Автоматизированный ультразвуковой контроль при изготовлении обращенных к плазме компонентов ИТЭР в Российской Федерации <i>Лянзберг Дмитрий Владимирович, Гурьева Тамара Михайловна, Королев Юрий Анатольевич</i>	41
Основы математического моделирования дифракционной решетки для датчиков оптоволоконных контрольно-измерительных систем <i>Мади Перизат Шаймуратовна, Калытка Валерий Александрович, Алькина Алия Даулетхановна, Юрченко Алексей Васильевич</i>	42
Резонансный метод определения диэлектрической проницаемости веществ с использованием двухчастотного зондирования <i>Максимов Илья Павлович, Морозов Олег Геннадьевич, Нуреев Ильнур Ильдарович</i>	43

Лучевая прочность материала в условиях мощного импульсного излучения <i>Мкртычев О.В.</i>	43
Оценка влияния неорганических наполнителей на деструкцию эпоксидных композитов методом термического анализа <i>Мурашкина Юлия Сергеевна, Липчанский Дмитрий, Назаренко Ольга Брониславовна</i>	45
Численное моделирование электромагнитно-акустического преобразования с использованием модели магнитного гистерезиса Джилса-Атертона <i>Мышкин Юрий Владимирович, Волкова Людмила Владимировна</i>	46
Геометрическая анизотропия скорости поперечной волны горизонтальной поляризации в трубе <i>Мышкин Юрий Владимирович, Муравьева Ольга Владимировна, Ворончихин Станислав Юрьевич, Самокрутов Андрей Анатольевич, Шевалдыкин Виктор Гаврилович</i>	47
Исследование зависимости между выходными сигналами сэндвич-детектора рентгеновского излучения <i>Назаренко Светлана Юрьевна, Удод Виктор Анатольевич</i>	48
Изменение свойств нанопорошка железа при длительном хранении <i>Назаренко Ольга Брониславовна, Сечин Александр Иванович, Амелькович Юлия Александровна</i>	49
Оценка вероятности безотказной работы объектов нефтегазового комплекса по результатам диагностики <i>Насонов Валерий Викторович, Балина Ольга Владимировна</i>	50
Сравнение методов контроля несанкционированного доступа к волоконно-оптической линии передачи <i>Нешина Елена Геннадьевна, Мехтиев Али Джаванширович, Алькина Алия Даулетхановна, Шайгараева Татьяна Нажиповна, Юрченко Алексей Васильевич</i>	51
Удаление азотсодержащих веществ из сточных вод с помощью природных цеолитов <i>Новикова Анастасия Леонидовна, Назаренко Ольга Брониславовна</i>	52
Исследование артефактов немонотонности и рассеяния в компьютерной томографии неоднородных объектов с осевой симметрией <i>Осипов Сергей Павлович, Мирзоев Хусниддин Джамолуддинович, Осипов Олег Сергеевич</i>	53
Оценка нестабильности параметров импульсов тормозного излучения в инспекционных досмотровых комплексах <i>Осипов Сергей Павлович, Ван Цзяшун</i>	55
Аддитивный метод моделирования пространственных форм объектов в цифровой радиографии и компьютерной томографии <i>Осипов Сергей Павлович, Ядренкин Илья Геннадьевич, Осипов Олег Сергеевич</i>	56
Цифровые технологии в неразрушающем контроле <i>Пономарев Алексей Владимирович, Пономарева Ольга Владимировна.</i>	57
Динамическое нагружение при контроле хрупких объектов методом акустической эмиссии <i>Попков Артём Антонович, Бехер Сергей Алексеевич</i>	58
Влияние вариантов намагничивания на обнаружение нежелательных включений в массе железной руды <i>Реутов Юрий Яковлевич</i>	59
Новый метод вихретокового контроля уровня металла в сортовом кристаллизаторе непрерывного литья заготовок <i>Славинская Екатерина Андреевна, Терехин Иван Владимирович</i>	60

Интеллектуальная система поддержки принятия решений для контроля сложных технических систем <i>Смирнов Владимир Александрович</i>	61
Термооптический способ локальной диагностики приповерхностных слоев малых образцов <i>Старостин Александр Алексеевич, Котов Артем Николаевич, Шангин Виктор Владимирович, Лончаков Александр Трофимович</i>	63
Устройство теплового контроля диэлектрических жидкостей с программируемыми режимами нагрева <i>Старостин Александр Алексеевич, Котов Артем Николаевич, Лукьянов Кирилл Валерьевич, Волосников Дмитрий Владимирович, Поволоцкий Илья Ильич, Скрипов Павел Владимирович</i>	64
Оценка достоверности и метрологическое обеспечение способов определения сил, возникающих при взаимодействии колеса и рельса <i>Сыч Татьяна Викторовна, Бехер Сергей Алексеевич, Коломеец Андрей Олегович</i>	65
Моделирование напряжённо-деформированного состояния рельса с трещиной в головке и оценка времени безопасной работы такого рельса. <i>Муравьев Виталий Васильевич, Тапков Кирилл Александрович, Волкова Людмила Владимировна, Платунов Андрей Валерьевич</i>	66
Влияние водопоглощения на скорость распространения нормальных волн в композитной арматуре <i>Муравьева Ольга Владимировна, Хасанов Роберт Расилевич, Стрижак Виктор Анатольевич, Мкртчян Сергей Станиславович, Сяктерев Максим Вячеславович</i>	67
Использование двухканальных пирометров в условиях повышенной запыленности <i>Чернышева Надежда Сергеевна, Ионов Антон Борисович, Ионов Борис Петрович</i>	68
Эволюция температурных полей и деформационное поведение биоинертных сплавов Zr-1 мас.% Nb и Ti-45 мас.% Nb в крупнокристаллическом и ультрамелкозернистом состояниях <i>Шаркеев Юрий Петрович, Вавилов Владимир Платонович, Скрипняк Владимир Альбертович, Легостаева Елена Викторовна, Белявская Ольга Андреевна, Чулков Арсений Олегович, Козулин Александр Анатольевич, Скрипняк Владимир Владимирович, Ерошенко Анна Юрьевна</i>	70
Автоматизированная система расшифровки результатов и автоматического прослеживания развития дефектов при контроле теплообменников <i>Шориков Денис Олегович, Стихина Наталья Владимировна, Мельникова Александра Павловна, Максименко Александр Сергеевич</i>	71
О диагностике состояния поршневых машин по перемещению центра вала <i>Эльхутов Сергей Николаевич</i>	72
Алгоритм сжатия на основе вычисления скорости изменения ультразвукового сигнала <i>Кожемяк Олеся Анатольевна</i>	73
СЕКЦИЯ 2. Материаловедение и электронные технологии	75
Surface Mechanical Properties of Comet 67P <i>W. Arnold, H.-H. Fischer, M. Knapmeyer, H. Krüge</i>	76
Самоорганизующиеся нейронные сети с добавочными узлами скрытых слоёв как возможность для оптимизации нейронных вычислений и управления автономными устройствами <i>Букреев Евгений Геннадьевич, Тозаев Станислав Николаевич</i>	77

Устройство стабилизации температуры контейнеров с рабочим веществом для высокочастотных активных сред на парах металлов <i>Букреев Евгений Геннадьевич, Мусоров Илья Сергеевич, Торгаев Станислав Николаевич, Евтушенко Геннадий Сергеевич</i>	78
Волоконно-оптическая эллипсометрия для контроля параметров поверхностей изделий интегральной оптики <i>Гадельшин Рустам Маратович, Кузнецов Артём Анатольевич</i>	80
Построение измерительных систем на основе адресных ВБР – датчиков и поляризационного мультиплексирования <i>Галимов Артур Илиатович, Кузнецов Артем Анатольевич</i>	81
Приборная реализация метода динамического индентирования <i>Егоров Роман Александрович, Дьячковский Евгений Иннокентьевич, Кузьмичев Михаил Валерианович, Федоров Алексей Владимирович</i>	82
Эволюция параметров локализации деформации и фрактальной размерности при растяжении металлов <i>Жармухамбетова Альбина Муратовна, Баранникова Светлана Александровна</i>	83
Результаты анализа информативных параметров сигналов акустической эмиссии при прочностных испытаниях образцов металлических изделий аддитивного производства <i>Ковалевич Анастасия Сергеевна, Степанова Ксения Андреевна, Быченко Владимир Анатольевич, Сысунов Никита Дмитриевич, Кинжагулов Игорь Юрьевич</i>	84
Исследование особенностей работы ультразвукового генератора высокой мощности <i>Муксунов Тимур Рамильевич, Кузьменко Иван Юрьевич, Суханов Дмитрий Яковлевич</i>	85
Разработка средств микроволнового воздействия на материальные среды <i>Нурутдинов Тимур Линарович, Самигуллин Р.Р.</i>	86
Применение параметрического преобразования Фурье в неразрушающем контроле композиционных материалов методом свободных колебаний <i>Пономарева Ольга Владимировна. Пономарев Алексей Владимирович</i>	87
Ультразвуковой контроль материалов на основе карбида кремния, синтезированных методом искрового плазменного спекания прекерамической бумаги <i>Седанова Елизавета Павловна, Сыртанов Максим Сергеевич, Кашкаров Егор Борисович, Юровских Артем Сергеевич, Лидер Андрей Маркович</i>	88
СЕКЦИЯ 3 - Методы и средства диагностики в медицине	90
Анализ неоднородности протекания тока в структуре электрод – кожа в системах электромиографии и электростимуляции <i>Бахтина Валентина Анатольевна, Левицкий Алексей Александрович, Маринушкин Павел Сергеевич, Аброськина Мария Васильевна, Ильминская Александра Андреевна</i>	91
Персональная система теле-ЭКГ для клинических случаев со сложно фиксируемыми заболеваниями <i>Лежнина Инна Алексеевна, Бояхчан Арман Артурович, Перчаткин Владимир Анатольевич, Львова Анна Борисовна</i>	92
Исследование влияния усреднения кардиосигнала высокого разрешения при диагностике методом Симсона <i>Го Вэньцзя, Иванов Максим Леонидович, Турушев Никита Владимирович, Авдеева Диана Константиновна</i>	93

Новые возможности метода ЭКГ картирования <i>Авдеева Диана Константиновна, Южаков Михаил Михайлович, Иванов Максим Леонидович, Турушев Никита Владимирович, Максимов Иван Вадимович, Кодермятов Радик Емирханович, Мазиков Сергей Валерьевич, Зимин Илья Александрович</i>	94
Ёмкостные электроды для персональной электрокардиографии <i>Лежнина Инна Алексеевна, Бояхчян Арман Артурович, Павленко Борис Николаевич, Моренец Артем Игоревич</i>	95
Study of the effect of ultrasound scanner settings on the level of radiation intensity by the reciprocity method <i>Julia Sergeevna Gulyaeva, Olga Pavlovna Bogdan, Olga Vladimirovna Muravieva, Angelica Denisovna Shirobokova</i>	96
Обнаружение неоднородностей в биологических тканях с помощью радиоволновой томографии <i>Еремеев Александр Иванович, Васильева Мария Александровна, Васин Василий Витальевич, Шитилов Сергей Эдуардович</i>	97
Исследование влияния концентрации сахара на волновое сопротивление магнитной катушки <i>Махманазаров Р.М., Якубов Владимир Петрович, Клоков Андрей Владимирович, Запасной Андрей Сергеевич, Завьялова Ксения Владимировна, Мироньчев Александр Сергеевич, Якубов Владимир Петрович</i>	98
Постоянно носимый аппаратно-программный комплекс на наносенсорах для динамического наблюдения за состоянием сердца человека <i>Кодермятов Радик Эмирханович, Иванов Максим Леонидович, Еньшин Степан Игоревич, Авдеева Диана Константиновна, Южаков Михаил Михайлович, Цой Екатерина Игоревна</i>	99
CRYO. Система для изучения биоимпедансных свойств биологической ткани и жидкости во время проведения криохирургических операций <i>Королюк Евгений Сергеевич, Бразовский Константин Станиславович</i>	100
Исследование спектральных характеристик раствора хлорида натрия с разным содержанием декстрозы <i>Запасной Андрей Сергеевич, Мироньчев Александр Сергеевич, Клоков Андрей Владимирович, Якубов Владимир Петрович, Завьялова Ксения Владимировна, Шитилов Сергей Эдуардович</i>	101
Метод расчёта диагностических признаков по результатам денситометрии шаровидных образований лёгких <i>Молодкин Иван Васильевич, Якунин Алексей Григорьевич, Шайдук Александр Михайлович</i>	102
Оптический метод диагностики системы гемостаза на основе оценки вязкоупругих свойств крови в процессе коагуляции <i>Носова Екатерина Владимировна, Аристов Александр Александрович, Навродская Екатерина Александровна, Аристов Александр Александрович</i>	103
Портативная радиометрическая система. Возможности и преимущества ее применения совместно с ОФЭКТ и МРТ при оценке функционального состояния слезных и слюнных желез <i>Панкин Савва Викторович, Сюрдо Александр Иванович, Панкин Виктор Владимирович, Сарычев Максим Николаевич, Зеленин Алексей Владимирович, Агеев Артем Никифорович, Ободов Виктор Алексеевич</i>	104

СЕКЦИЯ 1

**Современные системы и технологии
в неразрушающем контроле**

Влияние расхода газа на результат измерения газовых смесей

Аймагамбетова Раушан Жанатовна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Стукач Олег Владимирович, д.т.н.

E-mail: rauwan2012@mail.ru

Целью настоящей работы является автоматизация процесса подачи газовых смесей из баллонов на испытательный стенд. Автоматизировать процесс поверки газовых смесей с помощью увеличения количества поверяемых баллонов, которое позволит снизить человеческий фактор, влияющий на качество поверки газовых смесей.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- 1) Необходимо определить оптимальное количество газовых баллонов;
- 2) изготовление приводов для подключения каждого цилиндра к входу в стенд;
- 3) разработка алгоритма управления приводом;
- 4) Выберите инструменты контроля состояния стенда;
- 5) анализ и решение вопроса о надежности включения в момент отключения каждого цилиндра от входа в стенд;
- 6) избежите влияния первой цилиндрической смеси газа на следующем цилиндре;
- 7) принятие решения о порядке подключения баллона ко входу в стенд;
- 8) решение вопросов продувки трубопроводов для обеспечения качества анализа следующей газовой смеси;
- 9) определение производительности стенда.

Исходными данными для расчета рабочих органов и датчиков системы являются характеристики дозируемого материала, величина доз, длительность интервала, к которому относятся требования к точности. Вопрос о необходимости введения автоматического регулирования газовой смеси основан на сопоставлении данных по расчетной точности с требуемой точностью и величиной дозы.

С учетом свойств дозируемых материалов произведем выбор элементов системы и определим их конструктивные и режимные параметры.

Рассмотрев и изучив характеристики различных типов регуляторов давления и сопоставим их с вышеуказанными требованиями, остановимся на двухступенчатом регуляторе давления баллонном.

Этот регулятор необходим для формирования потока газа из баллона со сжатым газом для газовой хроматографии, а также для подачи газа из баллона со сжатым газом для предотвращения потока давления в газовых линиях.

Рекомендуется, чтобы перепад давления между входом и выходом регуляторов был не менее 50 кПа для стабильной работы регуляторов газа хроматографа.

Рекомендуемое давление газов, поступающих в хроматограф:

- газоноситель - от 0,36 до 1,25 МПа;
- водород - от 0,14 до 0,64 МПа;
- воздух - от 0,17 до 0,64 МПа.

Снижение давления газа происходит из-за двухступенчатого расширения из камеры высокого давления в камеру промежуточного давления (первая ступень снижения), а затем в камеру рабочего давления (вторая ступень снижения) при прохождении через регулируемые отверстия между сосудами и редуцированными клапанами.

Выход первой ступени редуцирования регулятора (вход второй ступени) настроен на давление 1 МПа; выход второй ступени (рабочее давление) настраивается при эксплуатации на требуемое значение - от 0,1 до 0,6 МПа.

Общий вид регулятора с баллонами показан на рисунке 1.

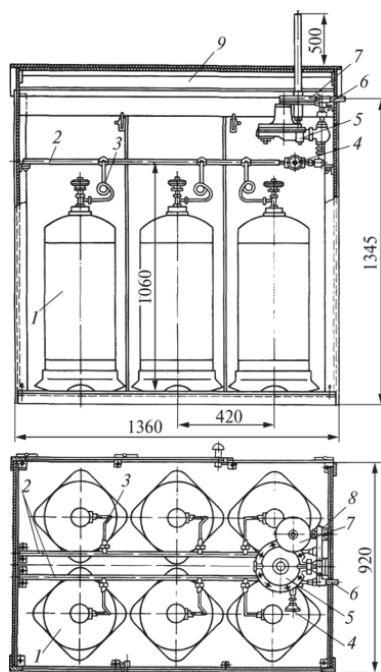


Рис.1 Двухступенчатый регулятор давления с баллонами

Технические характеристики

Резьбы подключений	-G 3/4", M8x1.
Наименьшее входное давление, МПа	-1,2.
Наибольшее входное давление, МПа	-14,0.
Промежуточное давление, МПа	-1,0.
Выходное (рабочее) давление, МПа	-от 0,1 до 0,6.
Габаритные размеры регулятора, мм	-205, 125, 215
Масса регулятора, кг	-1,75.
Объем фильтра, л	-0,98.
Габаритные размеры фильтра, мм	-65, 65, 560.
Масса фильтра, кг	-4,2.

Эксплуатация осуществляется при температуре окружающего воздуха от минус 30 до 50 °С, относительной влажности до 95 % при температуре 35 °С.

Проведя анализ датчиков согласно их конструктивных и технических характеристик было установлено, что наиболее подходящим для нашей системы по всем параметрам является датчик давления ДМ5007.

Датчик предназначен для работы в системах автоматического управления, контроля и регулирования производственных процессов с целью преобразования избыточного давления в электрически унифицированный выходной сигнал, а также в сопутствующий продукт.

По защищенности от воздействия окружающей среды датчик в соответствии с ГОСТ 12997-84 имеет исполнение:

- поддержание атмосферного воздуха в устойчивом состоянии-защита от пожаров и влаги;
- стойкая к агрессивной коррозии.

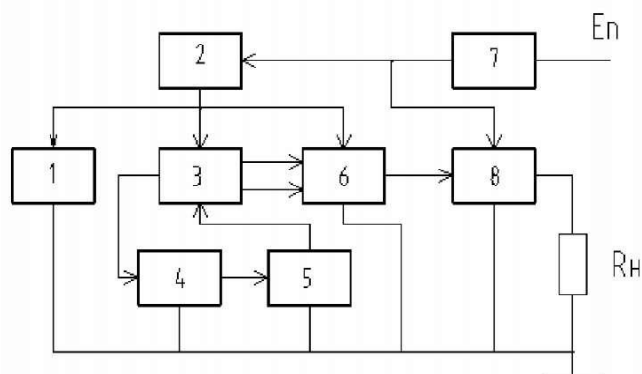
Измеренные концентрации: неагрессивная, некристаллическая мягкость, газ и тепло.

Датчик температуры окружающей среды и влагостойкости соответствует С2 по ГОСТ 12997-84 и должен быть выполнен в 2 категориях по ГОСТ 15150-69, но при температуре от минус 40 до плюс 70°С.

Датчик защиты от проникновения пыли и воды соответствует степени защиты (ГОСТ 14254-96) 65.

Датчики атмосферного давления соответствуют группе P1 по ГОСТ 12997-84.

Структурная схема датчика приведена на рисунке 2.



1 – стабилизатор напряжения, 2 – стабилизатор тока,
3 – тензопреобразователь, 4 – блок термокомпенсации, 5 – генератор тока,
6 – усилитель, 7 – блок защиты, 8 – преобразователь U/I.

Рис. 2 Структурная схема датчика

Источник питания достигает входа защитного автоматического выключателя, который предотвращает поломку датчика при правильной полярности напряжения питания (7). С выхода защитного блока напряжение падает на вход стабилизатора (2), чтобы ограничить потребление тока датчиком.

Тензорный мост, который является цепью питания (3), соединен с генератором температуры (4), управляемым генератором тока (5).

На основе анализа производства поверочных газовых смесей и согласно поставленным задач были получены следующие результаты:

1) оптимальным количеством газовых баллонов определили 10 штук, что позволят наблюдать работу системы и контролировать ее исправность каждые 2 часа;

2) в соответствии с предъявленными требованиями, как к системе в целом, так и к каждому элементу в отдельности, были определены исполнительные и вспомогательные механизмы системы;

3) разработан алгоритм управления вспомогательными и исполнительными механизмами;

4) определены приборы для контроля состояния испытательного стенда;

5) вопрос надежности подключения на время анализа и отключения каждого баллона от входа стенда решен с помощью методов проверки герметичности соединений, рассмотренных в работе;

6) влияние газовой смеси первого баллона на следующий баллон исключено в соответствии с применением метода продувки газовых линий до и после отбора анализируемой пробы;

Совокупность полученных результатов содержит решение современных задач автоматизированных систем подачи анализируемой газовой смеси на испытательный стенд (в нашем случае хроматограф) в Республики Казахстан.

Список публикаций:

- [1] Насибулина А. И. Разработка методики выполнения измерений для анализа микропримесей в чистых газах: дис. магистр техники и технологий // Караганда. 2012. С.104.
- [2] ЗАО СКБ «Хроматэк». Комплект арматуры газовой. Регулятор давления баллонный. Руководство по эксплуатации 214.4.078.000 РЭ.
- [3] Датчик давления ДМ5007. Руководство по эксплуатации 5Ш0.283.339 РЭ.
- [4] Датчик многопараметрический «Метран-335». Руководство по эксплуатации СПГК.5157.000.00 РЭ.
- [5] Advantech Co. Ltd URL: <http://www.advantech.ru/>.
- [6] Рачков М. Ю. Пневматические средства автоматизации. // М.: МГИУ. 2007. С. 288.

Construction of simulating analogs of ventilation networks by base points

Assel D. Nurgaliyeva

Nuriya N. Akimbekova

Gulmira S. Sattarova

Alma Zh. Ahmetova

Karaganda State Technical University

Academic adviser: Zhorzh G. Levitskiy, doctor of technical sciences

E-mail: a_nurgaliyeva@inbox.ru

The ventilation systems of the mines are complicated by the presence of extensive open spaces and collapses, significant failures with ground outlets, which form complex aerodynamic connections not only between separate horizons, but also the system of underground workings and the surface.

In this regard, to reduce the dimension of the original ventilation scheme, it is proposed to analyze not a true large-dimensioned calculation network, but a minimized one, the structure of which is different from the real one, and can be represented as an approximating analogue. The elements that are submitted for analysis to a modeling multi-port can be any objects of ventilation, located arbitrarily in the actual ventilation scheme of mine or quarries. There are no restrictions on the order of selection and removal of the elements under study from the initial scheme [1].

It was established that the construction of structural-functional analogs by approximation on the base points allows the design schemes to be constructed in the absence of information about internal aerodynamic connections in the system of underground workings complicated by collapse zones, blockages, dips, etc.

The mathematical model of the process of transformation of a mine ventilation network of any complexity and dimension is formulated by constructing an approximating analog of a given dimension, which may include a number of ventilation objects taken out from the source network. A mutual relationship is established between the topological characteristics of the ventilation network to be converted and the analog to be constructed, which should be used to select the simulating analog.

Analysis of mine ventilation systems involves solving a number of important tasks related to regulating the supply of air to underground workings [2]. The problems are: determination of the effect of changes in the resistance of regulators on air distribution in a real mining network, development of measures to change the air distribution in some workings, forecasting of air distribution in the mine network during its development, analysis of the joint work of the main and auxiliary fans, development of recommendations for changing the performance of main fans, determination of the stability of ventilation of diagonal connections, choosing a rational option for airing in the event of emergency situations (blockages, fires, etc.).

All these problems can be solved without large computer time expenditures when large-size networks are replaced by small-size approximating models. With this approach, in the case of multivariate calculations, it is no longer necessary to calculate or convert the entire network every time and the problem is reduced to a multivariate calculation using a simplified model, taking into account the change in the state of the airing objects.

A method of constraints is proposed that allows us to determine the boundaries of the search for a set of positive values of the aerodynamic resistances of the equalizing branches in the course of solving a system of nonlinear equations describing the analog being constructed. The conditions for the applicability of the constraint method are found. It is shown that in the general case it is necessary to be guided by the choice and construction of approximating structures that include no more than two or three unknown contour flows. In this case, the application of the method justifies itself by the simplicity of the algorithm and the feasibility of the time spent on its implementation, as well as the availability of standard programs for solving linear systems of equations.

The method of constraints is proposed, which allows determining the boundaries of the search for a set of positive values of the aerodynamic resistance of equalizing branches when solving a system of nonlinear equations describing the constructed analogue. The conditions for the application of the constraint method are clarified.

References:

- [1] Abramov F. A., Tyan R. B., Potemkin V. Ya. *Calculation of ventilation networks of shafts and mines // Moscow (Russia): Nedra. 1978. P. 232.*
- [2] Myasnikov A. A., Yevstratenkov G. S., Tyurin V. P. *Analysis of ventilation tasks and the possibility of their solution when calculating networks using computer technology // Physical and technical problems of mining. 1976. Vol. 6. Pp. 86-91.*

Применение вейвлет – фильтрации для компенсации фоновых засветок

Моргунов Юрий Юрьевич, Якунин Алексей Григорьевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель: Якунин Алексей Григорьевич, д.т.н.,

E-mail: yakunin@agtu.secna.ru

В оптико-электронных системах контроля и измерения на основе преобразователей изображения в электрический сигнал одну из больших проблем представляют различного рода фоновые неравномерные засветки, создаваемые источниками как естественного, так и искусственного происхождения [1,2]. Они существенно искажают форму видеосигнала и значительно усложняют алгоритм его обработки. Поэтому для повышения помехозащищенности в алгоритмах обработки изображений широко применяются различные методы фильтрации видеосигнала, как линейные (медианные, на основе дискретных ортогональных преобразований), так и нелинейные [3], в том числе реализованные с использованием специализированных библиотек, например, таких как OpenCV. Однако существующие решения, например, такие как Intel IPP, ориентированы преимущественно на обработку двумерных изображений на персональных компьютерах и малоприспособлены для применения во встраиваемых приложениях, предназначенных для обработки сигналов в системах автоматизации производственных процессов, реализуемых с применением средств микропроцессорной техники. Поэтому для таких систем приходится разрабатывать новые оригинальные алгоритмы, учитывающие специфику как используемой элементной базы, так и контролируемой сцены изображения. В частности, в [4-6] были предложены алгоритмы, позволяющие выделять контур и осуществлять подсчет движущихся на конвейере изделий в условиях неравномерной, резко неоднородной засветки. Однако они оказались малоприспособленными для подавления фона в системе контроля обрыва уточной нити [7], когда момент обрыва определяется по разностному сигналу со строк изображения. Как показали проведенные исследования, в этом случае наибольший эффект дает применение вейвлет – преобразования [8], что наглядно иллюстрирует рисунок 1. На этом рисунке обрыв нити наблюдается на 295 пикселе в 213-й строке, а на 183 строке появился посторонний фон из-за включения в помещении источника света.

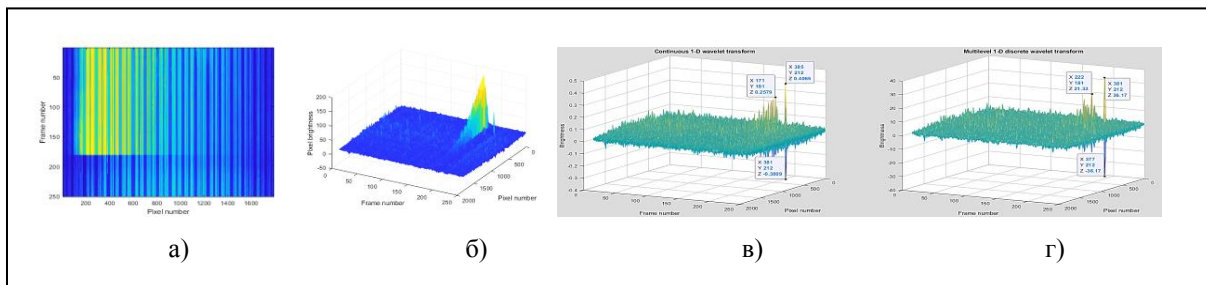


Рис.1 Видеоряд с линейного фотоприемника (а), полученный с него разностный межстрочный сигнал (б) и аналогичный сигнал, полученный при применении непрерывного (в) и дискретного (г) вейвлет - фильтра

Список публикаций:

- [1] Ненашев А. Л., Якунин А. Г. Разработка программно-технического комплекса для идентификации псевдорегулярных объектов на конвейерной линии. // Ползуновский вестник. Барнаул. 2009. №1-2. С. 288-292. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=13028360>
- [2] Якунин А. Г., Жихарев И. М., Ненашев А. Л. Программно – техническое и алгоритмическое обеспечение телевизионных систем оперативного контроля изделий на конвейерных линиях. // Ползуновский вестник. Барнаул. 2010. №2. С. 93-98.
- [3] Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. Т.1-2 // М.: Мир. 1982. С. 1104.
- [4] Ненашев А. Л., Якунин А. Г. Способ замыкания контуров объектов на матрице полутонового растрового изображения // Патент на изобретение №2450355 от 10.05.2012
- [5] Баган И. С., Якунин А. Г. Выбор алгоритмов выделения контуров изображения для автоматизированных телевизионных систем подсчета изделий // Материалы IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2016», секция «Информационные технологии», подсекция «Вычислительные системы и информационная безопасность»/ «Горизонты образования», выпуск 18. 2016. С. 8-10. URL: http://edu.secna.ru/media/ff/ivtib_tez_2016_.pdf
- [6] Баган И. С., Якунин А. Г. Методы идентификации объектов на изображении для автоматизированных телевизионных систем подсчета изделий // См. [], С. 10-12. URL: http://edu.secna.ru/media/ff/ivtib_tez_2016_.pdf
- [7] Моргунов Ю. Ю., Якунин А. Г. Методы контроля наличия нити в системе подачи станка suj850-6s // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2018. С. 39-43
- [8] Addison P.S. The illustrated wavelet transform handbook: applications in science, engineering, medicine and finance. // Philadelphia: IOP Publishing. 2002.

Контроль эксплуатационных повреждений и напряженного состояния конструкций из низколегированных сталей

Балина Ольга Владимировна

Насонов Валерий Викторович

Тюменский индустриальный университет

E-mail: balinaov@tyuiu.ru

При диагностике состояния объектов нефтегазового комплекса кроме поиска трещин и других дефектов необходимо оценить усталостные повреждения, напряженное состояние элемента конструкции, а также деградацию структуры и механических свойств материала. Для решения вышеописанных задач применяются расчетные методы, основанные на анализе истории нагружения, механические испытания вырезанных образцов, косвенные методы определения прочностных характеристик по величине твердости [1], затратам энергии на сверление эталонного отверстия [2] и др., однако эти методы не позволяют определить напряженное состояние конструкции. Для оценки напряженного состояния и деградации структуры и свойств материала применяют неразрушающие методы, базирующиеся на связи магнитных, акустических или иных свойств материала с искомыми величинами.

Одним из наиболее информативных неразрушающих методов контроля является метод измерения коэрцитивной силы (H_c), позволяющий при одноосном нагружении контролировать величину напряжений в упругой области и начало развития пластической деформации. В литературе описан положительный опыт использования коэрцитивной силы для оценки эксплуатационных повреждений грузоподъемных механизмов с одноосным нагружением стержневых элементов [3]. По нашему мнению, в данном случае на величину коэрцитивной силы влияет как накопление повреждений, так и перераспределение напряжений в элементах конструкции.

Однако, коэрцитивная сила является весьма чувствительным параметром, и зависит от многих факторов. Значительное влияние на результаты измерения напряжений оказывает состав и структура материала, даже в пределах одной марки стали при равных условиях, что требует предварительной настройки. Погрешность измерения напряжений можно существенно уменьшить при переходе от измерения напряжений в МПа к долям от предела упругости или предела текучести, а также, по аналогии с коэффициентом Пуассона, при оценке соотношения коэрцитивной силы вдоль и поперек действия нагрузки [4]. Следует отметить, что все методы ускоренного определения предела выносливости, включая магнитоупругие, кроме определения предела микротекучести, близкого к пределу выносливости, также позволяют измерять напряжения в материале в долях от предела упругости [5].

При использовании этих методов относительная погрешность измерения упругих напряжений для низколегированных сталей (без калибровки по определенной марке стали) составляет 10% при напряжениях до 0,5 предела текучести и 20% при напряжениях до 0,8 предела текучести. Для определения величины пластической деформации образец должен быть разгружен, при измерении коэрцитивной силы под нагрузкой можно лишь констатировать наличие пластической деформации.

При двухосном и более сложном нагружении зависимость между эквивалентными напряжениями и магнитными свойствами неоднозначна и носит сложный характер, что отражено в ряде публикаций, например, зависимость параметра Лодэ и магнитных характеристик трубной стали при различных сочетаниях гидростатического давления, кручения и одноосного растяжения или сжатия [6].

Список публикаций:

[1] Матюнин В. М., Марченко А. Ю., Волков П. В., Демидов А. Н. *Диагностика механических свойств материалов по диаграммам индентирования на разных масштабных уровнях // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. №4. Т. 81. С. 47-52.*

[2] Курлапов Д. В., Хомич В. М., Леванов А. В. *Метод удельных энергий для определения механических свойств строительных сталей // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7. С. 11-17.*

[3] РД ИКЦ «КРАН»-007-97/02. *Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений при проведении обследования и техническом диагностировании (экспертизе промышленной безопасности).*

[4] Балина О. В., Насонов В. В., Насонова Л. Н. *Экспертиза технических устройств: методы диагностики и анализа состояния трубопроводов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С. 112-116.*

[5] Насонов В. В., Новиков В. Ф. *Неразрушающее определение предела выносливости магнитоупругим методом // Заводская лаборатория. 1984. №8. С. 62-64.*

[6] Горкунов Э. С., Задворкин С. М., Мушников А. Н., Смирнов С. В., Якушенко Е. И. *Влияние механических напряжений на магнитные характеристики трубной стали // Прикладная механика и теоретическая физика. 2014. Т. 55. №3. С. 181-191.*

Особенности ближнеполюсного интерференционного СВЧ микроскопа на основе явления нарушенного полного внутреннего отражения

Беличенко Виктор Петрович

Запасной Андрей Сергеевич

Мироньчев Александр Сергеевич

Клоков Андрей Владимирович

Матвиевский Ефим Владимирович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: bvp@mail.tsu.ru

Оптическая спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) широко применяется при исследованиях поверхностных оптических свойств объектов, а также сильно поглощающих сред [1]. Исследуемый объект 2 помещается с обеспечением идеального контакта на большую грань прямоугольной призмы 1, выполненной из материала с большим показателем преломления (рис. 1). В условиях НПВО падающее излучение источника 3 частично проникает в объект 2 в виде эванесцентной волны. А коэффициент отражения этого излучения оказывается зависящим от оптических постоянных исследуемого объекта 2. Последние извлекаются из спектров НПВО после измерения и обработки спектров приемной системой 4. Подобная же процедура используется в инфракрасной [2] и терагерцовой [3] спектроскопии НПВО.

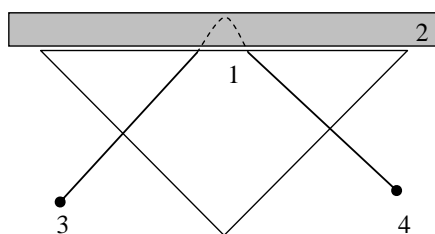


Рис. 1

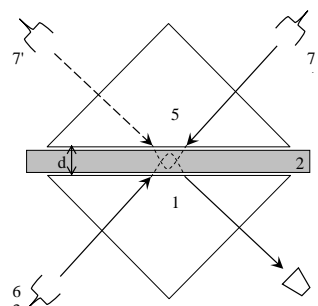


Рис. 2

Добавление второй призмы 5 (рис. 2) позволяет получить при соответствующем подборе расстояния d фотонный кристалл [4], а, следовательно, в принципе, добиться возможности туннелирования эванесцентной волны через исследуемый объект 2 в призму 5 и последующего распространения в этой призме слабо затухающей волны.

В данном докладе предложена новая (ближнеполюсная, интерференционная) концепция технологии НПВО в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне длин волн. Здесь источником СВЧ излучения является антенна 6 высокой направленности (рис. 2). Наряду с антенной 6 используется еще одна такая же СВЧ антенна 7 (размещение этой антенны в разных позициях (рис. 2) позволяет реализовать отличающиеся по своим характеристикам схемные решения). Обе антенны питаются от одного и того же генератора СВЧ. Тем самым обеспечивается когерентность излучаемых антеннами полей. Помимо этого, с помощью фазовращателя, включенного в цепь питания антенны 7, осуществляется управление разностью фаз колебаний поступающих на входы антенн 6 и 7. Когда пучки электромагнитных волн излучаются антеннами под углами, превышающими критические значения, имеет место НПВО. В промежутке между большими гранями призм 1 и 5 происходит наложение эванесцентных волн, приводящее к формированию действительного интерференционного потока энергии. Существенно подчеркнуть, что поток энергии отдельной эванесцентной волны при этом является чисто мнимым. Гибкое управление режимом воздействия СВЧ излучения на исследуемый объект позволяет получить большой объем информации из результатов измерения приемной системой 8 отраженного излучения и их обработки.

Нами проведены тестовые испытания описанной технологии, направленные на выявление дефектов (разрывов) в тонких металлических пленках. Сопоставление полученных результатов с результатами, достигнутыми в рамках обычной СВЧ технологии НПВО, продемонстрировало улучшение чувствительности и разрешающей способности.

Список публикаций:

[1] Харрик Н. Спектроскопия внутреннего отражения / пер. с англ. // Москва: Мир. 1970. С. 336.

[2] Смит А. Прикладная ИК спектроскопия // Москва: Мир. 1982. С. 328.

[3] Герасимов В. В., Князев Б. А. // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. Т. 3, вып. 4. С. 97-112.

[4] Шварцбург А. Б. // Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 1. С. 43-58.

Аппаратно-программная система магнитного структурного анализа

Костин Владимир Николаевич^{1,2}

Василенко Ольга Николаевна^{1,2}

Бызов Александр Викторович²

¹ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрОРАН

²ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

E-mail: kostin@imp.uran.ru

В настоящее время в науке и технике разработка средств для магнитного анализа является стремительно развивающимся направлением. Это связано с тем, что магнитные характеристики ферромагнитных объектов обладают высокой чувствительностью к структурно-фазовому и напряженно-деформированному состоянию. Поэтому задачей работы является разработка методики и аппаратно-программной системы (АПС) для локального измерения комплекса магнитоэлектрических параметров в широком диапазоне их изменения [1,2].

Для практической реализации указанных выше измерительных возможностей разработана отвечающая современным требованиям [3] мобильная аппаратно-программная система DIUS-1.15M. В состав АПС DIUS-1.15M входят приставной измерительный преобразователь, измерительный блок, адаптер сетевого питания 24 В (или аккумуляторы), портативный компьютер. Работа устройства осуществляется с помощью специальной программы, управляющей режимами работы, визуализацией и сохранением результатов измерений.

В разработанной ранее серии приборов SIMTEST использовался тот же измерительный преобразователь, что и в DIUS-1.15M. С его помощью на основе гистерезисной характеристики “поток — внутреннее поле” путем построения петли магнитного гистерезиса определялись магнитные свойства объекта контроля (ОК) при измерении относительной величины потока и внутреннего поля в испытуемом ОК. Однако, число параметров можно увеличить за счет регистрации тока в обмотках электромагнита. Это позволяет измерять характеристики петли в координатах “поток в объекте — ток в обмотках”. Их можно назвать характеристиками “тела”.

Петля гистерезиса в координатах “поток в объекте — ток в обмотках” может быть измерена на объектах любых размеров и формы. В этом случае измерение коэрцитивной силы “тела” аналогично измерениям с помощью известного коэрцитиметра КИФМ-1 и может использоваться для решения такого же широкого круга задач. Однако, чувствительность к коэрцитивной силе у локально измеряемой по внутреннему полю относительной величины больше, чем у величины, определяемой по размагничивающему току. Более того, нет корреляции между остаточной магнитной индукцией и относительной величиной, определяемой в координатах “поток в объекте — ток в обмотках”, а коэффициент линейной корреляции между остаточной магнитной индукцией и измеряемой в координатах “поток в объекте — внутреннее поле” равен 0,99. Таким образом, измерения в координатах “поток в изделии — внутреннее поле” являются более предпочтительными. Тем не менее, совокупный анализ свойств вещества и “тела” дает гораздо больше возможностей для структуроскопии. Например, в работах [4,5] показано, как дополнительный учет характеристик “тела” позволяет уменьшить мешающее влияние неконтролируемого зазора в цепи “преобразователь-объект” на результаты локального измерения таких магнитных параметров вещества, как индукция коэрцитивного возврата и коэрцитивная сила.

Также для приставного преобразователя с сечением полюсов 12x28 мм определены градуировочные графики для измерения коэрцитивной силы в диапазоне (2,5÷47) А/см и остаточной магнитной индукции в диапазоне (0,2÷1,6) Т на комплектах образцов коэрцитивной силы и образцов остаточной магнитной индукции. Выбранные диапазоны охватывают наибольшую область возможных применений устройства. Однако возможности АПС DIUS-1.15M значительно шире. Также были получены градуировочные характеристики того же приставного преобразователя для диапазонов изменения коэрцитивной силы (0,7÷6,5) А/см и (15÷90) А/см. Исходя из построенных зависимостей, можно утверждать, что с помощью подобного преобразователя возможно измерение малых значений коэрцитивной силы, причем минимальное значение измеряемой коэрцитивной силы, равное 0,7 А/см может быть меньше коэрцитивной силы магнитопровода, которая составляет 1,5 А/см. Из полученных данных видно, что показания АПС DIUS-1.15M линейно растут вместе с ростом коэрцитивной силы испытуемых объектов вплоть до значений, равных 75 А/см.

В результате проделанной работы показано различие структурной чувствительности магнитных свойств локально определяемых в координатах “поток — внутреннее поле” (свойства вещества) и в координатах “поток в изделии — ток в обмотках” (свойства “тела”). Также было показано, что определение коэрцитивной силы с помощью обычного двухполюсного преобразователя по величине

тангенциальной компоненты магнитного поля, измеряемой вблизи поверхности испытуемого объекта в межполюсном пространстве, позволяет существенно расширить диапазон измерений. Минимальное значение измеряемой коэрцитивной силы может быть даже меньше коэрцитивной силы магнитопровода электромагнита.

Список публикаций:

[1] Щербинин В. Е., Горкунов Э. С., *Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля* // УрО РАН (1996).

[2] Филинов В. В., Аракелов П. Г., Трубиенко О. В. // *Контроль. Диагностика*. 2016. №5. С. 48.

[3] Костин В. Н., Смородинский Я. Г. // *Дефектоскопия*. 2017. №5. С. 23.

[4] Костин В. Н., Василенко О. Н. // *Дефектоскопия*. 2012. №7. С. 15.

Технология получения первичных томографических данных в контроле сильнопоглощающих объектов из УУКМ

Волчкова Анастасия Валентиновна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Капранов Борис Иванович, доктор технических наук

E-mail: volchkovaav95@gmail.com

В промышленности в настоящее время все шире применяются углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ). Одна из проблем технологии изготовления изделий из них – это постоянство плотности по всему объему изделия. Единственным методом контроля распределения плотности по объему является рентгеновская томография. Несмотря на то, что основой УУКМ является углерод С6, при больших габаритах изделий возникают технические проблемы, связанные с большим затуханием рентгеновского излучения в материале изделия. В данной работе была исследована возможность томографирования объектов, имеющих форму цилиндра $\varnothing 165$ мм и высотой 200 мм. Большой перепад толщины по центру цилиндра и на его краю приводит к большому перепаду интенсивности излучения на детекторе, выходящему за линейный участок рабочей характеристики детектора. В этих условиях томографическое сканирование и дальнейшая реконструкция возможны только с применением компенсатора. Основные требования к компенсатору:

1. Малое ослабление по центру цилиндрического объекта и большое ослабление по краю объекта. То есть должно выполняться условие:

$$\mu_o \cdot l_o = \mu_k \cdot l_k \quad (1)$$

по всему сечению объекта;

2. Высокая однородность материала компенсатора и частота обработки поверхности.

В данной работе исследованы закономерности ослабления рентгеновского излучения при эффективных энергиях 120 кэВ, 300 кэВ, 400 кэВ, 1МэВ.

При экспериментах был использован рентгеновский аппарат «СОМЕТ-450» при напряжении 400 кВ, чему соответствует эффективная энергия 300 кэВ. Были рассчитаны размеры и геометрическая форма компенсатора из свинца, меди, стали, алюминия, воды, сплава Вуда.

Для перечисленных материалов получены выражения для расчета компенсаторов при условии выполнения уравнения (1). Ниже представлен пример расчета для Рb.

$$\mu_{Pb} = 4.184 \text{ см}^{-1}, l_{Pb} = \frac{0.193}{4.184} \cdot (16.4 - L_C) = 0.0461 \cdot (16.4 - L_C) \quad (2)$$

На рисунке 1 приведены размеры и геометрическая форма компенсаторов из этих материалов. Наилучшее приближение к условию (1) при максимальной однородности материала компенсатора и частоте обработки поверхности получается при использовании алюминия.

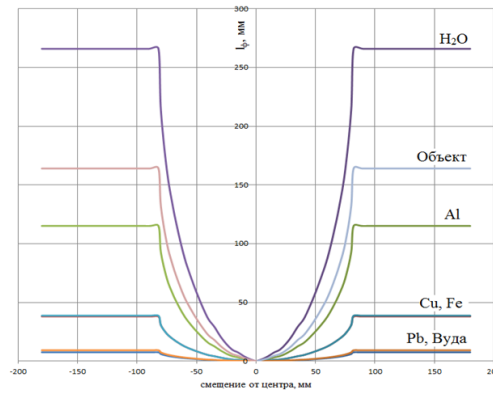


Рис.1 Форма компенсаторов из H₂O, Al, Cu, Fe, Pb, Вуда

Список публикаций:

[1] Календер В. Компьютерная томография. Основы, техника, качество изображений и области клинического исследования // Москва: Техносфера. 2006. С. 344.

[2] Терещенко С. А. Методы вычислительной томографии // М.: ФИЗМАТЛИТ. 2014. С. 320.

Применение ROC-анализа для оценки функциональных характеристик цифровых детекторов

Галкин Денис Игоревич¹

Иванайский Евгений Анатольевич²

Сорокин Александр Сергеевич³

Шубочкин Андрей Евгеньевич¹

ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр» (г. Москва)

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова» (г. Москва)

E-mail: mail@niin.ru

В промышленной радиографии все более актуальным становится вопрос замены пленочных детекторов на цифровые [1]. Не до конца решенным также остается вопрос объективного сравнения различных технологий радиографического контроля (РК). В настоящей работе представлены результаты исследований, направленные на получение количественной оценки информативности технологии РК.

В последние годы предпринимаются отдельные попытки применения ROC-анализа для определения количественного показателя информативности технологии неразрушающего контроля [2,3]. Для построения ROC-кривых, характеризующих качество бинарной классификации по результатам РК, был спроектирован и изготовлен тест-образец, в котором симитированы распределенные случайным образом несплошности, наиболее сложные для выявления по результатам РК (П-образные пазы шириной раскрытия 0,1 мм и различной глубины). Тест-образец был изготовлен с применением аддитивных технологий. Разработанная технология изготовления позволила обеспечить достаточную точность линейных размеров с учетом конструктивных особенностей изделия [4].

После экспонирования тест-объекта на различные детекторы выполнялась их расшифровка экспертами, задачей которых являлось установление факта наличия/отсутствия дефекта в анализируемом элементе изображения. Применение методики, используемой при анализе результатов расшифровки изображений тест-образца, позволило минимизировать влияние человеческого фактора и получить ROC-кривые, отражающие возможности только технологии РК. Последующее определение параметров ROC-кривых позволяет провести сравнительный анализ информативности рассматриваемых технологий.

Список публикаций:

[1] Галкин Д. И. Оценка информативности изображений, получаемых при рентгеновском контроле // Контроль. Диагностика. 2018. № 10. С. 32-37.

[2] Бадалян В. Г. Анализ достоверности контроля в ультразвуковой дефектометрии // Контроль. Диагностика. 2019. № 3. С. 4-13.

[3] Performance evaluation of a magnetic field measurement NDE technique using a model assisted Probability of Detection framework // NDT and E International. 2017. No. 91. Pp. 61-70.

[4] Сорокин А. С., Галкин Д. И., Иванайский Е. А. Количественная оценка информативности радиографического контроля с помощью ROC-анализа // Контроль. Диагностика. 2019. № 5. С. 4-12.

Волоконно-оптические сенсорные системы в неразрушающем контроле «умного города»

Гизеев Марсель Мунирович

Денисенко Павел Евгеньевич

Нуреев Ильнур Ильдарович

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»*

Научный руководитель: Денисенко Павел Евгеньевич, к.т.н

E-mail: jask_stalker@mail.ru

Инфраструктура современных городов становится все более сложной; он включает в себя сложные структурные объекты, такие как: объекты массового скопления людей (спортивные сооружения, концертные залы, бизнес-центры и т.п.), различные типы дорожной инфраструктуры (автомобильная, железнодорожная, метро, туннели, тротуары, мосты, эстакады). Одним из главных аспектов любого умного города является безопасность. Основную группу контроля технологической безопасности составляют параметры температуры и механической целостности. Волоконно-оптические системы позволяют оценивать тысячи датчиков в режиме реального времени. Сенсорные системы на основе волоконных решеток Брэгга (ВБР) хорошо подходят для обнаружения и записи критических характеристик структурного отклика, а также экологических показателей, которые приводят к деградации.

Для сложных сооружений, была разработана система контроля и мониторинга на основе ВБР для измерения температуры и механических напряжений [1]. Изменение температуры определяется путём постоянного измерения температуры конструкции объекта, а контроль деформации необходим для формирования статистики о состоянии объекта и, как следствие, своевременного вмешательства и предотвращения последствий. Структурная схема системы комплексного измерения температуры и механического воздействия представлена на рис. 1, где 1 – оптическое волокно, а 2 – защитный металлический колпачок для ВБР1, служащий для исключения деформации от механического напряжения.

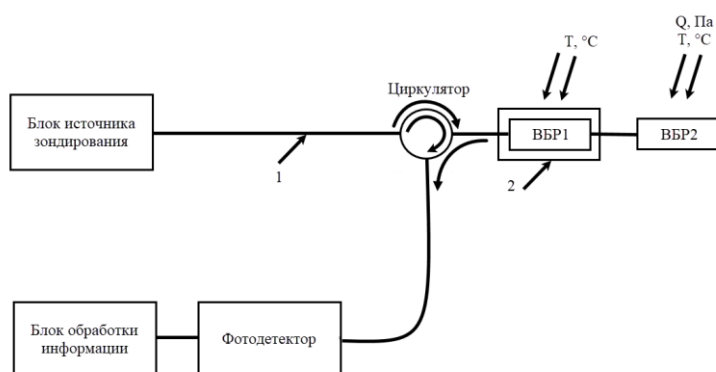


Рис.1 Структурная схема волоконно-оптической системы комплексного измерения параметров.

Датчики ВБР очень подходят для обнаружения и сбора данных, когда матрицы датчиков можно мультиплексировать, используя аналогичные методы, которые были применены к оптоволоконным датчикам, таким как мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM), мультиплексирование с пространственным разделением (SDM) и временное мультиплексирование (TDM), поскольку они могут быть непосредственно реализованы в волокне без изменения диаметра волокна. Новое поколение волоконно-оптических сенсорных систем характеризуется выбором смешанной сетевой структуры, основанной на преимуществах систем с волновым и временным мультиплексированием [2].

Структурная интеграция волоконно-оптических датчиков Брэгга и волоконно-оптических сенсорных систем представляет собой новую отрасль машиностроения и является крупным прорывом в создании инфраструктуры интеллектуальных городов. В настоящее время датчики волоконной решетки Брэгга являются фундаментальным и незаменимым компонентом любой интеллектуальной системы управления волоконно-оптической системой.

Список публикаций:

[1] Денисенко П. Е. Полигармонический метод зондирования волоконно-оптических датчиков температуры и механического напряжения строительных сооружений // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. С. 2-4.

[2] Нуреев И. И. Сенсорные пассивные оптические сети и ключевые вопросы применения в них волоконных брэгговских решеток // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. С. 4-6.

Волоконные брэгговские структуры в специальных типах двулучепреломляющих ВОЛОКОН

Гимадиева Алина Равилевна
Фасхутдинов Ленар Маликович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ
Научный руководитель: Нуреев Ильнур Ильдарович, д.т.н., проф. каф. РФМТ
E-mail: Lina1366@mail.ru

При записи ВБР, ультрафиолетовый пучок подвергает воздействию не все стороны волокна, а, как правило, только одну. В итоге, наведенное изменение показателя преломления в сердцевине волокна является неоднородным, происходит плавное уменьшение при отдалении от ультрафиолетового пучка. Из-за данной неоднородности в брэгговской решетке появляется фотоиндуцированное двулучепреломление. Такое свойство дает возможность нам рассуждать о том, что существует различие эффективных показателей преломления ВБР для ортогональных осей, при этом центральная длина волны решетки зависит от данных осей.

Проведем компьютерное моделирование данного эффекта с использованием пакета прикладных программ OptiGrating и OptiSystem. Рассмотрим преобразование режима между режимом LP01 и LP02 в волокне с решеткой Брэгга. Волокно имеет четыре режима LP-сердечника. Выберем для расчетов только три основных режима LP01, LP02 и LP11. Период решетки, 0,21436546 мкм, позволяет осуществлять связь между прямолинейным режимом LP01 и режимом LP02, распространяющимся в обратном направлении.

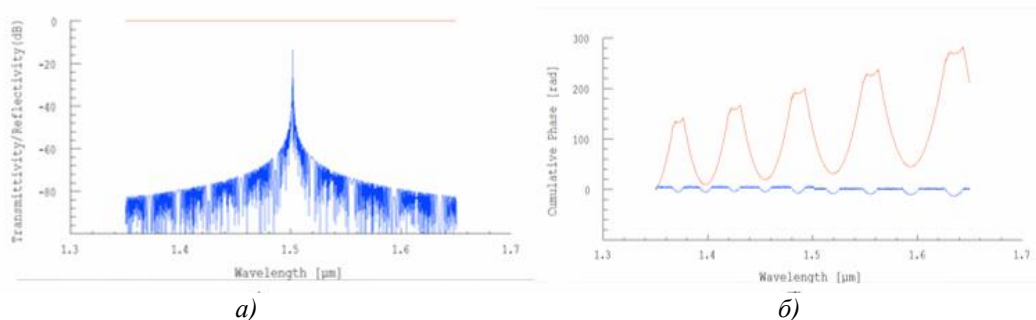


Рис.1 Передаточная (а) и фазовая (б) характеристики брэгговской решетки в двулучепреломляющем волокне

В программе OptiSystem нет двулучепреломляющего волокна, поэтому соберем эквивалентную модель брэгговской решетки с имитацией двулучепреломления волокна.

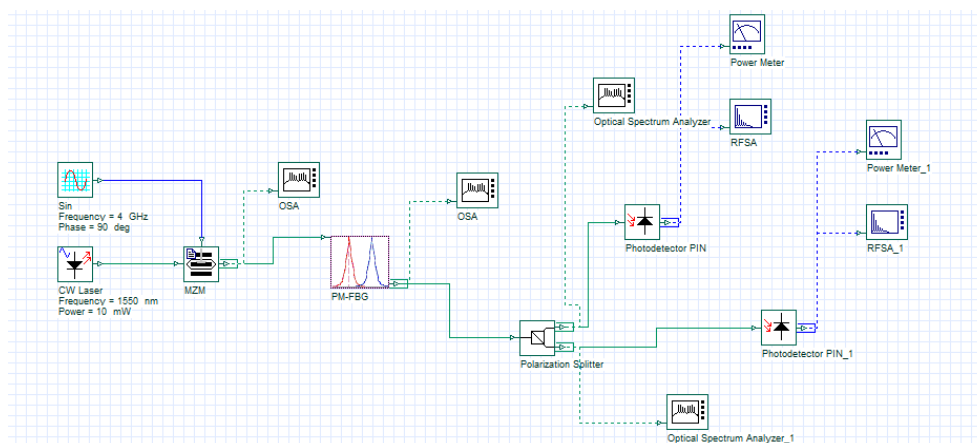


Рис.1 Эквивалентная модель брэгговской решетки с имитацией двулучепреломления волокна

Зондируем двухчастотным излучением решетку, записанную в двулучепреломляющем волокне.

Задав поперечное давление по известной характеристике, были получены две характеристики для двух ортогональных осей поляризации ВРБ.

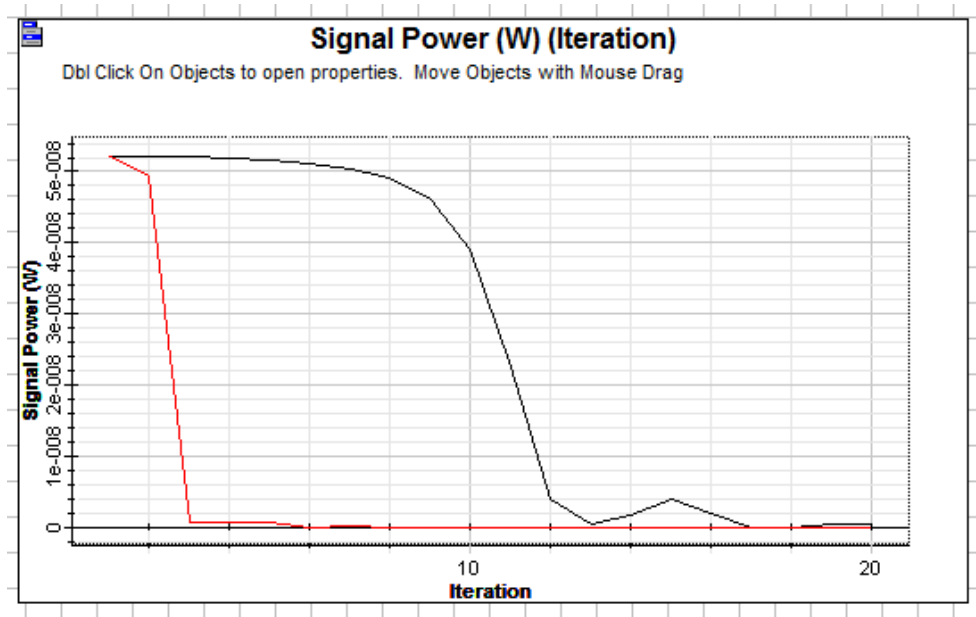


Рис.3 Характеристики для двух ортогональных осей поляризации ВРБ

Информативные возможности вихретоковой томографии

Гольдштейн Александр Ефремович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: algol54@yandex.ru

Одним из наиболее информативных методов неразрушающего контроля и диагностики, обеспечивающим получение наибольшей информации о каждом элементарном объеме исследуемого объекта является томография. По виду используемого физического поля различают радиационную, оптическую, ультразвуковую, радиоволновую, магниторезонансную томографии. В первом случае используются высокоэнергетические электромагнитные волны частотой более $3 \cdot 10^{16}$ Гц, во втором – электромагнитные волны оптического диапазона, в третьем – акустические волны ультразвукового диапазона, в четвертом – электромагнитные волны сверхвысокочастотного радиоволнового диапазона, в пятом – электромагнитные волны высокочастотного радиоволнового диапазона в сочетании с сильными постоянными магнитными полями.

Для решения ряда задач томографии в технической сфере, как показано в [1], могут быть эффективно использованы вихретоковые методы контроля, основанные на возбуждении в электропроводящих частях объекта контроля низкочастотными магнитными полями диапазона ($10^1 \dots 10^7$) Гц вихревых токов. Данные методы могут быть использованы для получения детальной информации о структуре составных металлических объектов.

Преимуществами вихретоковых методов контроля перед другими физическими методами, используемыми в томографии, являются высокая производительность контроля, безвредность и возможность получения информации при одностороннем доступе к объекту контроля (по сравнению с радиационными методами), более высокая проникающая способность и возможность получения информации об электромагнитных свойствах объекта (по сравнению с оптическими и радиоволновыми методами), возможность получения информации при наличии зазоров в структуре объекта (по сравнению с акустическими методами), возможность контроля объектов из материалов с высокой электропроводностью (по сравнению с методами магниторезонансной томографии).

Возможность реконструкции сложных по своей структуре (конструкции) объектов по результатам вихретокового контроля обеспечивается аналогично перечисленным выше видам томографии использованием главным образом двух способов повышения информативности контроля. Первый способ заключается в сканировании поверхности объекта при локализации зоны взаимодействия возбуждающего магнитного поля вихретокового преобразователя (ВТП) и объекта контроля. Второй способ заключается в получении измерительной информации при различных углах взаимной

пространственной ориентации вектора напряженности возбуждающего магнитного поля и объекта контроля. Во втором случае, в отличие от первого, используется ВТП с высокой однородностью чувствительности к объекту во всей зоне контроля. В терминах томографии, таким образом, можно говорить об использовании для повышения информативности «многоакурсного» взаимодействия физического поля с объектом.

В качестве конкретных примеров в данной работе рассмотрены задачи реконструкции плоского электропроводящего объекта с использованием сканирования поверхности объекта ВТП с локальной зоной взаимодействия возбуждающего магнитного поля и объекта контроля и реконструкции объемных локальных электропроводящих объектов, имеющих форму тел вращения для случаев нахождения в зоне контроля одиночных объектов, а также пар объектов при соосной и несоосной ориентации.

Показано, что для плоских объектов может быть получена информация о форме, материале, размерах, и сплошности составных частей плоского металлического объекта [2], для объемных локальных электропроводящих объектов – информация о форме, материале, размерах, ориентации в пространстве электропроводящего объекта [3]. Для несимметричных объектов может быть получена количественная информация о степени их несимметрии, которая может быть использована, в частности, для контроля взаимного положения сопрягаемых деталей.

Литература:

- [1] Якубов В. П., Штилов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. *Радиоволновая томография: достижения и перспективы: монография / под ред. В.П. Якубова.* // Томск: Изд-во НТЛ. 2014. С. 264.
[2] Гольдштейн А. Е., Белянков В. Ю., Якимов Е. В. *Способ вихретокового контроля толщины стенки металлических немагнитных труб. Патент РФ № 2656115.* – Бюл. изобр. 2018. № 16.
[3] Гольдштейн А. Е., Жуков В. К. *Использование нестационарных по направлению магнитных полей для идентификации локальных электропроводящих объектов.* // Томск: Печатная мануфактура. 2002. С. 139.

Экспериментальная установка для измерения скорости упругих волн с высокой точностью

Гущина Лилия Владимировна

Муравьев Виталий Васильевич

Злобин Денис Владимирович

Земсков Тимур Иванович

Нуриев Вадим Фадисович

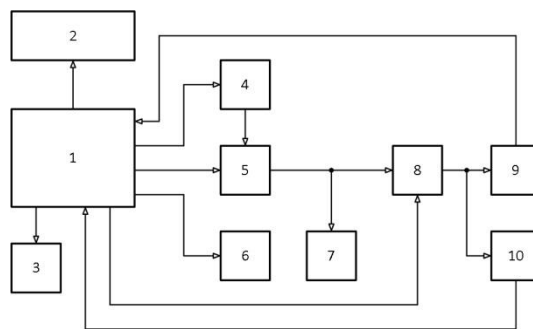
Безрученков Георгий Владимирович

ФГБОУ ВО ИжГТУ имени М.Т. Калашникова

E-mail: pmkk@mail.ru

Известно, что структурные состояния сталей и сплавов связаны со скоростью ультразвука [1, 2]. Данный параметр требует внимания, так как имеет тесную корреляцию со структурой исследуемого образца, связанной с режимами термической обработки, наличием внутренних напряжений, химическим составом и т.д. Однако для оценки изменений вышеперечисленных свойств объекта контроля требуется высокоточное измерение скорости ультразвуковой волны, которое не в состоянии обеспечить традиционные дефектоскопы. Причинами этого являются - отсутствие в большинстве дефектоскопов возможности анализировать недетектированный сигнал (на экране видна только огибающая сигнала, что может привести к временной ошибке в один период). Кроме того, не все дефектоскопы имеют автоматическую регулировку усиления (АРУ), что может привести к паразитной амплитудно-временной модуляции показаний либо требует от оператора постоянной подстройки амплитуды сигнала.

Целью работы, учитывая вышесказанное, явилась разработка и изготовление экспериментальной установки с использованием современной элементной базы, позволяющей существенно повысить точность определения скорости акустических волн. Управление всеми основными функциями установки осуществляется микроконтроллером (МК), состав и взаимодействие основных блоков представлены на (рис.1).



1. Микроконтроллер; 2. ЖК индикатор; 3. Органы управления; 4. Генератор высокого напряжения; 5. Генератор зондирующего импульса; 6. Конвертер отрицательного напряжения; 7. ПЭП; 8. Управляемый напряжением усилитель; 9. Компаратор; 10. Пиковый детектор.

Рис.1 Блок-схема установки

Основными преимуществами прибора являются наличие системы АРУ, возможность программного усреднения результатов или более сложной математической их обработки, гибкая настройка на частотные параметры преобразователя и условия проведения измерений. Кроме того, имеются основания предполагать, что при возрастающих требованиях к точности, необходимо учитывать изменение спектрального состава импульса на разных толщинах, для этого в программное обеспечение прибора могут быть введены соответствующие поправочные коэффициенты. Поскольку управление процессом измерения определяется доступной для изменения прошивкой МК, появляется возможность оперативно изменять условия проведения эксперимента (синхронизация по внешним событиям, возможность применения нестандартных акустических преобразователей (например, электромагнитных). С помощью изготовленной установки проведен ряд измерений скоростей УЗ волн, получены более высокие по сравнению с существующими приборами точностные характеристики.

Список публикаций:

[1] Муравьев В. В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки // Дефектоскопия. 1989. № 2. С. 66-68.

[2] Муравьев В. В., Бояркин Е. В. Неразрушающий контроль структурно-механического состояния рельсов текущего производства по скорости ультразвуковых волн // Дефектоскопия. 2003. № 3. С. 24-33.

[3] Муравьев В. В., Муравьева О. В., Платунов А. В., Злобин Д. В. Исследования акустоупругих характеристик стержневой волны в термически обработанных стальных проволоках электромагнитно-акустическим методом // Дефектоскопия. 2012. № 8. С. 3-15.

Алгоритм пространственно-временной обработки в частотной области для ультразвуковой томографии с использованием матричных антенных решеток

Долматов Дмитрий Олегович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Седнев Дмитрий Андреевич, к.т.н.

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

Промышленной ультразвуковые томографы представляют собой автоматизированные системы ультразвукового контроля, обеспечивающие возможность получения результатов в форме изображений внутренней структуры объектов контроля. На сегодняшний день в подобных системах широкое распространение получили антенные решетки (АР), что обусловлено возможностью получения изображений в одной измерительной позиции и высокое отношение сигнал/шум результатов.

В рамках ультразвуковой томографии с применением АР большой интерес представляет технология цифровой фокусирующей антенны (ЦФА). К достоинствам подобного подхода можно отнести:

1. возможность получения высокой фронтальной разрешающей способности во всей области визуализации;
2. возможность когерентного сложения изображений, полученных в разных положениях АР, что позволяет получить изображение с высокой разрешающей способностью во всех его областях;
3. Легкость адаптации технологии как для двумерного, так и для трехмерного случая [1].

Технология ЦФА включает в себя применение специального метода регистрации данных, при котором используется режим перебора всех возможных комбинаций, индивидуально излучающих и принимающих элементов АР (режим двойного сканирования), а также использование алгоритмов пространственно-временной обработки данных для получения изображений внутренней структуры объектов контроля [2].

На сегодняшний день на практике в системах ультразвуковой томографии на основе технологии ЦФА применяются линейные АР. Для таких преобразователей разработаны методики регистрации ультразвуковых данных и алгоритмы пространственно-временной обработки, позволяющие получать результаты в режиме реального времени. Одним из недостатков линейных АР является невозможность получения трехмерных синтезированных изображений в одной позиции ультразвукового преобразователя. Объемный результат может быть получен только за счет перемещения преобразователя вдоль поверхности объекта контроля. Тем не менее, подобные изображения будут обладать низкой разрешающей способностью в направлении соответствующем пассивной апертуре линейной АР.

В свою очередь, применение матричных АР лишено подобных недостатков. Тем не менее, на сегодняшний день применение подобных преобразователей в системах ультразвуковой томографии ограничено по причине отсутствия подходов, обеспечивающих получение синтезированных изображений в режиме реального времени при использовании стандартных вычислительных ресурсов. Одним из вопросов в рамках решения данной проблемы является разработка вычислительно-эффективных алгоритмов пространственно-временной обработки для ультразвуковой томографии на основе метода ЦФА с использованием матричных АР. Подобные алгоритмы должны обеспечивать высокое качество результатов при различных условиях проведения ультразвуковой томографии.

В данной работе рассматривается алгоритм для ультразвуковой томографии с использованием матричной АР с расчетами в частотной области. Производится его сравнение с алгоритмом расчета во временной области, который на сегодняшний день получил наиболее широкое распространение в ультразвуковой томографии. Эффективность алгоритма исследуется при различных условиях проведения контроля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" (Уникальный идентификатор проекта: 14.578.21.0251)

Список публикаций:

[1] Базулин Е. Г. // Дефектоскопия. 2013. №. 7. С. 51-75.

[2] Самокрутов А. А., Шевалдыкин В. Г. // Дефектоскопия. 2011. №. 1. С. 21-38.

Study of the aerodynamic parameters of the installation, generating wind flow in open space

Duisenbayeva Moldir Serikbekovna

Neshina Yelena Gennadiyevna

Madi Perizat Shaimuratovna

Abiljanova Fariza Bolatovna

Dyusseimbina Aigerim Galymovna

Kenzhebek Aksaule Serikbaykyzy

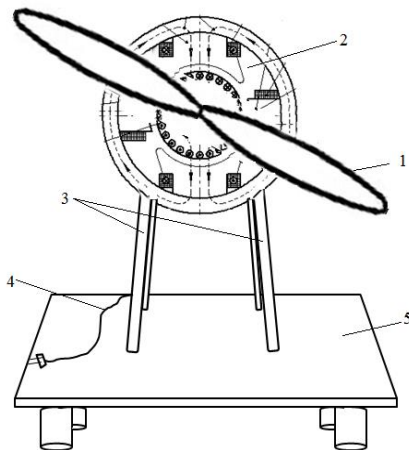
Karaganda State Technical University

E-mail: 1_neg@mail.ru

Currently, many countries produce electricity in various ways. The transition to an ecological and sustainable development economy is associated with the use of natural resources. Due to the fact that at present the lack of electricity and the improvement of the environmental situation, recently the problem of obtaining energy from renewable energy sources is relevant [1,2]. To save fuel and energy resources, protect the environment from harmful effects and provide regions with electricity, renewable energy sources are needed. The growth of energy consumption while using renewable energy sources does not disturb the general thermal equilibrium on the earth and does not lead to the global heating. The amount of energy entering the earth and departing from the earth does not change. In the world, wind energy is a developing type of renewable energy [3-5].

Objective - study of the aerodynamic parameters of the aerodynamic installation, causing wind flow in open space.

Compiled models of the aerodynamic installation, creating an uneven wind speed in open space. The installation is designed to study the aerodynamic characteristics of a wind turbine. A diagram of the aerodynamic installation, creating an uneven wind speed, is shown in Figure 1.



1-propeller, 2-engine type DKM-1UHLA, 3-props, 4-connecting wire, 5-support
Fig.1 Diagram of the model of the aerodynamic installation, causing wind flow

To determine the flow velocity at a distance of 10 cm to 130 cm from the model of the propeller, causing a jet of vortex wind, an experiment was conducted. To determine the speed in the stream, an anemometer Skywatch Xplorer1 was used. Depending on the distance from the screw at given points during the experiment, the indicators of the change in velocity in the stream spread from the propeller, with $y = 0$, $y = -10$ cm

List of publications:

- [1] Sibikin Yu. D., Sibikin M. Yu. *Unconventional and renewable energy sources: Ed. "Bureau of new technology" Textbook*. // M.Zhnorus. 2010. P. 232.
- [2] Abdrakhmanov R. S., Yakimov F. V. *Efficient use of wind power sources with limited wind speeds*. // *Izvestiya Russian Academy of Sciences*. 2010. № 5. Pp. 54-57.
- [3] Bychkov N. M. *Wind turbine with Magnus effect: 1 Results of model studies* // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2004. № 4. Pp. 583-596.
- [4] Bychkov N. M. *Wind turbine with Magnus effect. 2. Characteristics of the rotating cylinder* // *Thermophysics and Aeromechanics*. 2005. № 1. Pp. 59-175.
- [5] Yershina A. K., Yershin Sh. A. Manatbaev R. K. *Research of thermal protection of rotating parts wind turbine Darie* // *Abstracts V-th international conference Problems of industrial heat Engineering*. Kyiv. 2007. Pp. 248-249.

Ультразвуковое зондирование высотного профиля поверхности в воздухе

Ерзакова Надежда Николаевна

Завьялова Ксения Владимировна

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Научный руководитель: Суханов Дмитрий Яковлевич, доктор физ.-мат. наук

E-mail: yezakova-nadya@yandex.ru

В современном мире автомобильные дороги являются стратегически необходимой частью инфраструктуры любой страны. Поддержание дорог в хорошем состоянии является государственной задачей. Ненадлежащее состояние дорожного покрытия приводит к поломке и повреждению транспортных средств, что причиняет материальный ущерб автовладельцам, повышает расход топлива и значительным образом плохо сказывается на экологической обстановке. Для своевременного ремонта дорожного покрытия ремонтным службам необходима информация не только о текущем состоянии дорожного покрытия [1], но и контроль качества высотного профиля покрытия. Предлагается система ультразвукового сканера для мониторинга состояния высотного профиля дорожного покрытия. Система основана на линейных решётках ультразвуковых излучателей и приёмников, обеспечивающая

непрерывное зондирование поверхности со скоростью 20 м/с. (рис.1). Ультразвук дает возможность получить достаточно высокое разрешение (20 мм) при относительных частотах зондирования, что позволяет применять низкочастотную электронику для генерирования и приема сигнала.

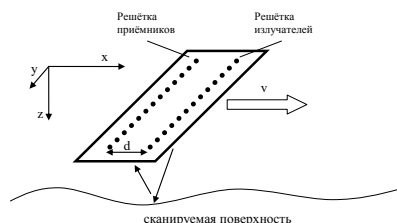


Рис.1 Схема измерений

Все излучатели соединены параллельно и излучают одинаковый сигнал, формируя цилиндрическую волну. Волна от излучателей рассеивается на поверхности и попадает в приёмную решётку. Сигнал с каждого элемента приёмной решётки измеряется одновременно и оцифровывается. Ультразвуковые датчики управляются микроконтроллером, который осуществляет оцифровку сигналов и передаёт их для дальнейшей обработки в компьютер. Специальное программное обеспечение, путём обработки принятых сигналов восстанавливает профиль поверхности дороги.

Зондирование на двух частотах с многоканальной оцифровкой рассеянных поверхностью сигналов позволяет производить зондирование на достаточно высокой скорости движения носителя. На рассматриваемых скоростях существенен эффект Доплеровского уширения спектра сигнала. Алгоритм обработки сигналов быстрого ультразвукового зондирования [2-3] позволяет учитывать эффекты Доплеровского уширения. За счёт применения двухчастотного зондирования обеспечивается однозначность определения высоты поверхности. Было проведено численное моделирование алгоритмов обработки принципиальной схемы параллельной оцифровки. Осуществлен сбор и передача сигналов ультразвукового зондирования в рамках модульной архитектуры, обеспечивающей масштабирование системы. В процессе работы проведены лабораторные испытания элементов системы и экспериментальные исследования на контролируемой неровной поверхности.

Разработана математическая модель, которая позволяет восстанавливать изображения высотного профиля с разрешением по осям XY не хуже 20 мм и точностью определения высоты до 3 мм сигнала при быстром движении зондирующей системы. Разработка данной системы ультразвукового сканера может являться основой для создания прототипа устройства зондирования высотного профиля дорожного покрытия для обнаружения дефектов дорожного покрытия.

Список публикаций:

- [1] Целых Д. С., Привалов О. О. Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия // *Технические науки: теория и практика: материалы Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.)*. Чита: Издательство Молодой ученый. 2012. С. 74-78. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/7/2149>
- [2] Sukhanov D., Erzakova N. Ultrasound sounding in air by fast-moving receiver // *Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 363(1) doi:10.1088/1757-899X/363/1/012024
- [3] Ylitalo J. A fast ultrasonic synthetic aperture imaging method: Application to NDT // *Ultrasonics*. 1996. 34(2-5). Pp. 331-333. doi:10.1016/0041-624X(95)00106-D

Исследование влияния низкочастотных помех на преобразователь сопротивления в напряжении при контроле изоляции кабеля

Ермошин Николай Иванович

Якимов Евгений Валерьевич

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Гольдштейн Александр Ефремович

E-mail: ermoschin.nik@yandex.ru

Контроль свойств изоляции кабельных изделий является важнейшей проблемой, которая существует при производстве и эксплуатации кабелей. Потому что естественное старение и деградация изоляционного покрытия кабеля приводят к нарушению электробезопасности. Одним из информативных параметров, по которому можно дать оценку качеству изоляции кабельного изделия – активное сопротивление.

Для борьбы с помехами, вызванными движением оператора и расположенных вблизи предметов, необходимо сначала понять каким образом возникает влияние оператора на сигнал преобразователя сопротивления в напряжение (ПСН). При этом необходимо выявить через какие виды электромагнитных полей, электрические или магнитные, помехи оказывают наибольшее воздействие, а также исследовать зависимость амплитуды помех от расстояния до преобразователя и исследуемого кабеля.

Для того чтобы симитировать влияние оператора на измерительный процесс, был изготовлен маятник с металлическим грузом в форме цилиндра высотой $h = 38$ мм и диаметром 14 мм. Электростатический заряд на цилиндре создавался путём подачи постоянного напряжения U_q .

Источник постоянного напряжения имел диапазон выходного напряжения от 0 до 300 В. Потенциал металлического груза маятника задавался с шагом 25 В. Точка покоя маятника (основание металлического груза) находилась на расстоянии r от инвертирующего входа операционного усилителя ПСН.

При сравнении экспериментальных зависимостей амплитуды напряжения помехи от потенциала заряженного металлического груза маятника видно, что движущиеся электростатические заряды оказывают большее влияние при воздействии через кабель. При воздействии только на ПСН коэффициент зависимости амплитуды помехи в два раза меньше (рис.1).

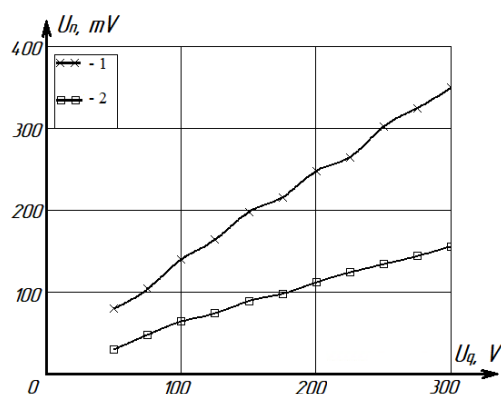


Рис.1 Экспериментальная зависимость амплитуды напряжения помехи U_n от потенциала заряженного металлического груза маятника при $r = 40$ мм, в момент времени t_1 : 1 – воздействие заряженного металлического груза маятника на кабель; 2 – воздействие заряженного металлического груза маятника на ПСН.

Проведённые эксперименты показывают, что без экранирования ПСН и без предусмотренной экранирующей камеры для контролируемого кабеля, на результаты измерений огромное влияние оказывает электростатический заряд, накапливаемый на поверхности ПСН, объекте контроля и на операторе, проводящем контроль. Влияние электростатического заряда на измерения происходит только при динамическом взаимодействии оператора с измерительным преобразователем и объектом контроля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" (Уникальный идентификатор проекта: 14.578.21.0251).

Численное моделирование дальних полей вихревых токов для тонкостенного цилиндрического изделия

Ефимов Алексей Геннадьевич, д.т.н.

Мартьянов Евгений Владимирович, к.т.н.

Шубочкин Андрей Евгеньевич, д.т.н.

ЗАО «НИИИИИ МНПО «СПЕКТР»

E-mail: grazier@mail.ru

Первые публикации, описывающие физические принципы метода неразрушающего контроля в удаленных полях вихревых токов появились около 30 лет назад. Метод позволяет значительно расширить область применения вихретокового контроля. Однако, из-за отсутствия теоретического обоснования, большого распространения в мире этот метод не получил.

Отличительной особенностью рассматриваемого метода является возможность выявления дефектов на внешней (по отношению к вихретоковому преобразователю) стороне контролируемого объекта, что является невозможным для классического вихретокового метода из-за ограниченной глубины проникновения вихревых токов.

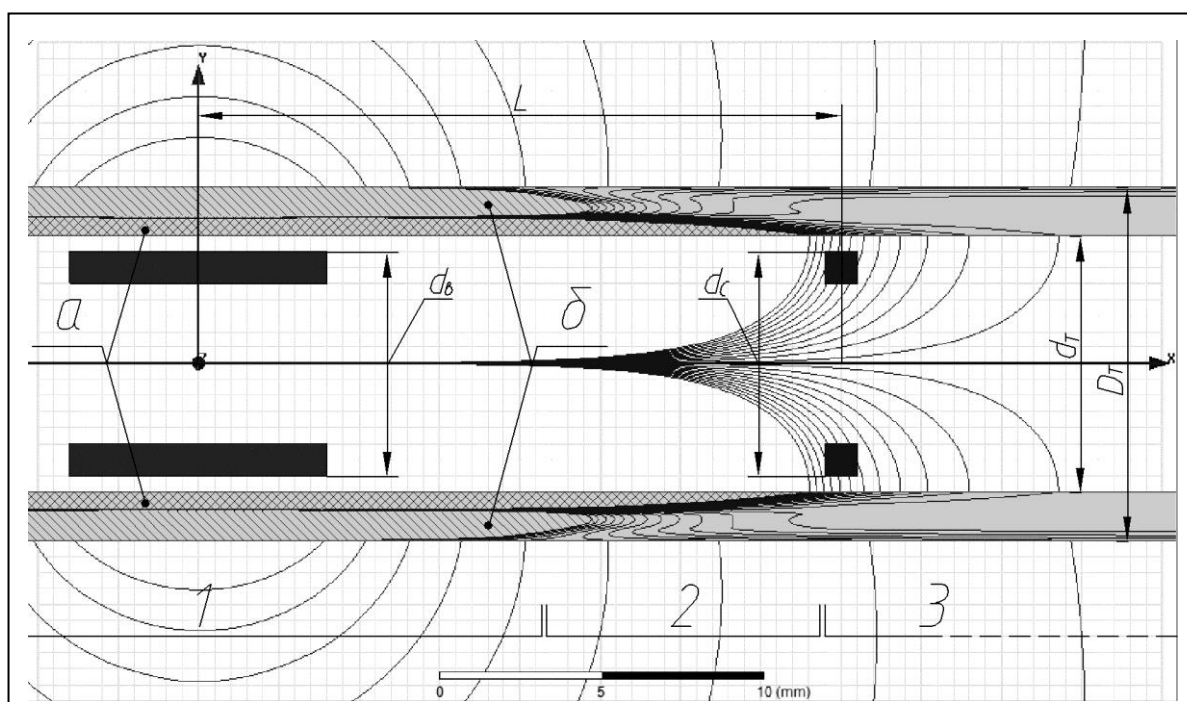


Рис.1 Расположения силовых линий суммарного магнитного поля от тока возбуждения и вихревых токов (для преобразователя с одной катушкой возбуждения). 1 - ближнее поле; 2 - переходная зона; 3 - область удаленных полей, а - область магнитного поля, создаваемого током возбуждения; б - область магнитного поля, возбуждаемого вихревыми токами в материале объекта контроля

В докладе рассмотрены основы метода, приведены отличительные особенности, указаны преимущества и недостатки контроля металлов в дальних полях вихревых токов. Проведено численное моделирование, выполнен анализ полученных результатов, представлена конструкция преобразователя для контроля в удаленных полях вихревых токов. Также рассмотрено влияние различных факторов на изменение вносимого напряжения сигнальной катушки вихретокового преобразователя при наличии дефекта наружной стенки трубы. Получены выражения, определяющие оптимальное соотношение диаметров преобразователя и контролируемого изделия. Определены значения параметров контроля и предельная толщина стенки контролируемого ферромагнитного изделия.

Список публикаций:

- [1] Ефимов А. Г., Шубочкин А. Е., Мартьянов Е. В. Современные вихретоковые системы неразрушающего контроля металлопроката // Контроль. Диагностика. 2014. № 12. С. 19-20.
- [2] Russell D., Shen V. Increased Use of Remote Field Technology for In-Line Inspection of Pipelines Proves the Value of the Technology for this application // D.Russell. World Conference on Nondestructive Testing. 25-28 Oct 2008, Shanghai, China
- [3] Yang B., Li Xu. Pulsed remote eddy current field array technique for nondestructive inspection of ferromagnetic tube // Nondestructive Testing and Evaluation. 2010. Vol. 25. № 1. Pp. 3-12.

Разработка оптимальных характеристик датчика ударного взаимодействия при определении механических характеристик материалов

Ильинский Александр Вячеславович

Федоров Алексей Владимирович

Кинжагулов Игорь Юрьевич

Степанова Ксения Андреевна

Университет ИТМО

Научный руководитель: Федоров Алексей Владимирович, д.т.н.

E-mail: allill003@mail.ru

Механические свойства конструкционных и функциональных материалов традиционно являются важнейшими показателями их качества. В последние годы одним из интенсивно развивающихся методов определения механических свойств является метод динамического индентирования, разработанный в ИПФ НАН Беларуси [1, 2]. Однако при всех достигнутых результатах имеется ряд проблемных областей и вопросов, нуждающихся в усовершенствовании.

Данная работа посвящена решению одной из задач, а именно разработке оптимальных решений датчика динамического индентирования, как геометрических, так и программных в части алгоритма обработки исходного сигнала.

В основе метода динамического индентирования лежит непрерывная регистрация процесса ударного локального контактного взаимодействия индентора с испытываемым материалом, а именно регистрация текущей скорости движения индентора. При этом в данной работе рассматривается датчик с гравитационным разгоном индентора, внешний вид которого представлен на рис. 1.



а) внешний вид

б) 3d модель

Рис.1 Прибор динамического индентирования:

Для решения поставленной задачи был проведен:

- анализ стандартов ISO по измерению твердости в части конструкции датчика;
- анализ существующего датчика, как в части геометрии его компонентов, так и в части обработки исходного сигнала.

На основе анализа аргументированы исходные данные для разрабатываемого датчика с использованием пакета «Comsol Multiphysics». Далее представлены и обоснованы оптимальные параметры датчика ударного взаимодействия, реализованные в приборе динамического индентирования.

Список публикаций:

[1] Рудницкий В. А., Рабцевич А. В. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов // Дефектоскопия. 1997. № 4. С. 79-86.

[2] Крень А. П. Контроль физико-математических свойств и трещиностойкости неметаллических конструкционных материалов методами индентирования: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук : специальность 05.11.13 // Государственное научное учреждение "Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси".

Тепловой метод неразрушающего контроля тонкостенных изделий

Каледин Валерий Олегович¹

Будадин Олег Николаевич²

Вячкина Елена Александровна¹

Вячкин Евгений Сергеевич¹

¹Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета

²АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения»

E-mail: SedovaEA@yandex.ru

Рассматривается методика неразрушающего контроля тонкостенных конструкций на основе фиксации изменения тепловых полей, создаваемых источниками на внутренних дефектах материала.

Как известно, методы неразрушающего контроля наиболее востребованы в дефектоскопии, однако каждый из применяемых методов имеет существенные недостатки для конструкций со сложной геометрией. Поэтому исследования в области неразрушающего контроля продолжаются и появляются новые методы. Одним из наиболее перспективных является метод тепловой диагностики конструкций. Данный метод основан на фиксации динамического температурного поля на поверхности и определении местоположения источника тепловой энергии относительно поверхности изделия. Для определения местоположения и размера дефекта необходимо решить обратную задачу нестационарной теплопроводности, зная закономерности развития динамических температурных полей.

Для исследования таких закономерностей рассмотрим тонкое трехмерное тело при начальной температуре T_0 . Внутри него расположен точечный источник, излучающий постоянный тепловой поток мощностью q в течение ограниченного времени. Необходимо найти распределение температуры на поверхности в любой момент времени. Запишем краевую задачу в виде системы уравнений с краевыми и начальными условиями:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} - \alpha \nabla^2 T = \frac{q}{c\rho} \delta(x - x_0, y - y_0, z - z_0), \\ T(x, y, z, \tau) = T_0, \\ T(\pm \infty, \pm \infty, \pm \infty, \tau) = T_0, \\ -\lambda \frac{\partial T(x, y, H/2, \tau)}{\partial z} = \chi [T(x, y, H/2, \tau) - T_0], \\ \lambda \frac{\partial T(x, y, H/2, \tau)}{\partial z} = \chi [T(x, y, H/2, \tau) - T_0], \end{cases} \quad (1)$$

где α – коэффициент температуропроводности,
 τ – время,
 c – теплоемкость,
 ρ – плотность,
 T_0 – температура в начальный момент времени,
 H – толщина пластины,
 χ – коэффициент теплообмена.

В связи со сложностью получения аналитического решения исходной задачи найдем его численно.

Первое уравнение системы (1) методом конечных элементов может быть преобразовано к уравнению:

$$CT' + KT = Q, \quad (2)$$

где C – матрица теплоемкости,
 K – матрица теплопроводности,
 Q – матрица-столбец узловых мощностей.

Найдем решение уравнения (2) методом конечных разностей. Заменим производную от температуры по

времени правой разностью $T' = \frac{T^{t+1} - T^t}{\tau}$, получим:

$$CT^{t+1} - CT^t + \tau KT^{t+1} = \tau Q^t. \quad (3)$$

Сгруппировав выражение (3), получим:

$$(C + \tau K)T^{t+1} = CT^t + \tau Q^t. \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет на каждом шаге по времени найти температуру.

Исследованы закономерности влияния расположения источника на параметры температуры на поверхности, позволяющие определить положение источника по трём координатам.

Отказоустойчивый контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемно-транспортных машин специального назначения

Калиниченко Владимир Сергеевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Научный руководитель: Власов Юрий Алексеевич, д.т.н.

E-mail: kvs-2010@mail.ru

Существует класс подъемно-транспортных машин (ПТМ), разработка, испытания и производство которых имеют определенные особенности. К таким машинам специального назначения можно отнести мобильный комплекс связи на базе автомобиля КАМАЗ повышенной проходимости с установленным подъемником пантографного типа с высотой подъема мачты на высоту 32 м с полезным грузом до 1 т и возможностью работы в суровых климатических условиях Крайнего Севера: в частности температура окружающей среды $\pm 60^\circ\text{C}$, скорость ветра до 30 м/с. Особенностью работы данной машины является то, что каждый цикл подъем/опускание предполагает постоянное и непрерывное истощение ресурса металлоконструкции подъемника и тяговых канатов механизма подъема. Несмотря на применение высокопрочной стали в конструкции подъемника необходимость снижения массогабаритных показателей вынуждает обеспечивать функционирование подъемника в области слабых пластических деформаций. Ввиду этого, целесообразно применить тензометрический метод контроля на этапе создания опытного образца конструкции подъемника совместно с методом теплового неразрушающего контроля на основе механизма деформационного теплообразования [1-7]. В процессе эксплуатации целесообразно применение только последнего метода.

Основным требованием, предъявляемым к металлоконструкциям ПТМ, является сохранение несущей способности, при этом прогибы и деформации в общем случае не нормируются, а, следовательно, в целях экономии при проектировании можно использовать все ресурсы пластической работы материала. По сути, конструкция должна обладать свойством живучести при воздействии на нее кратковременных динамических нагрузок. Применение методов теории живучести технических систем и статических и динамических оценок функционирования технических объектов позволяет точнее определить остаточный ресурс металлоконструкций ПТМ, после воздействий нормативных и сверхнормативных динамических нагрузок [8-14]. Цель данной работы заключалась в обеспечении отказоустойчивого контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций ПТМ.

Проведение экспериментальных исследований и обработка результатов испытаний опытного образца подъемника пантографного типа (рис.1, а), позволили получить новые статистические данные применяемых методов неразрушающего контроля [15]. Метод тензометрии достаточно точно позволил оценить напряженно-деформированное состояние конструкции на предмет соответствия заявленных характеристик техническому заданию. Метод теплового неразрушающего контроля на основе механизма деформационного теплообразования был синхронно использован при испытаниях (рис.1, б), а обработка полученных в совокупности данных позволяет разработать методику экспресс диагностики отказоустойчивого контроля напряженно-деформированного состояния конструкций ПТМ.

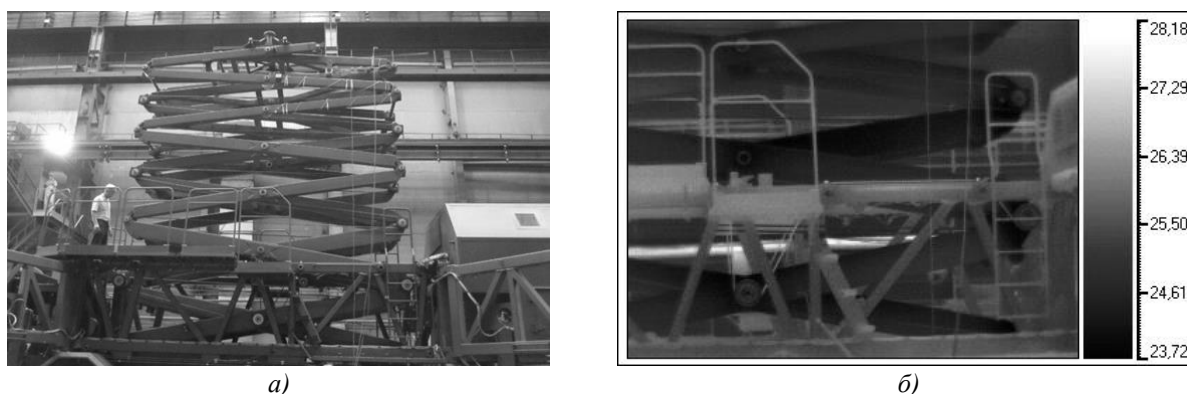


Рис.1, а – опытный образец подъемника пантографного типа; б – термограмма испытаний подъемника

Цена деления или единица младшего разряда для каждой измерительной системы определена по формуле (1):

$$1_{\text{пр}i} = \frac{\varepsilon}{\Delta C}, \quad (1)$$

где ε – относительное значение деформации в конструкции, ΔC – показания системы при определении единицы младшего разряда.

Единицу младшего разряда теплового неразрушающего метода контроля на основе механизма деформационного теплообразования получили на основе сопоставления с данными тензометрии. Изменение деформации преобразуется в выделение тепла в диапазоне температурного поля, заданного пределами тепловизионного измерительного оборудования.

Таким образом, в работе показано, что измерение деформаций и напряжений обеспечивается применением тензометрического метода, который обладает достаточной точностью измерений, но получаемая испытательная информация ограничена областями установки тензодатчиков. Разработан метод отказоустойчивого контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций ПТМ, который обеспечивается применением дублирующего, косвенного, дистанционного метода измерения механических напряжений и деформаций средствами инфракрасной термографии. Панорамные исследования ответственных конструкций позволяют проводить экспресс контроль в процессе эксплуатации машин. Разработана методика определения цены деления теплового неразрушающего метода контроля на основе механизма деформационного теплообразования.

Список публикаций:

- [1] Bekher S. A., Kolomeets A. O. // *Journal of Physics : Conference Series*. 2016. Vol. 671. № 1. P. 012029.
- [2] Bekher S. A. // *Journal of physics: Conference series*. 2016. Vol. 671. № 1. P. 012005.
- [3] Патент РФ 101811. Многоканальная тензометрическая система для статических или динамических испытаний металлоконструкций строительных машин / Ананин В. Г., Однокопылов Г. И., Калининко В. С.; Заявл. 01.10.2010. Опубл. 27.01.2011. Бюл. № 3.
- [4] Moysenchik E. A., Vavilov V. P. // *International Journal of Damage Mechanics*. 2018. Vol. 27. № 6. P.950.
- [5] Вавилов В. П. // *Дефектоскопия*. 2017. № 10. С. 34-57.
- [6] Вавилов В. П., Нестерук Д. А // *Инноватика и экспертиза: научные труды*. 2013. № 1 (10). С. 40.
- [7] Zorin V. A., Baurova N. I., Kosenko E. A. // *Polymer Science. Series D*. 2017. Vol. 10. № 3. С. 241.
- [8] Odnokopylov G. I., Sarkisov D. Y. // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2017. Vol. 328. № 3. P.85.
- [9] Odnokopylov G. I., Sarkisov D. Y., Butuzov E. A. // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2018. Vol. 329, № 12. P. 122.
- [10] Odnokopylov G. I., Kumpyak O. G., Galyautdinov Z. R., Galyautdinov D. R. // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2019. Vol. 330, № 4. P. 110.
- [11] Odnokopylov G. I., Shevchuk V. A., Dementyev Y. N. // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2019. Vol. 330, № 5. P. 131.
- [12] Махутов Н. А. [и др.] *Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин* // М.: URSS. 2019. С. 576.
- [13] Махутов Н. А. [и др.] *Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения* // М.: URSS: ЛЕНАНД, 2018. С. 719.
- [14] Махутов Н. А. // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2018. Т. 84. № 11. С. 46.
- [15] Калининко В. С. // *Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции, г. Рубцовск, 18-19 декабря 2013 г.* Рубцовск: Изд-во РИИ АлтГТУ. 2013. С. 263.

Решение задач контроля механических характеристик функциональных покрытий методом динамического индентирования

Кашипова Ирина Альфировна

Ильинский Александр Вячеславович

Кузьмичев Михаил Валерьевич

Егоров Роман Александрович

Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург

Научный руководитель: Федоров Алексей Владимирович

Современное развитие науки и техники сопровождается внедрением в процесс производства новых технологий и материалов. Примером таких технологий является использование в ответственных изделиях специализированных покрытий. Использование покрытия (небольшой толщины, с малым расходом дорогостоящего материала) позволяет при сохранении свойств конструкции в целом (легкость, жесткость, выносливость, низкая стоимость и др.) обеспечить требуемые физико-механические свойства поверхности (коррозионная стойкость, износостойкость, твердость, жаропрочность, стабильность формы и др.), например, в двигателях внутреннего сгорания, стволах современного оружия, жидкостных ракетных двигателях и др.

В процессе производства к покрытиям предъявляется множество требований (заданные толщина, адгезия, шероховатость, отсутствие/наличие остаточных напряжений и др.). В данной работе рассматриваются задачи контроля заданной толщины покрытия и оценки механических характеристик покрытий. Толщина должна быть соблюдена для обеспечения заданных свойств в процессе эксплуатации и геометрических размеров сопрягаемых элементов. Зачастую технологический процесс нанесения покрытий длителен и технологически сложен, что требует определенных условий проведения контроля свойств покрытия

Целью данной работы является оценка возможностей использования современных методов и средств для контроля (измерения) механических характеристик покрытия и формирование предложений для дальнейших исследований по повышению точности измерений.

По результатам анализа существующих методов было выявлено, что метод динамического индентирования (ДИ) является перспективным направлением развития неразрушающих методов безобразцовой оперативной оценки механических характеристик. Данный метод совмещает в себе преимущества стандартизованных методов определения механических характеристик материалов. Метод ДИ основан на принципе непрерывной регистрации процесса ударного локального контактного взаимодействия индентора с испытываемым материалом, а именно регистрация текущей скорости движения индентора. Данный первичный сигнал проходит дальнейшую обработку с помощью известных алгоритмов для получения механических характеристик, которые отражают критерий качества композиционного материала. Являясь портативным, прибор, реализующий метод ДИ позволяет производить безобразцовый контроль изделия.

В настоящее время созданы и находят широкое применение приборы, реализующие метод ДИ и позволяющие по специально разработанным алгоритмам давать оценку необходимых для исследования механических характеристик контролируемого материала. Метрологическое обеспечение метода ДИ получило должное развитие и активную модернизацию моделей твердомеров. Несмотря на это по-прежнему существует ряд методических источников неопределенности результатов измерений. Отсюда следует, что задача обеспечения требуемой неопределенности результатов измерений механических свойств специальных покрытий в рассматриваемых диапазонах по-прежнему остается актуальной.

Исследование процесса взаимодействия вихретоковых преобразователей с расслоениями в многослойных углепластиковых материалах

Шкатов Петр Николаевич¹

*Дидин Геннадий Анатольевич*²

*Субботин Дмитрий Евгеньевич*³

Кокуров Андрей Михайлович^{3,4}

¹*МИРЭА - Российский технологический университет*

²*ООО «ГлавДиагностика»*

³*ПАО «Туполев»*

⁴*ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук*

Научный руководитель: Шкатов Петр Николаевич, д.т.н.

E-mail: petr_shkatov@mail.ru, and-kokurov@yandex.ru

Углепластиковые композитные материалы (УКМ) находят всё более широкое применение благодаря многочисленным преимуществам, таким как лёгкость формования, высокая прочность, малый вес, коррозионная стойкость. Вихретоковым методом контроля может контролироваться объёмная доля волокна и направление укладки в отдельных слоях, выявляться дефекты, связанные с разрывами и смещениями углеродного волокна, возникающими, например, при ударных воздействиях в процессе эксплуатации. Это возможно за счет того, что углепластиковые волокна обладают электропроводностью. К наиболее опасным дефектам относятся расслоения, возникающие между слоями УКМ. Для их выявления перспективно применение вихретокового метода, однако для успешного решения этой задачи необходимо понимание физических процессов взаимодействия вихретоковых преобразователей (ВТП) с расслоениями в УКП.

В настоящее время имеется мнение о том, что вихретоковые сигналы, получаемые за счет наличия расслоений в УКМ обусловлены перераспределением вертикального вихревого тока, возникающего при возбуждении вихревых токов в образце прямоугольной катушкой, плоскость которой ортогональна к поверхности образца [1]. Проведенный анализ показывает, что возможность создания и деформации

вертикального вихревого тока расслоениями весьма проблематична, а имеющиеся вихретоковые сигналы, связанные с расслоениями, вызваны, скорее всего, смещениями углеродных волокон относительно поверхности образца. Было проведено сопоставление вихретоковых сигналов от расслоений в образцах из УКМ, полученных при гипотетической возможности возникновения вертикального вихревого тока и в том случае, когда такой возможности нет. Полученные сигналы, объясняемые перераспределением вертикального вихревого тока (рис.1), и регистрируемые при возможности его возникновения (рис. 2) имели близкие значения, что косвенно свидетельствует о сомнительности гипотезы о выявлении расслоений в образцах за счет вертикального вихревого тока. Определены условия для надежной регистрации вихретоковых сигналов от расслоений.

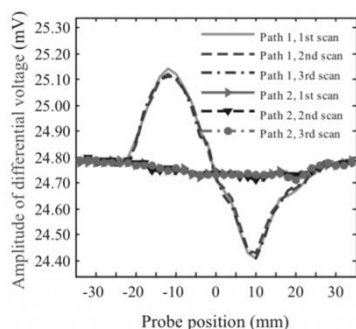


Рис.1 Изменение вихретокового сигнала ΔV ВТП с прямоугольной катушкой 6×6 мм, размещенной перпендикулярно поверхности образца с прокладкой толщиной 0,05 мм за вторым слоем [1].

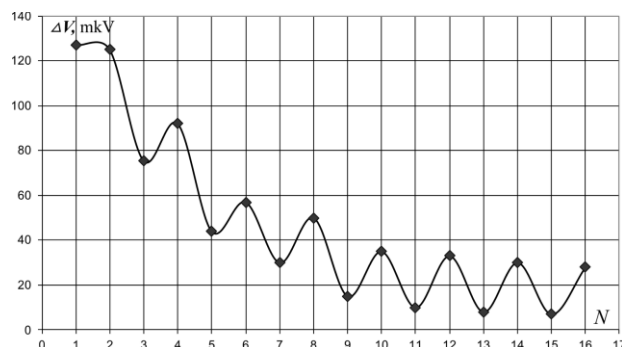


Рис.2 Экспериментально полученное изменение вихретокового сигнала ΔV ВТП с прямоугольной катушкой 50×10 мм, размещенной параллельно поверхности образца с прокладкой толщиной 0,1 мм за слоем N от поверхности образца. Начальное напряжение на бездефектном образце $V_0 = 10$ мВ.

Исследование выполнено в рамках работы по проекту «Карбон-контроль. Система оперативного контроля изделий из композитных многослойных материалов» (минигрант фонда «Сколково» № МГ 25/18 от 07 сентября 2018 г.).

Список публикаций:

[1] Zhiwei Zeng, Qingze Tian, Handong Wang, Shaoni Jiao, Jian Li. Testing of delamination in multidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates using the vertical eddy current method // Composite Structures. 2019. 208. Pp. 314-321.

Радиочастотный метод интеррогации ВБР

Коробков Леонид Владимирович

Денисенко Павел Евгеньевич

Нуреев Ильнур Ильдарович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ»

Научный руководитель: Денисенко Павел Евгеньевич, к.т.н

E-mail: lenya.kor@mail.ru

На сегодняшний день, наиболее перспективными в области сенсорных технологий являются Волоконно-оптические датчики (ВОД) на основе брэгговских решеток. Технологии радиочастотной интеррогации брэгговских решеток на данный момент остаются ключевым звеном в реализации новой эпохи измерительных комплексов. В различных полевых условиях и лабораториях они исследовались несколько десятков лет.

Целью исследования является использование метода интеррогации без использования изменения амплитуды и выявление преимуществ и особенностей применения интеррогации методом изменения частоты.

Радиочастотный метод, или метод кварцевого резонатора, основывается на измерении отклонения частоты колебаний кварцевого кристалла при осаждении на нем напыляемого материала.

При коррозии металлического материала под адсорбционными пленками электролита используется в качестве исследования. Возможность колеблющейся кварцевой пластинки изменять свою резонансную периодичность при нанесении на нее посторонней массы заложено в основу данного метода.

Перемена частоты кварцевой пластинки соответственно перемене ее массы, возбуждаемой адсорбцией коррозионно-активных материалов на напыленном на кварцевую пластинку рассматриваемом металлическом материале, и созданием элементов коррозии.

На Рис.1. можно увидеть результаты двухчастотного зондирования. Первое в покое, второе при воздействии на решетку.

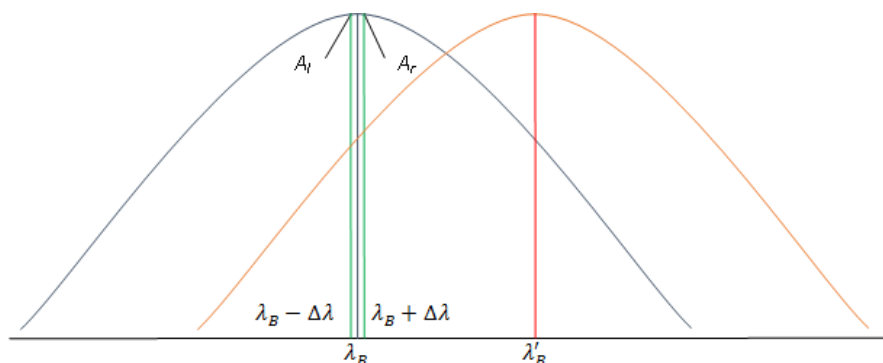


Рис.1 Симметричное двухчастотное зондирование ВБР

Для получения ВБР со спектральным смещением используется программное решение OptiGrating.

Моделирование данного метода содержится в зондировании ВБР разностным изменением частоты с имитированием изменения положения спектра решетки от воздействия внешних факторов.

Параметры используемых в моделировании функциональных блоков подбираются с учетом нескольких условий: возможность реализации как практически, так и программно, высокая схожесть с реальным параметрам, обеспечивающие лучшую результативность моделирования.

Радиочастотный метод интеррогации брэгговских решеток дает возможность создавать системы, отличающиеся в лучшую сторону от традиционных комплексов схожего назначения ценой и технологичностью производства.

Реализованные на основе таких оптических волокон охранные и противопожарные системы, гидроакустические антенны, а также системы отслеживания состояния магистральных трубопроводов становятся все более применяемыми за в других странах.

Также, немаловажным свойством этих систем является большой охват контролируемых зон, скорость работы, а также особенные информационные возможности.

Список публикаций:

- [1] Andrew Bullen, Peter Saggau. *Optical Recording from Individual Neurons in Culture* // 2016, №2, Pp. 90-124.
- [2] Гармаш В. Б., Егоров Ф. А., Коломиец Л. Н., Неугодинов А. П., Поспелов В. И. *Волоконно-оптические датчики и информационно-измерительные системы* // Сб. докладов МНТК Датчики и системы 2005. Пенза. 6-10 июня. 2015. С. 19-39.
- [3] Мандель Л., Вольф Э. *Оптическая когерентность и квантовая оптика* // М.: Физматлит, 2016. С. 57-67.

NDT&E for Industry 4.0

Dirk Koster¹,

Michael Kroening^{2*}

¹Fraunhofer Institute Nondestructive Testing, Saarbruecken, Germany

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

*E-mail: michael@kroening.com

Background

Nondestructive material testing and evaluation technics and applications shaped and progressed always in line with industrial demands and technical requirements. The current state of NDT&E has evolved driven by design requirements for structural integrity and safety and pushed by innovations in computing, sensor physics, micro-electronics, and robotics. Highly developed inspection equipment with advanced features like real time imaging and data evaluation and front end multi-channel electronics supports industry to produce and maintain technical components on highest quality level according to applicable industrial standards denoted by industry 3.0.

In the course of globalization and in recognition of the progress made in information technologies and artificial intelligence, a software concept is under industrial implementation that restructures industrial manufacturing with impressive expectations and promises. Industry 4.0 is marking the future of cyber manufacturing.

Statement of Contribution

We assume a new quality of nondestructive testing and evaluation embedded into cyber manufacturing as an information source that supports profiling manufacturing features. Existing line or process integrated NDT is specified and designed to meet quality standards for a specific local task. Cyber NDT is specified and assembled as a profiler knot for a transparent and controllable flexible manufacturing present in the virtual production mapping.

Analysts recognized the idea of an integrated Cyber NDT [1]. They predict a change of NDT business that challenges for disruptive innovations. NDT research comes up by system engineering with experts from manufacturing planning and IT to understand embedded NDT as a smart element of the applied IoT and IoP. Beside traditional NDT objectives new tasks have to be identified and justified that require new methods and technologies.

Results/Discussion

We discuss first ideas on technical specifics required to meet the idea of an embedded NDT system. The concept is illustrated by case studies that focus on the control of mass produced parts. The experienced gained helps to become a qualified partner for the advancing industry 4.0.

References:

[1] Mariano Kimbara. *Future of Nondestructive Testing: Industry 4.0/Smart Manufacturing – Disrupting Established Products, Technologies and Business Models* // Frost & Sullivan. 2015.

Метод неразрушающего контроля редукторов

Крячко Александр Федотович

Шарафудинов Тимур Талибуллович

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Научный руководитель: Крячко Александр Федотович, доктор технических наук профессор

E-mail: Alex_k34.ru@mail.ru

Основу машин и механизмов составляют, как правило, редукторы, в состав которых входят зубчатые передачи, роторные системы, подшипниковые опоры и др. Процессы проскальзывания в зубчатых передачах редукторов в совокупности с неточностью изготовления их элементов приводят к значительному повышению виброактивности, увеличению динамических нагрузок и, как следствие, к снижению наработки на отказ.

В настоящее время практически отсутствуют методы контроля процессов проскальзывания в зубчатых передачах, а также методики и модели расчета виброактивности зубчатых зацеплений, алгоритмы прогнозирования технического состояния редукторов, с учетом процессов проскальзывания.

Анализ процессов проскальзывания во взаимодействующих элементах (подшипники и зубчатые зацепления) позволяет разработать детерминированные модели сигналов, характеризующих вибрацию, в процессе виброакустической диагностики. Неоднородности взаимодействующих поверхностей, возникающие в процессе их изготовления и эксплуатации (шестеренок и подшипниковых опор) определяют характер нарушения кинематических функций и приводят к возникновению диагностических сигналов.

При рассмотрении формирования параметров вибрационной модели зубчатого зацепления необходимо учитывать макрогеометрию поверхности зубьев, погрешности зубчатых колес и процессы проскальзывания в зубчатых зацеплениях.

Список публикаций:

[1] Шарафудинов Т. Т. Устройство для технической диагностики зубчатых передач. Великанов О. В., Голубков В. А., Кутищев А. А., Паламар А. В., Явленский К. Н. Авт. свид. №1512290, 1989 г.

[2] Крячко А. Ф., Шарафудинов Т. Т. Метод виброакустического контроля эвольвентных приборных редукторов // Датчики и системы. 2018. № 12(231). С. 56-62.

Анализ изменения параметров акустической эмиссии при развитии усталостной трещины в стальных образцах

Кутень Мария Михайловна

Бобров Алексей Леонидович

Бехер Сергей Алексеевич

ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет путей сообщения

E-mail: mariabychkova94@mail.ru

Нормативная и технологическая документация на акустико-эмиссионный (АЭ) контроль различных технических объектов, в отличие от других методов контроля, не содержит требований по использованию тех или иных критериев оценки состояния объекта. Поэтому в зависимости от типа материала и конструктивных особенностей контролируемого объекта специалисты на практике пользуются исследовательскими данными [1-3] или данными, встроенными в программное обеспечение АЭ систем. Однако это отнимает время и требует определенной, достаточно высокой, квалификации специалиста. Поэтому установление граничных условий для применения тех или иных критериев оценки по результатам АЭ контроля представляет практическую значимость для реальных испытаний.

В настоящей работе проведены исследования изменения параметров АЭ при статических испытаниях образцов без концентраторов и с концентраторами из сталей СтЗпс и 20ГФЛ. При этом в качестве концентратора использовался пропилен и развивающаяся на нем трещина, выращенная в ходе малоцикловых нагружений. В ходе статических испытаний, проводимых после нескольких тысяч циклов на протяжении всего периода времени, фиксировали изменения напряжения и деформацию области нагружения, при исследованиях образцов с концентраторами измеряли длину и ширину раскрытия трещины. АЭ информацию регистрировали с помощью системы СЦАД 16.03.

В результате статических испытаний образцов без концентраторов установлено, что:

- средняя амплитуда и энергия сигналов на стадии упругой и пластической деформации до деформационного упрочнения, перед разрушением, практически не изменяются и не могут быть критерием для определения напряженного состояния материала при статической деформации;
- по резкому увеличению средней амплитуды или энергии можно судить о приближении к разрушению, что свидетельствует о нагрузке, превышающей 0,95 от нагрузки разрушения образца;
- в целом наличие даже нескольких сигналов при испытаниях (более двух), при условии, что объект имел нагруженное состояние, может свидетельствовать о наличии области пластической деформации и требовать дополнительных методов ее идентификации;
- наиболее надежными параметрами, которые коррелируют с напряжениями в области последующего разрушения, являются дисперсия амплитуды или энергии фиксированного числа сигналов АЭ, пришедших при максимальных испытательных нагрузках.

Нагрузка при статических испытаниях в интервалах между сериями малоциклового нагружения была выше циклической на 25 %. Результаты регистрации сигналов АЭ от развивающейся трещины на всем интервале статического внецентренного нагружения образцов позволили сделать следующие выводы:

- при испытании объектов с усталостными трещинами в процессе эксплуатации сигналы АЭ могут регистрироваться при нагрузках менее рабочих, что, в некоторых случаях предельно нагруженных объектов, позволяет минимизировать риски разрушений при проведении АЭ контроля;
- увеличение длины и ширины раскрытия трещины сопровождается увеличением суммарного числа событий АЭ, суммарной энергией сигналов АЭ и средней активностью источника, однако в литой стали 20ГФЛ в некоторых случаях наблюдаются существенные отклонения от общей тенденции увеличения, как в большую, так и в меньшую сторону, что связано с сильной неоднородностью структуры металла;
- для определения состояния развивающихся трещин достаточно высокой точности оценки по параметрам АЭ можно достигнуть при повторном испытании одного объекта;
- для разных образцов и, следовательно, объектов значения параметров АЭ в зависимости от величины трещины колеблются в значительных пределах и требуют использования достаточно большого доверительного интервала.

Список публикаций:

- [1] Чернов Д. В., Матюнин В. М., Барат В. А. и др. // Дефектоскопия. 2018. № 9. С. 21-30.
- [2] Bobrov A. L., Stepanova L. N. // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2013. Т. 49. № 12. Pp. 722-727.
- [3] Черняева Е. В., Галкин Д. И., Бигус Г. А., Мерсон Д. Л. // Сварка и диагностика. 2010. № 2. С. 50-56.

Волоконно-оптические датчики контроля режима работы щеточно-коллекторного узла тяговых электродвигателей

Дипатников Константин Алексеевич

Кузнецов Артем Анатольевич

Фасхутдинов Ленар Маликови

Артемяев Вадим Игоревич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ

E-mail: klipatnikov87@mail.ru

Мониторинг температуры щеточно-коллекторного узла (ЩКУ) является одной из главных задач при эксплуатации тяговых электродвигателей (ТЭД). Причиной превышения температуры в ЩКУ, могут быть: искрения, протекание токов больше номинального, отказ или нарушение работы системы охлаждения и т.д. [1]. Все это может привести к выходу ТЭД из работоспособного состояния, что несет за собой колоссальные убытки. Контроль температуры ЩКУ дает возможность косвенно определять общее техническое состояние ТЭД, что в свою очередь ведет к повышению безопасности эксплуатации и более эффективному использованию его ресурса. Вопрос контроля температуры не является новой задачей, и существуют различные методы и средства для его осуществления [2, 3]. Указанные методы обладают рядом недостатков, поэтому требуется более эффективный метод оперативного определения распределения тепловых полей в ЩКУ.

В настоящей работе предлагается метод контроля температуры и износа ЩКУ на основе волоконно-оптического датчика с использованием нескольких волоконных брэгговских решеток (ВБР) в качестве чувствительных элементов. ВБР представляет собой периодическую структуру, записанную в

оптическом волокне, которая отражает определенную длину волны в зависимости от периода структуры. При физическом воздействии (температура, истирание, механическое растяжение) на ВБР происходит ее спектральный отклик. На рисунке 1 представлена схема совмещенного датчика износа и температуры, которая построена из соображений минимизации количества чувствительных элементов.

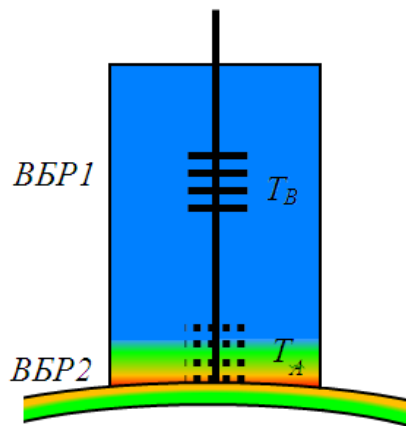


Рис.1 Схема волоконно-оптического датчика износа и температуры

ВБР 1 контролирует температуру всей щетки, ВБР 2 - износ и температуру непосредственно в точке контакта щетка-коллектор. В момент начала эксплуатации начинается сбор данных о параметрах ВБР 2 в массив, это делается для определения динамики износа щетки. Износ определяется по спектральной ширине решетки, чем больше износ, тем шире ее спектр. Впоследствии, когда ВБР 2 полностью стирается, массив полученных данных используется для расчета температуры в точке контакта щетка-коллектор по данным о средней температуре щетки с ВБР 1. ВБР 1 установлена на метке предельного износа и ее полное истирание свидетельствует о необходимости замены щетки.

Выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-3421.2019.8 (соглашение № 075-15-2019-309)

Список публикаций:

- [1] Морозов О. Г., Кузнецов А. А., Нуреев И. И. и др. Щетка как интеллектуальный узел электродвигателя // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3525.
- [2] ГОСТ Р МЭК 773-96. Щетки электрических машин. Методы испытаний и средства измерений рабочих характеристик // М: Изд-во стандартов. 1996. С. 21.
- [3] Щербатов В. В., Рапопорт О. Л., Цукублин А. Б. Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя для прогнозирования ресурса // Известия ТПУ. 2005. №7. С. 156-159.

Автоматизированный ультразвуковой контроль при изготовлении обращенных к плазме компонентов ИТЭР в Российской Федерации

Лянзберг Дмитрий Владимирович

Гурьева Тамара Михайловна, Королев Юрий Анатольевич

Акционерное общество «НИИ ЭФА им. Д.В. Ефремова»

E-mail: dmitry.lyanzberg@sintez.niiefa.spb.su

АО «НИИЭФА» является крупным поставщиком от Российской Федерации в ИТЭР высоконагруженных обращенных к плазме панелей первой стенки (ППС) и центральной сборки дивертора (ЦСД), а также катушки полоидального поля PF-1 магнитной системы и коммутирующей защитной аппаратуры. Выбор конструктивных решений, материалов и технологий изготовления компонентов ИТЭР обусловлен высокими тепловыми, электромагнитными и нейтронными нагрузками.

Неразрушающий контроль (НК) компонентов ИТЭР является обязательной процедурой по причине экстремальных условий работы и высоких требований к качеству их изготовления. Важным моментом является обеспечение НК в соответствии с требованиями европейских стандартов. В АО «НИИЭФА» разработан комплекс НК для обеспечения контроля качества компонентов, изготавливаемых в рамках международного проекта ИТЭР. При внедрении комплекса НК успешно решаются неординарные задачи контроля сложных объектов с высокими требованиями к обнаружению дефектов.

Обращенные к плазме компоненты ИТЭР (ППС и ЦСД) представляют собой сложные многослойные конструкции, состоящие из разнообразно сочетаемых материалов. В данном докладе представлен опыт автоматизированного ультразвукового контроля (УЗК) многослойных соединений таких материалов, как бериллий (Be), вольфрам (W), медь (Cu), бронза (CuCrZr), нержавеющая сталь (316L(N)-IG). Данные соединения выполнены различными технологиями: пайка, наплавка, горячее газоизостатическое прессование, сварка взрывом.

Для УЗК многослойных соединений (W/Cu/CuCrZr, Be/CuCrZr, CuCrZr/SS) в объектах, имеющих криволинейную поверхность, применяется роботизированное иммерсионное оборудование. Отмечены особенности и достоинства использования роботизированного оборудования совместно с технологией фазированной антенной решетки. Для внутритрубного УЗК многослойного соединения CuCrZr/Cu/W используются специализированное сканирующее устройство и специализированный преобразователь, поверхность которого адаптирована под внутренний диаметр бронзовой трубы. В докладе приведены примеры акустических изображений, характеризующие качество материалов и их соединений в многослойных конструкциях компонентов ИТЭР.

Анализ опыта использования автоматизированного оборудования УЗК и сравнение результатов контроля от зарубежных участников международного проекта позволяет сделать вывод об информативности и актуальности технологий УЗК, используемых при изготовлении компонентов ИТЭР в Российской Федерации.

Список публикаций:

[1] Bulavinov A., Pinchuk R., Gurieva T., Lyanzberg D., Lider A., Demyanuk D., Sednev D., Zhvyrblya V., Filippov G. *Robot-based In-Process Examination of ITER Dome and First-Wall Panels based on Novel Ultrasonic Tomography // Approach June 13-17, 2016, Munich. 19th World Conference on Non-Destructive Testing (WCNDT 2016).*

[2] Dmitry V. Lyanzberg, Tamara M. Guryeva, Radmir N. Giniyatulin and Andrey N. Bulavinov. *Ultrasonic testing of plasma-facing ITER components with use of a innovative equipment // June 11-15, 2018, Gothenburg. 12th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2018).*

Основы математического моделирования дифракционной решетки для датчиков оптоволоконных контрольно-измерительных систем

Мадина Перизат Шаймуратовна

Калытка Валерий Александрович

Алькина Алия Даулетхановна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Юрченко Алексей Васильевич, д.т.н., профессор

E-mail: niip@inbox.ru

Современные методы экспериментальных и теоретических исследований в области оптоволоконной техники строятся на достижениях в области оптоэлектроники, волновой техники и нелинейной оптики. При выполнении принципиальных схем оптоэлектронных приборов контроля и управления за параметрами различного уровня сложности технологических процессов, важным является решение вопроса о разработках быстродействующих систем автоматизированного управления волновыми характеристиками светового потока (импульса), входящего и выходящего из оптоволоконного канала. Остается открытым вопрос о разработке универсальных теоретических методов описания *нелинейных электронно-оптических процессов*, реализующихся в рабочих каналах контрольно-измерительных оптоволоконных устройств (датчиков, преобразователей длины волны; усилителей интенсивности сигнала; электронных интерферометров и др.), работающих в широком диапазоне параметров оптического излучения (интенсивность, длина волны и др.). Актуальным является вопрос о разработке эффективных методов компьютерного прогнозирования свойств материалов для рабочих элементов оптоволоконных устройств, что представляет собой отдельную теоретическую задачу, тесно связанную с экспериментальными и производственными испытаниями и базирующуюся на методах теории твердого тела, волновой физики и квантовой электроники.

В рамках данной работы ограничимся кратким изложением теоретических основ проектирования схем работы оптоволоконных контрольно-измерительных систем, на основе датчиков с наружным чувствительным элементом в виде дифракционной решетки.

Дифракционная решетка – оптический прибор, принцип работы которого построен на явлениях дифракции и интерференции, имеющий периодическую структуру и представляющий собой совокупность чередующихся с периодом s прозрачных (или полупрозрачных) и поглощающих полос.

В виртуальных лабораторных условиях рассмотрены датчики на основе измерения интенсивности результирующего оптического сигнала, определяемой в зависимости от параметров решетки

$I(\xi) = I_0 k(\xi)$. где $k(\xi) = \frac{a(\xi)}{s(\xi)}$ – коэффициент ослабления суммарной интенсивности

интерферированных в решетке волн, выраженный через отношение ширины $a(\xi)$ и периода $s(\xi)$ решетки, которые являются функциями на множестве $\xi = \left\{ \xi_j \right\}$ варьируемых параметров системы. К параметрам такого рода, в развиваемой нелинейной математической модели, можно отнести геометрические параметры, оптические характеристики волны (волновой вектор, длина волны) и температуру T .

Список публикаций:

[1] Yurchenko A. V., Mekhtiyev A. D., Bulatbaev F. N., Neshina Y. G., Alkina A. D., Madi P. Sh. Investigation of additional losses in optical fibers under mechanical action // Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 516. № 1.

[2] Yurchenko A. V., Mekhtiyev A. D., Bulatbaev F. N., Neshina Y. G., Alkina A. D., Alkina A. D., Kokkoz M. M. // Journal of Physics: Conference Series. 30 August 2017. Vol. 881. Issue 1.

[3] Serikov T. G., Yakubov, M. Z., Mekhtiev A. D., Yugay V. V., Muratova A. K., Razinkin V. P., Okhorzina A. V., Yurchenko A. V. The analysis and modeling of efficiency of the developed telecommunication networks on the basis of IP PBX asterisk now // Proceedings - 2016 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST 2016

Резонансный метод определения диэлектрической проницаемости веществ с использованием двухчастотного зондирования

Максимов Илья Павлович

Морозов Олег Геннадьевич

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ, г. Казань

Научный руководитель: Нуреев Ильнур Ильдарович,

д.т.н., проф. каф. РФМТ

E-mail: maksimov.ilya.kazan@mail.ru

В различных отраслях промышленности большое значение имеет высокоточное определение различных физических свойств (концентрации смеси веществ, влагосодержания, плотности и др.) жидкостей, находящихся в емкостях (технологических резервуарах, измерительных ячейках и т.п.). Это, в частности, имеет место в пищевой промышленности, где необходимо производить технологические измерения концентрации сахаров, масел, водомасляных растворов и др., имеющих природу углеводородных сред, с вытекающими отсюда значениями электрофизических величин (диэлектрической проницаемости, тангенса угла потерь и т.д.).

Для метрологического обеспечения определения физических свойств жидкостей находят применение методы низкоинтенсивных измерений на основе радиоволновых высокочастотных (ВЧ) и сверхвысокочастотных (СВЧ) резонаторов, содержащих контролируемую жидкость. Эти методы основаны на измерении электрофизических параметров (диэлектрической проницаемости или/и тангенса угла диэлектрических потерь) жидкостей. Их недостатком является ограниченная область применения, обусловленная возможностью контроля жидкостей, являющихся достаточно хорошими диэлектриками. Для диэлектрических жидкостей с большими диэлектрическими потерями добротность резонаторов может быть малой величиной и, соответственно, амплитуда информативных сигналов мала для надежной регистрации.

В то же время имеется возможность определять физические свойства жидкости путем измерения функционально с ними связанной добротности резонаторов. В зависимости от конструкции резонатора и характера размещения жидкости в его электромагнитном поле имеет место соответствующая функциональная связь добротности Q с электрофизическими параметрами контролируемой жидкости – тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, электропроводностью σ . Наличием диэлектрических потерь характеризуются многие жидкости, в частности, пищевые продукты, содержащие сахара и масла.

Целью работы является улучшение характеристик резонансных СВЧ датчиков для определения КДП (комплексной диэлектрической проницаемости) материалов за счет применения метода двухчастотного зондирования и возможность его применения для контроля нагруженности резонатора для обеспечения функциональной адаптивности параметров технологического процесса обработки.

В результате проведенных исследований разработаны методы двухчастотных измерений характеристик резонансных структур в микроволновом диапазоне с амплитудной и фазовой регистрацией на огибающей, позволившие достичь улучшение характеристик резонансных СВЧ датчиков для определения КДП (комплексной диэлектрической проницаемости) материалов и показать возможность их применения для обеспечения функциональной адаптивности реакторов по параметрам технологического процесса обработки углеводородных сред.

Лучевая прочность материала в условиях мощного импульсного излучения

Мкртычев О.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

(Новороссийский филиал), г. Новороссийск

В серии экспериментов [1–5] были рассмотрены вопросы, связанные с определением лучевой прочности материала, облучаемого мощными лазерными импульсами нано и микросекундной длительности. При этом было применено статистическое распределение Вейбулла–Гнеденко, что позволило прогнозировать лучевую прочность материала и делать предположения о наличии в материале различных дефектов. Важное значение для технологического контроля производства имеет формула

$$\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right) = m \ln y + \ln\left[\left(\frac{1}{y_{\text{норм}}}\right)^m\right]. \quad (1)$$

где p – вероятность разрушения образца, m – модуль Вейбулла, y – нагрузка, приложенная к образцу, $y_{\text{норм}}$ – нормировочный параметр. Вероятность разрушения имеет вид

$$p(F) = 1 - e^{-\ln 2 \left(\frac{F}{F_{0,5}}\right)^m}, \quad (2)$$

откуда

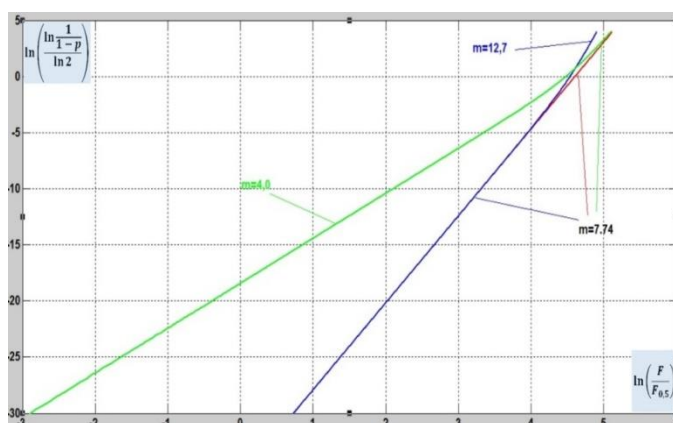
$$\ln\left(\frac{\ln\frac{1}{1-p}}{\ln 2}\right) = m \ln\left(\frac{F}{F_{0,5}}\right). \quad (3)$$

где F – плотностью энергии лазерного излучения, $F_{0,5}$ – пробойная плотность энергии, для которой вероятность пробоя равна 0,5.

Из распределения Вейбулла–Гнеденко следует, что при наличии дефектов n разных видов, определяющих прочность материала, график $\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right)$ от $\ln y$ будет состоять из отрезков n прямых с n разными угловыми коэффициентами (см. рисунок), т.е. вероятность разрушения примет вид

$$p(F) = 1 - e^{-\ln 2 \sum_{i=1}^n \left\{\left(\frac{F}{F_{0,5}}\right)^{m_i}\right\}}. \quad (4)$$

Таким образом, анализ графика $\ln\left(\ln\frac{1}{1-p}\right)$ от $\ln y$ из распределения Вейбулла–Гнеденко позволяет выявить в материале дефекты разных типов.



Список публикаций:

- [1] Мкртычев О. В., Аткарская А. Б., Шеманин В. Г. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 8. № 2. С. 238-239.
- [2] Шеманин В. Г., Мкртычев О. В. Температурное поле при лазерном абляционном разрушении мишени при малых температурах // ЖТФ. 2018. Т. 88, вып. 5. С. 643-648.
- [3] Мкртычев О. В., Старчик Ю. Ю. Прогнозирование динамики лучевой прочности наноразмерных покрытий // В сборнике: Прочность неоднородных структур - ПРОСТ 2018 Сборник трудов IX-ой Евразийской научно-практической конференции. 2018. С. 100.
- [4] Мкртычев О. В. Прогнозирование лучевой прочности наноразмерных покрытий // В сборнике: Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций XII международная конференция: Сборник материалов. 2018. С. 245.
- [5] Privalov V. E., Shemanin V. G., Mkrtychev O. V. // Meas Tech. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1486-2>

Оценка влияния неорганических наполнителей на деструкцию эпоксидных композитов методом термического анализа

Мурашкина Юлия Сергеевна

Липчанский Дмитрий

Назаренко Ольга Брониславовна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Назаренко Ольга Брониславовна, д.т.н.

E-mail: murashkina02@gmail.com

Полимерные материалы широко используются для изготовления изделий хозяйственного назначения, строительных конструкций, в качестве покрытий, клеев и лакокрасочных материалов. Пожарная опасность является основным недостатком, который ограничивает область их применения. Снижение горючести полимерных материалов является одной из центральных задач, от решения которой зависит последующее развитие таких различных отраслей производства, таких как строительство, машиностроение, авиа- и автомобилестроение и др. Одним из основных методов снижения горючести полимеров является использование наполнителей, обладающих пламягасящими свойствами – антипиренов. Введение добавок в большом количестве для снижения пожарной опасности полимерных материалов может послужить причиной ухудшения технологических и эксплуатационных, а также к увеличению стоимости материала. Поэтому этот способ требует выбора соответствующих наполнителей в зависимости от назначения и области применения разрабатываемого полимерного материала. Получили широкое применение в качестве антипиренов: неорганические соли, галогенсодержащие углеводороды и органические производные кислот фосфора, оксиды и гидроксиды металлов. Большая часть антипиренов: гидроксиды алюминия, цинка, магния, гидратированные карбонаты металлов и др. – это вещества, при эндотермическом разложении которых образуются негорючие продукты.

Для исследования процессов, происходящих в полимерах при нагревании, применяется термический анализ. Оценка термостойкости полимеров также позволяет оценить поведение изучаемых материалов при пожаре. Термостойкость полимера – это способность полимера сохранять устойчивое химическое строение при увеличении температуры. Горючесть полимера – это его способностью поддерживать горение после удаления источника воспламенения. Метод термического анализа - термогравиметрический анализ (ТГ), используется для определения термостойкости полимеров. Сущность данного метода заключается в регистрации изменения массы полимера в зависимости от времени или температуры. Для определения термостойкости полимера используются параметры: 1) T_k – конечная температура разложения, происходит полное разложение вещества, 2) T_n – температура начала разложения полимера, начинается потеря массы и зависимость ТГ отклоняется от исходного значения, 3) температуры, при которых происходит потеря массы 10, 20 и 50 % (T_{10} , T_{20} , T_{50} температуры, при которых происходит потеря массы 10, 20 и 50 % (T_{10} , T_{20} , T_{50}).

Цель данной работы – изучение влияния неорганических наполнителей – нанодисперсных металлов и микродисперсных порошков природного цеолита на деструкцию эпоксидных композитов методом термического анализа при нагревании в воздухе.

Эпоксидная смола марки ЭД-20 была использована для получения образцов эпоксидных полимеров, в качестве отвердителя использовался полиэтиленполиамин (ПЭПА), а в качестве наполнителей – нанодисперсные порошки алюминия и микродисперсный порошок природного цеолита Сахатинского месторождения. При помощи термоанализатора SDT Q600 были исследованы параметры термоокислительной деструкции полученных образцов. Исследование было проведено в диапазоне температур от 20 до 900 °С в режиме линейного нагрева со скоростью 10 °С/мин в атмосфере воздуха.

Результаты выполненного термического анализа показали, что введение изученных наполнителей приводит к небольшому снижению температуры начала разложения образцов по сравнению с ненаполненным эпоксидным полимером. Это может быть связано с наличием оксидно-гидроксидных соединений на поверхности частиц нанопорошка алюминия и с наличием сорбированной воды в структуре частиц цеолита, которая освобождается при нагревании при температуре меньшей, чем температура разложения исходного эпоксидного полимера. Температура 50%-ной потери массы T_{50} для всех наполненных образцов выше, чем у образца без наполнителя, причем с ростом концентрации наполнителя T_{50} увеличивается. Оценка результатов термического анализа также показала, что введение в эпоксидную смолу неорганических наполнителей приводит к увеличению выхода остатка по окончании термоокислительной деструкции.

Результаты исследований могут быть применены при разработке композиционных полимерных материалов с пониженной горючестью.

Численное моделирование электромагнитно-акустического преобразования с использованием модели магнитного гистерезиса Джилса-Атертона

Мышкин Юрий Владимирович

Волкова Людмила Владимировна

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

E-mail: mubm@yandex.ru

Существующие подходы численного моделирования позволяют провести расчёт любого физического процесса или явления, а современные программные комплексы – решить задачи с множеством их взаимовлияний друг на друга, т.е. так называемые мультифизические задачи. Одной из таких задач является электромагнитно-акустическое преобразование, связывающее электрическое поле вихревых токов, магнитное поле подмагничивания и поле упругих деформаций. Известно, что его моделирование проводится с использованием линейного приближения зависимости намагниченности от напряжённости магнитного поля или кривой намагничивания, при этом поле рассчитывается без учёта переходных процессов в намагничивающей катушке индуктивности или перемещения постоянных магнитов.

Модель магнитного гистерезиса Джилса-Атертона позволяет учесть нелинейность магнитных свойств материала и их предысторию, динамические процессы при перемагничивании объекта контроля и магнитопровода, особенности образования вихревых токов при поверхностном эффекте. Модель основана на идеи смещения междоменных слоёв и вращения вектора намагниченности внутри доменов согласно теории Вейсса, при этом петля гистерезиса описывается дифференциальным уравнением с пятью начальными параметрами.

На основе данной модели (рис.1а) приведены принципиальные отличия классического подхода моделирования без учёта магнитного гистерезиса от представленного в статье. Основным отличием является неравномерность намагничивания магнитопровода (рис.1б), что обусловлено динамикой процессов формирования магнитного поля и переходными процессами в намагничивающей катушке индуктивности. Также отличительной чертой является искажение поля подмагничивания при формировании вихревых токов, при котором образуется частная петля гистерезиса в поверхностном слое.

Результаты моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными на примере распределения нормальной компоненты магнитного поля в зазоре между концентратором магнитопровода и объектом контроля (рис.1б), а также полученного с индуктора сигнала, в виде регистрируемой дефектоскопом эхограммы (рис.1в). Согласно моделированию коэффициент двойного преобразования составил $K^2 = 1,1 \cdot 10^{-6}$, что также не противоречит общетеоретическим представлениям об электромагнитно-акустическом преобразовании.

Представленный подход моделирования, главным образом, предназначен для описания концепции использования модели Джилса-Атертона в неразрушающем контроле и исследования эффекта динамического подмагничивания при электромагнитно-акустическом преобразовании с учётом явления магнитного гистерезиса.

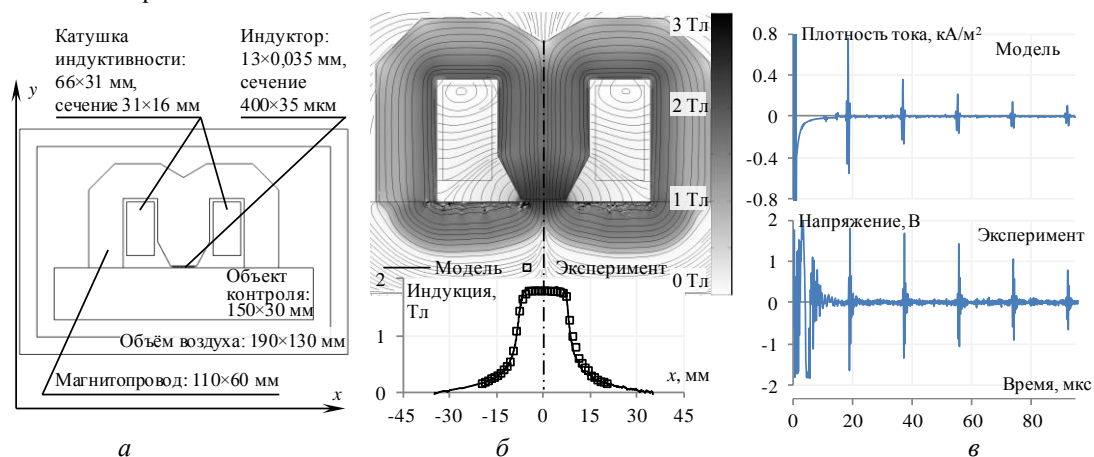


Рис.1 Модель для исследования электромагнитно-акустического преобразования (а), результаты моделирования в виде распределения магнитного поля и график нормальной составляющей индукции магнитного поля в зазоре между концентратором магнитопровода и объектом контроля (б), зависимости плотности тока на индукторе (модель) и напряжения на катушке индуктивности преобразователя (эксперимент) от времени (в)

Таким образом, численное моделирование электромагнитно-акустического преобразования с использованием модели магнитного гистерезиса Джилса-Атертона показало возможность учёта нелинейности свойств материала, отличия от классических подходов моделирования, высокую достоверность результатов. Результаты исследований могут быть использованы при разработке ультразвуковых методов контроля, основанных на электромагнитно-акустическом преобразовании, в частности, при эффекте динамического подмагничивания.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского Научного Фонда (проект № 18-79-10122).

Геометрическая анизотропия скорости поперечной волны горизонтальной поляризации в трубе

Мышкин Юрий Владимирович¹

Муравьева Ольга Владимировна¹

Ворончихин Станислав Юрьевич²

Самокрутов Андрей Анатольевич³

Шевалдыкин Виктор Гаврилович³

¹ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

²АО «ИнтроСкан Технолоджи»

³ООО «Акустические контрольные системы»

E-mail: tubm@yandex.ru

Волноводный эхо-импульсный метод широко используется при дефектоскопии труб больших диаметров. Как правило, контроль реализуется на частотах килогерцового диапазона с применением ультразвуковых (УЗ) нормальных волн низших порядков, дисперсия скорости в которых минимальна (нулевая продольная мода) или вообще отсутствует (SH-волны горизонтальной поляризации). Траектории распространения УЗ импульсов в стенках трубопровода не ограничиваются только направлениями вдоль и поперёк оси трубы, но также распространяются по винтовым линиям. При этом алгоритмы активной или пассивной фокусировки реализуются в предположении постоянства скорости волны во всех направлениях. Однако, скорость волн может быть различной в зависимости от направления распространения, что обусловлено анизотропией свойств вследствие технологии прокатки листов, а также вследствие кривизны стенок, по которым импульсы SH волн распространяются по винтовым линиям, которые не являются кратчайшими путями распространения сигналов путём с наименьшим временем пробега. Последний фактор носит название геометрической анизотропии. Неучёт указанных факторов может вести к появлению при построении изображений артефактов, ложных отражений, сдвинутых по времени эхо-сигналов, которые оказывают негативное влияние на интерпретацию данных при расшифровке эхограмм.

Целью работы является исследование влияния геометрии трубы и анизотропии свойств материала на скорость распространения SH-волны в трубах. Исследования проведены с использованием метода конечных элементов. Модель для исследования скорости распространения SH-волны при возбуждении точечной касательной силой, ориентированной вдоль огибающей трубы, представлена на рис.1а. По результатам моделирования установлены зависимости групповой и фазовой скоростей SH-волн от угла отклонения траектории распространения волны от образующей трубы (рис.1б), показавшие увеличение скорости волны при отклонении от образующей. Отклонение тем существеннее, чем меньше радиус трубы и выше частота. Разработанная модель позволяет исследовать диаграмму направленности источника SH-волн (рис.1в) в сравнении с безграничной пластиной; функцию ослабления SH-волн с расстоянием, определяемую наряду с расхождением геометрической дисперсией скорости и эффектами ближней зоны; а также влияние мешающих мод нормальных волн, возбуждаемых точечным источником. Результаты моделирования удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными (рис.1б) по скорости SH-волн, полученными на трубе диаметром 1420 мм толщиной стенки 17 мм на частоте 300 кГц, с использованием низкочастотных пьезоэлектрических преобразователей с сухим точечным контактом. Отклонения обусловлены дополнительным влиянием упругой анизотропии вдоль и поперек проката.



Рис.1 Модель для исследования скорости распространения SH-волны (а), зависимости фазовой и групповой скорости от угла отклонения траектории распространения волны от образующей трубы (б), диаграммы направленности SH-волны при осевом и азимутальном возбуждении (в)

Разработанная модель и результаты исследований могут быть использованы при разработке и совершенствовании подходов анализа сигналов, создании автоматизированных алгоритмов обработки эхограмм и изображений, получаемых при акустическом волноводном контроле труб.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского Научного Фонда (проект № 18-79-10122).

Исследование зависимости между выходными сигналами сэндвич-детектора рентгеновского излучения

Назаренко Светлана Юрьевна¹

Удод Виктор Анатольевич²

¹Национальный Исследовательский Томский государственный университет

²Национальный Исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: svetana@mail.ru

В настоящее время для распознавания материала объекта контроля (ОК) с целью обеспечения безопасности пассажирских и грузовых перевозок широко используется метод дуальных энергий (МДЭ) [1,2]. При этом применяются различные подходы к реализации МДЭ. В частности, в работе [3] применялся подход, в соответствии с которым ОК сканируется пучком рентгеновского излучения с единственной максимальной энергией, а излучение регистрируется детекторами, радиационно-чувствительные объемы которых расположены друг за другом по направлению распространения первичных фотонов. При этом в первом детекторе регистрируется в основном мягкая составляющая излучения, а во втором – в основном жесткая.

Цель данной работы заключается в оценке коэффициента корреляции между выходными сигналами сэндвич-детектора рентгеновского излучения. Сэндвич-детекторы – это такие детекторы, которые состоят из двух (или более) детекторных слоев, где верхний слой преимущественно регистрирует низкоэнергетические фотоны, а нижний слой регистрирует отфильтрованный и, следовательно, более жесткий спектр. В некоторых технических реализациях сэндвич-детекторов между слоями детектора вводится тонкий металлический фильтр, чаще всего изготовленный из меди, что увеличивает спектральное разделение излучения, но снижает эффективность дозы [4].

Обозначим через $B_1(H)$, $B_2(H)$ выходные сигналы соответственно с первого (переднего) и второго (заднего) детекторов в сэндвич-детекторе излучения, сформированные за время T при наличии ОК; $B_0(H)$ – суммарный заряд, падающий на сэндвич-детектор за время T при наличии ОК, который может быть интерпретирован как сигнал на выходе идеального детектора излучения, под которым подразумевается гипотетический детектор полного поглощения, у которого геометрические размеры и расположение идентичны первому (переднему) детектору излучения.

Коэффициент корреляции между сигналами $B_1(H)$, $B_2(H)$ определяется выражением:

$$r[B_1(H), B_2(H)] = \frac{\text{cov}[B_1(H), B_2(H)]}{\sigma[B_1(H)]\sigma[B_2(H)]} \quad (1)$$

где $\text{cov}[B_1(H), B_2(H)] = \overline{B_1(H) \cdot B_2(H)} - \overline{B_1(H)} \cdot \overline{B_2(H)}$

– ковариация между сигналами $B_1(H)$, $B_2(H)$; $\overline{B_1(H) \cdot B_2(H)}$, $\overline{B_1(H)}$, $\overline{B_2(H)}$, – средние значения

(математические ожидания) произведения $B_1(H), B_2(H)$ и сигналов $B_1(H), B_2(H)$ соответственно; $\sigma[B_1(H)], \sigma[B_2(H)]$ – средние квадратические отклонения сигналов $B_1(H)$ и $B_2(H)$ соответственно.

В результате проведенных исследований нами была получена следующая аналитическая оценка ковариации между сигналами $B_1(H), B_2(H)$:

$$\text{cov}[B_1(H), B_2(H)] = \frac{\bar{B}_2(H)}{\bar{B}_0(H) - \bar{B}_1(H)} \left\{ \frac{\bar{B}_1(H)}{\bar{B}_0(H)} \sigma^2[B_0(H)] - \sigma^2[B_1(H)] \right\}, \quad (2)$$

где $\bar{B}_0(H)$ – среднее значение (математическое ожидание) сигнала $B_0(H)$; $\sigma^2[B_0(H)], \sigma^2[B_1(H)]$ – дисперсии сигналов $B_0(H)$ и $B_1(H)$ соответственно.

По формулам (1) и (2) нами были вычислены в программе MathCAD коэффициенты корреляции между выходными сигналами сэндвич-детектора со следующей структурой: первый детектор CsI – промежуточный фильтр (медь) – второй (задний) детектор в виде детектора полного поглощения CsI. Расчеты проведены при максимальной энергии $E_0 = 140, 150, 160$ кэВ для следующих материалов ОК: пластик, алюминий и железо.

Список публикаций:

[1] Удод В. А., Ван Я., Осипов С. П., Чахлов С. В., Усачев В. Ю., Лебедев М.Б., Темник А.К. // Дефектоскопия. 2016. № 9. С. 11-28.

[2] Осипов С. П., Удод В. А., Ван Я. // Дефектоскопия. 2017. № 8. С. 35-56.

[3] Осипов С. П., Усачев В. Ю., Чахлов С. В., Щетинкин С. А., Камышева Е. Н. // Дефектоскопия. 2018. № 11. С. 57-68.

[4] Fredenberg E. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2018. V. 878. Pp. 74-87.

Изменение свойств нанопорошка железа при длительном хранении

Назаренко Ольга Брониславовна

Сечин Александр Иванович

Амелькович Юлия Александровна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Сечин Александр Иванович, д.т.н.

E-mail: olganaz@tpu.ru

Нанопорошки (НП) металлов в последние годы привлекают внимание исследователей благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам и возможности с их помощью удовлетворить потребности современных отраслей промышленности в высококачественных новых материалах и веществах. НП железа успешно используются для очистки подземных и сточных вод от загрязнителей, в пиротехнических системах, магнитных композитах, биомедицине и катализе. Во время хранения НП металлов под воздействием влажности, температуры, вибрации, света и других факторов в них протекают процессы старения, приводящие к изменению свойств НП металлов, что ограничивает их практическое применение. Кроме того, в связи с высокой реакционной способностью, являются актуальными вопросы обеспечения пожарной и взрывобезопасности производств, связанных с обработкой НП металлов.

Целью работы являлось исследование влияния длительного хранения (18 лет) НП железа, полученного при электрическом взрыве проводников (ЭВП), на термическую стабильность и на характеристики пожароопасности.

НП железа был получен методом ЭВП в аргоне в Томском политехническом университете. Непосредственно после получения был проведен процесс пассивирования НП смесью аргон+0,1 об. % воздуха, что привело к образованию оксидной оболочки. НП железа хранили в закрытом контейнере в естественных условиях в течение 18 лет. Свойства НП железа изучали с помощью рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии (ИК), термического анализа. Для оценки пожароопасных свойств НП железа определяли скорость распространения пламени в насыпном слое порошков согласно ГОСТ 10433-88 «Скорость распространения пламени. Приложение 5».

Согласно данным РФА основной кристаллической фазой НП железа является α -Fe, а оксид железа в поверхностном слое является аморфным, только после хранения в течение 18 лет в НП железа появились рефлексы низкой интенсивности, соответствующие кристаллическому оксиду железа. ИК-

спектр НП железа характеризуется наличием нескольких полос поглощения в диапазоне 635–430 см⁻¹, вызванных колебаниями функциональных групп Fe–O. Можно предположить, что поверхностный слой частиц НП содержит γ -Fe₂O₃ и Fe₃O₄. Также ИК-спектр НП железа содержит полосы низкой интенсивности, указывающие на наличие на поверхности частиц адсорбированных молекул воды и структурных гидроксильных групп.

Окисление НП железа при нагревании до 1000 °С происходит в несколько стадий с максимумами на зависимости ДСК при 371, 560 и 631 °С. Кроме того, наблюдается слабо выраженный тепловой эффект с максимумом примерно при 280 °С. Температура начала окисления НП железа составила 163 °С, степень окисления 41,7 %, общий удельный тепловой эффект 9188 Дж/г.

Оценка скорости распространения пламени в насыпном слое проводилась для свежеполученного НП железа и после хранения этого порошка в течение 11, 13, 16 и 18 лет. Результаты определения величины скорости распространения пламени и длины фронта горения представлены в таблице:

Длина фронта горения, мм					Скорость распространения пламени, мм/с				
Время хранения, лет									
0	11	13	16	18	0	11	13	16	18
18–18.5	20–23	19–19.5	11–12	25–27	2.0	1.3	2.1	1.0	1.3

Параметры горения НП железа имеют тенденцию к снижению интенсивности с увеличением времени хранения. Некоторый разброс указанных параметров зависит от условий экспериментов: например, разница по атмосферному давлению в отдельное время экспериментальных исследований составляла до 40 мм рт. ст. (>5 кПа), по температуре – до 6 °С, по влажности – от 40 до 80 %. Кроме того, полученные результаты могут зависеть от продолжительности подготовительного периода к эксперименту. В то же время известно, что большинство стандартов и процедур, связанных с измерением характеристик горения и взрыва порошкообразных материалов, пренебрегают влиянием влажности. Очевидно, что на параметры горения НП железа влияют параметры окружающей среды, в большей степени влажность атмосферного воздуха. Эти обстоятельства требуют разработки соответствующих мер для обработки и хранения НП железа в производственных условиях.

Оценка вероятности безотказной работы объектов нефтегазового комплекса по результатам диагностики

Нассонов Валерий Викторович

Балина Ольга Владимировна

Тюменский индустриальный университет

E-mail: nassonovv@tyuiu.ru

Внедрение в практику эксплуатации риск-ориентированного подхода вызвало необходимость проведения оценки риска аварий объекта контроля после его диагностики. Методы дефектоскопии позволяют найти предвестников фатального разрушения - трещины и другие дефекты, требующие немедленного устранения. Неопределенность в оценку вероятности разрушения вносит усталостное нагружение, а также коррозия. В ряде публикаций описан положительный опыт использования коэрцитивной силы для оценки эксплуатационных повреждений грузоподъемных механизмов с преимущественно одноосными напряжениями в элементах конструкций. Для сосудов, работающих под давлением и других объектов, с более сложным напряженным состоянием, подобных однозначных зависимостей пока не найдено.

Целью работы является анализ опыта применения методов оценки вероятности разрушения объекта экспертизы с учетом условий эксплуатации до и после диагностирования.

Для резервуарных парков сжиженного пропана или широкой фракции легких углеводородов колебания давления и уровня жидкости при эксплуатации носят повторяющийся характер, что позволяет считать режим нагружения близким к стационарному и использовать методы расчета вероятности разрушения различных типов сварных соединений [1]. Когда историю нагружения можно реконструировать только по указанным в технологическом регламенте допускаемым изменениям режима эксплуатации, применяются методики расчета на прочность, в которых определяется не вероятность разрушения после определенной наработки, а исчерпание допустимого количества циклов относительно

расчетных кривых усталости [2,3]. Подобный подход используется при оценке усталостных повреждений нефтегазосепараторов, оценка вероятности разрушения выполняется с учетом скоростей язвенной и общей коррозии, а также сведений о коррозионной усталости аналогичных материалов. Статистический анализ результатов ультразвуковой толщинометрии позволяет разделить коррозию на язвенную и равномерную и использовать для расчетов максимальную скорость коррозии для заданной вероятности существования. Следует подчеркнуть, что при любых методах статистической обработки и моделирования прогноз скорости общей и язвенной коррозии очень затруднен из-за постоянного изменения состава и свойств поступающей в трубопроводы и сепараторы продукции скважин.

Несмотря на значительную неопределенность, расчеты на усталость позволяют оценить порядок вероятности разрушения для граничных условий нагружения. Например, для фонтанной арматуры (ФА), эксплуатирующейся в условиях заполярной тундры, анализ режимов отбора газа и метеоданных позволил оценить вероятность разрушения в опасном сечении. По итогам диагностирования, в двух случаях из пятидесяти обнаружены трещины в местах установки ФА, что приемлемо совпадает с расчетной вероятностью разрушения $10^{-3} - 10^{-4}$ для одной скважины. При оценке долговечности стальных гнутых отводов промышленного трубопровода рассмотрены варианты нагружения в упругой области вблизи предела текучести и при напряжениях за пределом текучести. После $2,5 \times 10^3$ циклов нагружения в упругой области расчетная вероятность разрушения 10^{-3} , а при нагружении за пределом текучести – 5×10^{-2} [4]. При этом вероятность разрушения прямолинейных участков за счет колебания внутреннего давления стремится к нулю.

Расчетные вероятности разрушения объекта экспертизы после диагностики необходимо сравнить с приведенными в руководствах по анализу риска средним по отрасли показателями частот разгерметизации аналогичных объектов (например, $10^{-4} - 10^{-5}$ в год для сосудов) [5].

Список публикаций:

[1] Методические указания РД 50-694-90 «Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций» (утв. постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 30 марта 1990 г. N 696).

[2] Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды РД 10-249-98 (утв. постановлением Федерального горного и промышленного надзора России от 25 августа 1998 г. N 50).

[3] Межгосударственный стандарт ГОСТ 34233.6-2017 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 1994-ст).

[4] Балина О. В., Насонов В. В., Насонова Л. Н. Экспертиза технических устройств: методы диагностики и анализа состояния трубопроводов // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №5. С. 112-116.

[5] Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. N 144).

Сравнение методов контроля несанкционированного доступа к волоконно-оптической линии передачи

Нешина Елена Геннадьевна

Мехтиева Али Джаваниширович

Алькина Алия Даулетхановна

Шайгараева Татьяна Нажиповна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Юрченко Алексей Васильевич, доктор технических наук

E-mail: niipr@inbox.ru

В современных системах телекоммуникации, актуальной проблемой является защита персональных данных абонентов от возможных краж и взломов волоконно-оптических направляющих линий передачи информации, так как это создает ряд опасных ситуаций и проблем. Злоумышленники, не смотря на законодательную базу по защите информации, все равно пытаются считать информацию с волоконно-оптической линии передачи (ВОЛП).

Для реализации канала утечки необходимо аккуратно вскрыть оболочку кабеля и просто изогнуть волокно. При этом на границе сердцевины и оболочки ОВ измениться угол падения электромагнитной волны, что может привести к частичному выходу электромагнитного излучения из световода (рисунок 1). Данный эффект описан ранее в литературе [1]. Нами уже проводились исследования по влиянию

изменения дополнительных потерь при различного рода деформации оптического световода возникающей при изгибе. Имеется ряд работ посвящённых аналогичной тематике [2].

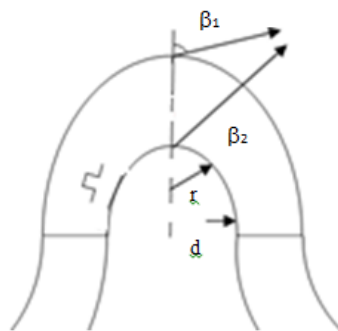


Рис.1 Канал утечки при изгибе радиусом r волокна с диаметром сердцевины d , n_1 - угол падения; n_2 - угол преломления

Таким образом, изгиб волокна приводит к нарушению закона полного внутреннего отражения, что в свою очередь ведет к высвечиванию оптического потока за пределы ОВ.

Известные методы обнаружения несанкционированного доступа подразделяются на следующие группы: метод светопропускания и метод обратного рассеяния.

Исследования проводились по двум методам. Первый метод основан на изменении свойств света при прохождении моды по оптическому волокну, эффект светопропускания. Были задействованы следующие приборы: оптическим лазерным источником излучения и измерителя мощности. Второй метод основан на эффекте обратного рассеяния, использовался оптический рефлектометр YOKOGAWA и две катушки с ВОЛП длиной соответственно $l_1=2,18$ км и $l_2=2,99$ км.

Исследования показали, что по методу светопропускания потери увеличиваются при несанкционированном доступе, но нет возможности определить место съёма информации. Согласно, метода обратного рассеивания также показывает увеличение потерь при несанкционированном доступе, но существует возможность определения места подключения злоумышленником. Можно отметить, что с ОВ можно снять информации. По результатам испытаний можно сделать вывод, что увеличение потерь на большей длине волны, говорит о том, что лучше использовать НСД на длине волны 1625 нм, так как постоянный мониторинг ВОЛП не будет мешать трафику.

Список публикаций:

[1] Liu. All Fiber Optic Coal Mine Safety Monitoring System // SC3.2 IEE Explorer. Asia Optical Fiber Communication and Optoelectronic Exposition & Conference (AOE) 2008.

[2] Мехтиев А. Д., Нешина Е. Г., Биличенко А. П. Исследование температурных воздействий на оптический кабель // Сборник XIX Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск. 2016. С. 101-106.

Удаление азотсодержащих веществ из сточных вод с помощью природных цеолитов

Новикова Анастасия Леонидовна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Назаренко Ольга Брониславовна, д.т.н.

E-mail: furia.08@mail.ru

Поступление в природные водоемы с промышленными и сельскохозяйственными сточными водами биогенных веществ в концентрациях, превышающих предельно-допустимые, вызывает в них нарушение естественного равновесия, приводит к эвтрофикации водоемов, уменьшению содержания растворенного кислорода, токсическому воздействию на водные организмы. В настоящее время очистные сооружения не обеспечивают требуемого качества очистки, в особенности по биогенным соединениям. Это связано с изношенностью технологического оборудования, изменением качественных и количественных характеристик сточных вод, несвоевременной корректировкой режима очистки. В связи с этим одной из важнейших проблем водоочистки является проблема снижения содержания биогенных элементов в сточных водах.

Аммонийный азот, являясь первичным загрязнителем, окисляется до нитратов и нитритов, неблагоприятно влияющих на здоровье человека и окружающую среду. Аммонийный азот с высокой эффективностью удаляется из воды с помощью цеолитов, которые являются природными катионообменными материалами. Обменные катионы (например, Na^+), расположенные в полостях цеолита, легко замещаются в водных растворах солей на ион аммония. Удаление же анионов (нитритов, нитратов) из воды с помощью цеолитов возможно только после их модифицирования.

Целью работы являлось исследование возможности использования природного цеолита для удаления из сточных вод азотсодержащих веществ.

Для исследований взяли сахаптинский цеолит. С помощью рентгенофазового анализа определили, что основной фазой является клиноптилолит (45–50 %). Наличие характерных для фазы клиноптилолита структурных групп в образце сахаптинского цеолита также установлено методом инфракрасной спектроскопии. Для проведения исследований по удалению веществ из воды использован модельный раствор с концентрацией ионов NH_4^+ 2,9 мг/л, NO_2^- 2,5 мг/л, NO_3^- 90 мг/л, $\text{Fe}_{\text{общ}}$ 2 мг/л. После пропускания раствора через фильтр с цеолитовой загрузкой (70 мл) осуществляли отбор проб для анализа через каждые 200 мл. Цеолит предварительно был переведен в Na-форму обработкой раствором хлорида натрия. Концентрацию примесей в растворе определяли фотоколориметрическим методом. Результаты эксперимента представлены на рис. 1. Эффективность удаления ионов аммония составила ~90 %, $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – 96 %. Удаление нитратов в условиях данного эксперимента не наблюдалось.

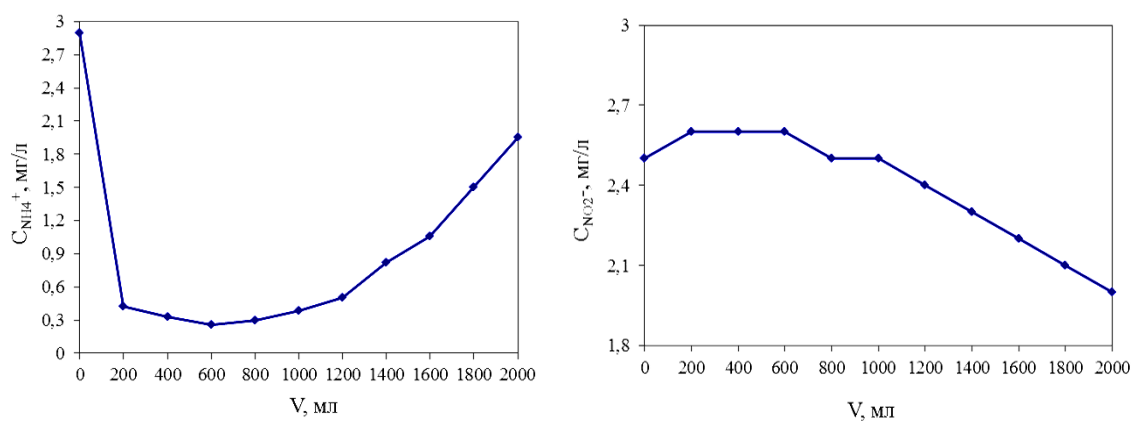


Рис. 1. Зависимость концентрации аммонийного азота (а) и нитритов (б) в фильтрате от объема отфильтрованной воды

Эффективность удаления нитритов достигает 20 %, причем снижение концентрации нитритов начинается после пропускания через фильтр ~1000 мл раствора и может быть связано с насыщением цеолита ионами железа.

Таким образом, в ходе проведенных исследований была показана возможность использования природного цеолита для очистки воды от нитрит-ионов после предварительного модифицирования цеолита ионами железа. Для выяснения механизма удаления нитритов необходимо проведение дальнейших детальных исследований.

Исследование артефактов немоноэнергетичности и рассеяния в компьютерной томографии неоднородных объектов с осевой симметрией

Осипов Сергей Павлович

Мирзоев Хуснидин Джамолуддинович

Осипов Олег Сергеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

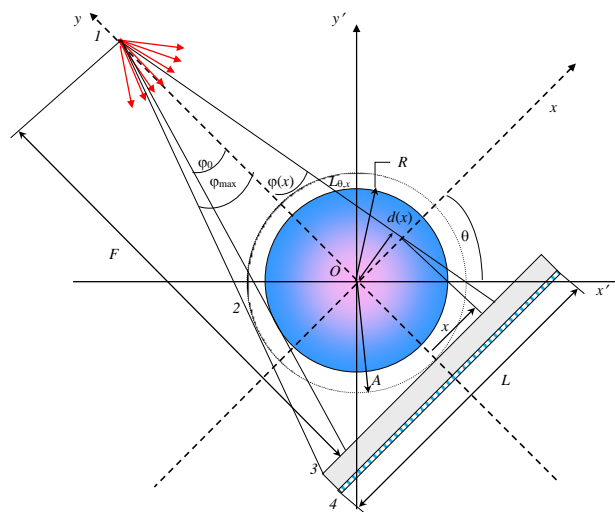
Научный руководитель: Осипов Сергей Павлович, к.т.н.

E-mail: osip1809@rambler.ru

Наиболее значимые артефакты в компьютерной томографии (КТ) связаны с немоноэнергетичностью рентгеновского излучения и с рассеянием фотонов материалом объекта

контроля (ОК) [1–3]. Особую важность исследования артефактов в КТ приобрели в последнее десятилетие, что связано с трансформацией КТ из средств визуализации в средства измерений [4]. Численное моделирование артефактов [5], обусловленных физическими факторами, в КТ занимает особое место, так как экспериментально оценить влияние фактора на качество контроля и измерений затруднительно в силу ограниченности материальных ресурсов. Существует ряд осесимметричных объектов, отказ которых в процессе эксплуатации приводит к прекращению или нарушениям функционирования систем с последующими нарушениями экологической, промышленной, радиационной безопасности. Упомянутые выше объекты могут иметь однородную и неоднородную структуру. Примером таких ОК являются шаровые и кольцевые тепловыделяющие элементы, стальные трубы в оболочках, аккумуляторы значительной энергоёмкости. В литературе недостаточно рассмотрены вопросы реализуемости задач проектирования систем КТ для контроля анализируемых объектов с учётом артефактов немоноэнергетичности и рассеяния. Для решения указанных вопросов необходимо разработать обобщённую математическую модель оценки артефактов в КТ применительно к контролю объектов с осевой симметрией.

На рис. 1 приведена схема формирования проекций $P(\theta, x)$ в КТ. Спецификой ОК является $P(\theta, x) \approx P(x)$.



1 – источник излучения; 2 – ОК; 3 – радиационно-оптический преобразователь; 4 – фотоприёмник
Рис.1 Схема формирования проекций в компьютерной томографии

В качестве основы математической модели оценки артефактов в КТ может быть искажение проекции $P(x)$ негативным фактором Φ в $P_\Phi(x)$ и формирование оценки информативного параметра $q_\Phi(x)$. Сравнение отклонений $\Delta q(x) = |q_\Phi(x) - q(x)|$ с заданной погрешностью ε , приемлемость уровня артефакта – "+", неприемлемость – "-". Неприемлемость уровня Φ приводит к необходимости технических воздействий для снижения Δq . Формализация предложенного подхода к оценке артефактов имеет вид

$$P(x) \otimes \Phi = P_\Phi(x), |x| \leq A \Rightarrow q_\Phi(x, y) = F^{-1}(P_\Phi(x), |x| \leq A) \Rightarrow \Delta q(x) = |q_\Phi(x) - q(x)| > \varepsilon, "-" \vee < \varepsilon, "+" . \quad (1)$$

где F^{-1} – обратное преобразование Абея или его приближение.

Разработан алгоритм и программа оценки артефактов немоноэнергетичности и рассеяния в КТ методом численного моделирования.

Список публикаций:

- [1] Завьялкин Ф. М., Осипов С. П. // Дефектоскопия. 1989. № 11. С. 8.
- [2] Hsieh J. *Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances* // Bellingham, WA : SPIE, 2009.
- [3] Gao H. F., Jia S., Fu G. // *Medical Imaging 2019: Physics of Medical Imaging. International Society for Optics and Photonics. 2019. Vol. 10948. № 1094832.*
- [4] Tan Y. *Scanning and post-processing parameter optimization for CT dimensional metrology. Diss. Ph.D.: Belgium: KU Leuven, 2015.*
- [5] Zaidi H., Ay M. R. // *Medical & biological engineering & computing. 2007. Vol. 45(9). P. 809.*

Оценка нестабильности параметров импульсов тормозного излучения в инспекционных досмотровых комплексах

Осипов Сергей Павлович

Ван Цзяцун

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Осипов Сергей Павлович, к.т.н.

E-mail: osip1809@rambler.ru

Системы цифровой радиографии и компьютерной томографии на основе высокоэнергетических импульсных источников тормозного излучения (ТИ) широко применяются в индустриальном и досмотровом контроле крупногабаритных объектов [1–3]. Импульсный характер ТИ порождает проблемы [4], связанные с флуктуациями параметров ТИ от импульса к импульсу и с необходимостью введения в схему инспекционных досмотровых комплексов (ИДК) опорных каналов [5]. Упомянутые флуктуации имеют статистическую природу и вносят значительный вклад в уровни шумов в исходных и конечных изображениях в ИДК с функцией распознавания материалов методом дуальных энергий (МДЭ). Возможны два подхода к компенсации флуктуаций. Первый основан на важнейшем законе статистики – погрешность оценки выборочного среднего с увеличением объема выборки уменьшается пропорционально квадратному корню из объема выборки. Второй, более предпочтительный, подход базируется на мультипликативном представлении радиометрических сигналов, в котором первый сомножитель является условно детерминированной величиной и равен среднему значению сигнала, а второй сомножитель – случайная величина (СВ). Задача оценки нестабильности параметров импульсов ТИ в последние годы обострилась в связи с необходимостью оценки ослабления ТИ с высокой точностью в МДЭ, используемом для распознавания материалов в ИДК. Для решения указанных вопросов необходимо разработать алгоритм оценки нестабильности параметров импульсов ТИ в ИДК.

Рассмотрим фрагмент ОК массовой толщиной ρH из материала с эффективным атомным номером Z . Пусть в процессе формирования изображений аналоговым путём интегрируется n импульсов, $n \geq 1$. Тогда с учётом темнового сигнала радиометрического детектора (РД) в соответствии с подходом из работы [4] аналоговый сигнал на его выходе в первом приближении пропорционален величине

$$J(\rho H, Z) = \sum_{i=1}^n \alpha_i I_i(\rho H, Z) + \sum_{i=1}^n I_{iD} . \quad (1)$$

В формуле (1) СВ α_i , $I_i(\rho H, Z)$, I_{iD} , $i=1 \dots n$ взаимно независимы и для их параметров выполняются условия

$$\overline{\alpha_i} = 1, \sigma^2 \alpha_i = \sigma^2 \alpha, \overline{I_i(\rho H, Z)} = \overline{I(\rho H, Z)}, \overline{I_{iD}} = I_D, \sigma^2 I_i(\rho H, Z) = \sigma^2 I(\rho H, Z), \sigma^2 I_{iD} = \sigma^2 I_D . \quad (2)$$

Случайные величины α_i характеризует флуктуации числа сбрасываемых электронов, максимальной энергии в спектре E_{\max} , геометрического положения оси пучка ТИ. Случайные величины I_{iD} – энергетические эквиваленты темновых сигналов с РД. Случайные величины $I_i(\rho H, Z)$, $i=1 \dots n$ представляют собой энергию i -го импульса, оставленную в детекторе ТИ, ослабленным барьером с параметрами ρH и Z .

Выражения (1), (2) являются основой алгоритма оценки нестабильности параметров импульсов ТИ в ИДК. На рис. 1 приведена оценка зависимости $\sigma \alpha$ от номера детектора ИДК ТПУ.

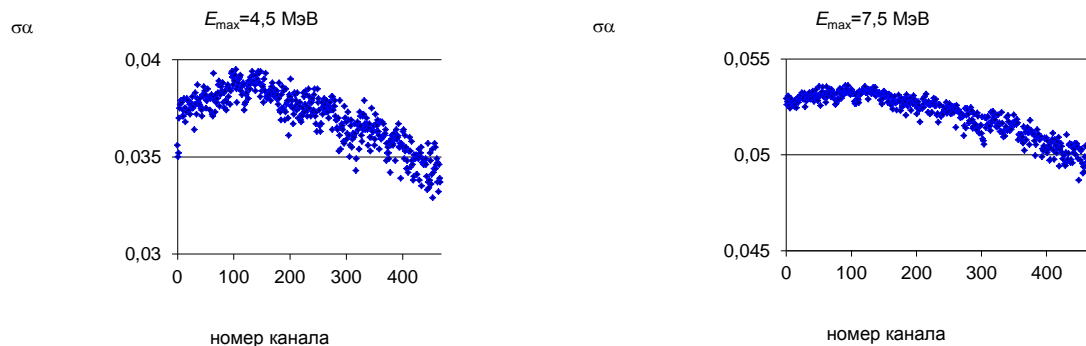


Рис.1 Зависимость $\sigma \alpha$ от номера детектора ИДК ТПУ

Разработан алгоритм и программа оценки нестабильности параметров импульсов тормозного излучения в инспекционных досмотровых комплексах.

Список публикаций:

- [1] Осипов С. П., Чахлов С. В., Кайроланов Д. У., Сиротьян Е. Д. // Дефектоскопия. 2019. № 2. С. 43.
 [2] Shikhaliev P. M. // Nucl Instrum Methods Phys Res A. 2018. Vol 882. P. 158.
 [3] Shikhaliev P. M. // Nucl Instrum Methods Phys Res A. 2018. Vol 904. P. 35.
 [4] Завьялкин Ф. М., Осипов С. П. // Дефектоскопия. 1988. № 2. С. 36.
 [5] Завьялкин Ф. М., Ломакин П. М., Осипов С. П. // Атомная энергия. 1991. Т. 70 (1). С. 57.

Аддитивный метод моделирования пространственных форм объектов в цифровой радиографии и компьютерной томографии

*Осипов Сергей Павлович¹
 Ядренкин Илья Геннадьевич²
 Осипов Олег Сергеевич¹*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹,
 Томский государственный архитектурно-строительный университет²
 Научный руководитель: Осипов Сергей Павлович, к.т.н.
 E-mail:osip1809@rambler.ru*

Для обоснования возможности реализации задач проектирования систем цифровой радиографии и компьютерной томографии в медицине и для промышленного и досмотрового контроля широко используются методы численного моделирования [1–3]. К алгоритмам моделирования радиографических изображений и проекций выдвигается ряд требований: реалистичность; высокая производительность; возможность учёта параметров источника, регистратора фотонного излучения и объекта контроля (ОК). Один из эффективных подходов к описанию ОК приведён в работе [1]. Он базируется на представлении ОК в виде объединения составляющих простейших пространственных элементов (фигур). Такой подход является основой аддитивного метода моделирования пространственных форм объектов в цифровой радиографии и компьютерной томографии. Отметим, что аддитивный подход включают в себя не только возможность объединения пространственных фигур, но и замещение объёмов [1].

Приведём краткое описание аддитивного метода моделирования пространственных форм ОК. Пусть ОК занимает объём $V \subset \mathbb{R}^3$. Каждая точка $(x, y, z) \in V$ применительно к рассматриваемым методам контроля характеризуется плотностью ρ и эффективным атомным номером Z . Пусть множество V представимо в виде

$$V = \bigcup_{n=1}^N V_n; V_n \neq \emptyset; V_i \cap V_j = \emptyset, i=1 \dots N, j=1 \dots N; \rho(x, y, z) = \begin{cases} \rho_n, & (x, y, z) \in V_n \\ 0, & (x, y, z) \in V_n \end{cases}, Z(x, y, z) = \begin{cases} Z_n, & (x, y, z) \in V_n \\ 0, & (x, y, z) \in V_n \end{cases}. \quad (1)$$

Аддитивный метод базируется на следующем выражении

$$P(E, x_d, y_d) = \sum_{n=1}^N c_n \int_{L_n(x_d, y_d)} m(E, Z_n(l)) \rho_n(l) dl. \quad (2)$$

где (x_d, y_d) – координаты точки детектирования; E – энергия фотонов; m – массовый коэффициент ослабления излучения; $L_n(x_d, y_d)$ – участок луча, соединяющего излучающую точку и точку детектирования и принадлежащего множеству V_n ; c_n – коэффициент, равный +1 для наложения и –1 для замещения объёмов.

На рис. 1 приведены модельные цифровые радиографические изображения некоторых ОК.

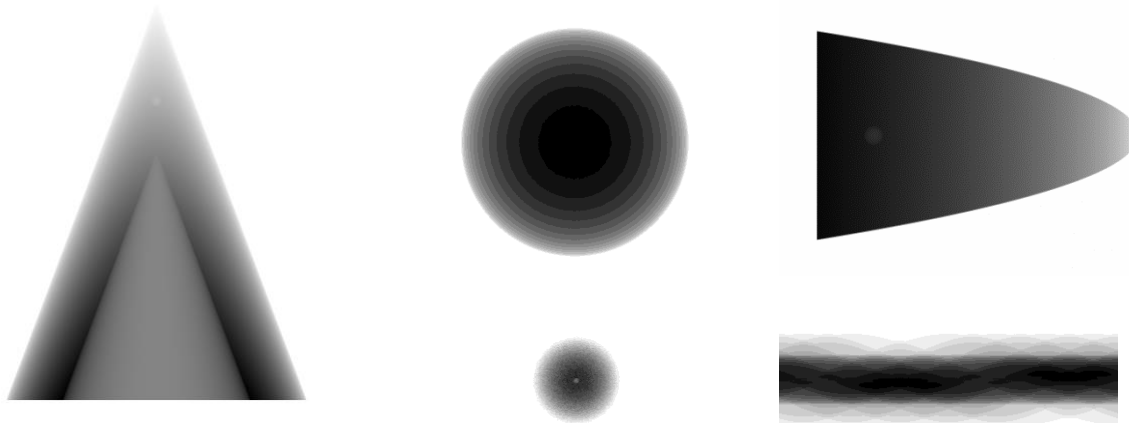


Рис.1 Модельные цифровые радиографические изображения: а – конусный наконечник; б – шаровой ТВЭЛ без контрастирования центральной части; с – шаровой ТВЭЛ с контрастированием центральной части; д – параболический наконечник; е – алюминиевый провод со стальным сердечником

Разработан алгоритм и программа для реализации аддитивного метода моделирования пространственных форм объектов в цифровой радиографии и компьютерной томографии.

Список публикаций:

- [1] Осипов С. П., Чахлов С. В., Кайролапов Д. У., Сиротьян Е. Д. // Дефектоскопия. 2019. № 2. С. 43.
 [2] Lindgren E., Wirdelius H. // NDT & E International. 2012: Vol. 51. P. 111.
 [3] Zaidi H., Ay M. R. // Medical & biological engineering & computing. 2007. Vol. 45(9). P. 809.

Цифровые технологии в неразрушающем контроле

Пономарев Алексей Владимирович

Пономарева Ольга Владимировна

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

E-mail: ponva@mail.ru

Трудно переоценить значение и роль цифровых технологий в разрешении проблематики повышения качества современных материалов, изделий и систем, повышения их эффективности и надежности. Применение цифровых (компьютерных) технологий в методах и средствах неразрушающего контроля (НК) позволяет оперативно получать, обрабатывать и анализировать информационные потоки о процессах и явлениях, происходящих в исследуемых объектах, а также принимать соответствующие управленческие решения, как на уровне технологических процессов, так и на уровне эксплуатации объектов.

Рассмотрим НК как некоторый информационный процесс. В этом случае НК некоторого объекта можно представить в виде выполнения следующих этапов (операций): получение доступных, достоверных и достаточных сведений о свойствах и состоянии объекта контроля, проведение обработки первичной информации, полученной на первом этапе, анализ обработанной на втором этапе информации, принятие решения о дальнейших действиях с объектом контроля.

Повышение эффективности НК объектов различного назначения требует решения научной проблематики, имеющей важное хозяйственное значение, – разрешения проблем разработки цифровой технологии (технологий) для каждого из этапов информационного процесса НК.

Под проблемой H будем понимать множество:

$$H = \{Q, F, V\}; \quad (1)$$

где $Q = \{Q_i\}$ – цели разрешения проблемы; $F = \{F_j\}$ – описание проблемы;

$V = \{V_k\}$ – гипотезы достижения $Q = \{Q_i\}$.

Системный подход к разрешению проблемы заключается в формулировании морфологического, функционального и информационного описания проблемы, нахождении гипотезы решения проблемы

путем проведения последовательности операций, выполнение которых разрешает проблему. На (рис.1) приведена универсальная структурная схема разрешения научных проблем разработки цифровых технологий этапов информационного процесса НК.

В качестве рабочей принята гипотеза поэтапного разрешения проблем на основе создания теоретических основ и методов цифровой двумерной обработки сигналов в базисах Фурье с варьируемыми параметрами.

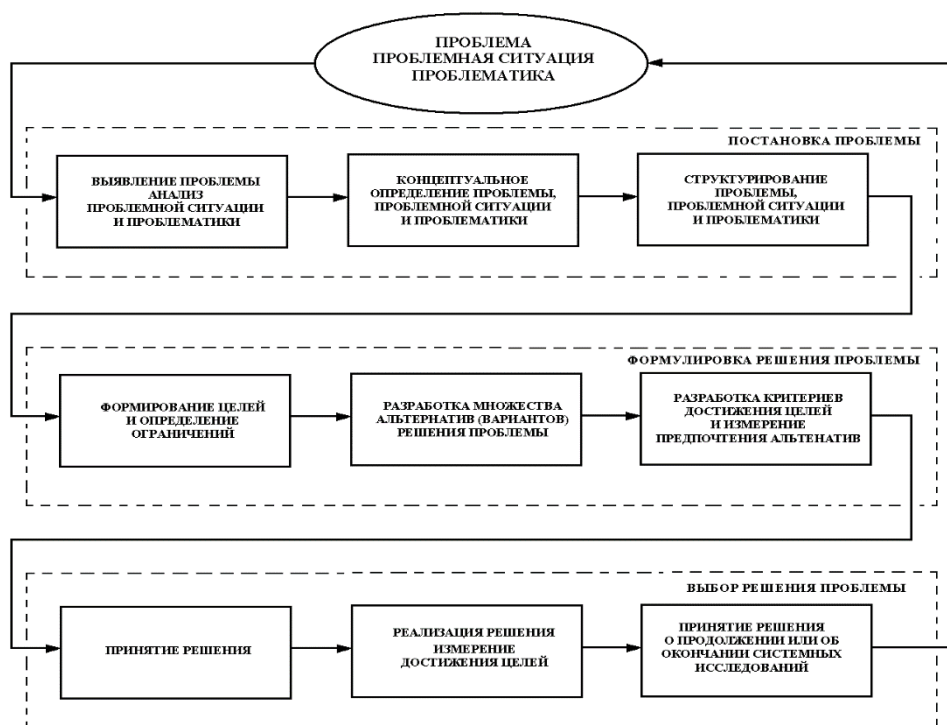


Рис. 1 Структурная схема разрешения научных проблем разработки цифровых технологий этапов информационного процесса неразрушающего контроля объекта

Динамическое нагружение при контроле хрупких объектов методом акустической эмиссии

Попков Артём Антонович

Бехер Сергей Алексеевич

Сибирский государственный университет путей сообщения

E-mail: zabagy@gmail.com

Возможность обнаружения развивающихся в процессе нагружения дефектов является одним из многих преимуществ акустико-эмиссионного метода контроля [1]. Для элементов конструкций из хрупких материалов, где степень опасности дефектов зависит не столько от размеров, сколько от коэффициента концентрации напряжений, акустико-эмиссионный контроль считается наиболее перспективным методом. Процесс нагружения является сложной технологической операцией, которая должна реализовать напряженное состояние материала, провоцирующее развитие дефектов, и при этом не допустить полного разрушения конструкции. При контроле конструкций, находящихся под действием динамических нагрузок, создание условий для развития дефектов является нетривиальной задачей. Для ее решения перспективно использовать ударное нагружение, которое позволяет локально воспроизводить высокий уровень механических напряжений и деформаций [2].

Экспериментальные исследования проводились на плоских образцах размерами 200×300 мм и толщиной 2 мм, изготовленных из силикатного стекла (рисунок 1). Образцы располагались горизонтально на демфирующей подложке. Со стороны длинного края образца искусственно создавалась трещина длиной 5 – 15 мм. Нагружение осуществлялось ударами стальными шариками

(бойками) диаметром 12 мм и массой 7 г, падающими с высоты 0,2 – 0,7 м. Для создания направленного удара применялась алюминиевая трубка, ориентированная под углом 40 – 60° к поверхности образца. Место и направление удара выбирались таким образом, чтобы не допустить повторного воздействия бойка на стекло.

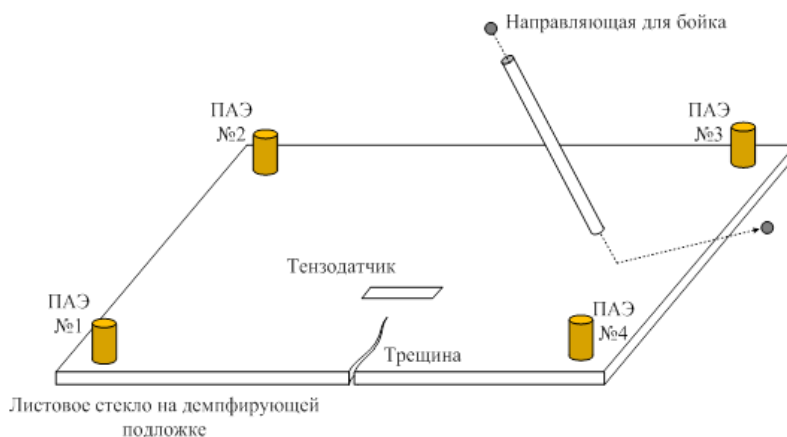


Рис.1 Схема экспериментальных исследований АЭ при ударном нагружении стеклянного образца

Ударное нагружение объекта с трещиной вызывает остаточную упругую деформацию, связанную со смещением кромок трещины по типу продольного сдвига. Со временем деформация уменьшается по логарифмическому закону с постоянной $\tau = 150$ с. Данный процесс сопровождается разрушением кромок трещины и вызывает появление дискретной АЭ [3]. Корреляционная ($R = -0,98$) зависимость числа сигналов от деформации близка к линейной с коэффициентом пропорциональности $k = -0,56$ млн. Амплитудное распределение сигналов соответствует экспоненциальному со средней амплитудой на входе предварительного усилителя, равной 20 мкВ.

Разработанная методика АЭ-контроля обеспечивает обнаружение развитых трещин в хрупких материалах в процессе ударного нагружения. Методика основана на регистрации сигналов дискретной АЭ после затухания упругих колебаний через 25 мс после удара в течение 100 – 400 с на этапе релаксации упругих напряжений, связанных с разрушением берегов трещины.

Список публикаций:

- [1] Муравьев В. В. Автоматизированные диагностические стенды для продления срока службы литых деталей вагонов // Вестник ИжГТУ. №4(60). 2013. С. 98-102.
- [2] Бехер С. А., Попков А. А. Временные характеристики потока сигналов акустической эмиссии при развитии трещин в стекле при ударном нагружении // Вестник ИжГТУ. Т.22. №1. С. 62-71.
- [3] Буйло С. И. Диагностика предразрушающего состояния по амплитудным и временным инвариантам потока актов акустической эмиссии // Дефектоскопия. № 8. 2004. С. 79-83.

Влияние вариантов намагничивания на обнаружение нежелательных включений в массе железной руды

Реутов Юрий Яковлевич

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН

E-mail: asija1@yandex.ru

При попадании в массу железной руды, поступающей по конвейеру на дробилку обогатительной фабрики, стальных обломков карьерного оборудования возможен выход дробилки из строя. Для предотвращения этого требуется выявлять такие нежелательные включения методом вихревых токов, поскольку их электропроводность намного выше, чем у руды. Возможны два варианта контроля: по всей ширине потока на конвейерной ленте или узкими дорожками. Контроль по всей ширине проще, но затрудняется селекция сигнала нежелательного включения от реакции на поток руды шириной около метра. Обследование по отдельным «дорожкам» потока, на первый взгляд, должно облегчить выделение полезного сигнала. Но при этом устройство существенно усложняется, поскольку на каждую «дорожку» требуется свой канал вихретокового контроля. Предлагаемая работа посвящена численному сравнению вариантов контроля с намагничиванием всей ширины потока руды и с локальным намагничиванием его отдельных участков («дорожек»). Выполнены сравнительные аналитические расчёты результатов

намагничивания ансамблей ферромагнитных частиц при использовании однородного и локального постоянных магнитных полей. Аналитические расчёты показали существенное преимущество локального намагничивания по сравнению с намагничиванием однородным полем. Однако масштабный эксперимент выявил некоторые несоответствия практических результатов с расчётными. Такое расхождение объясняется несовершенством использованной расчётной модели.

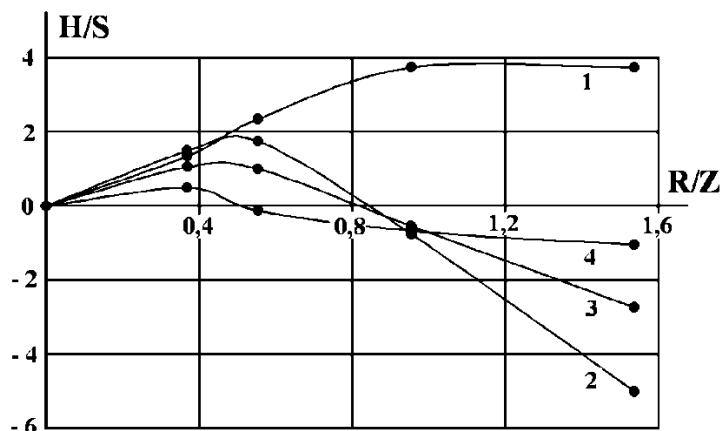


Рис.1 Соотношение помеха/сигнал в зависимости от радиуса ансамбля ферромагнитных частиц

На рис. 1 приведены экспериментальные зависимости отношения помехи к полезному сигналу при вариациях радиуса ансамбля ферромагнитных частиц. По горизонтали отложен радиус ансамбля в единицах высоты размещения сенсора магнитного поля над плоским круглым контейнером с частицами. По вертикали – отношение помехи, создаваемой ансамблем ферромагнитных частиц (кусков руды), к сигналу от объекта поиска. Кривая 1 соответствует однородному намагничиванию (по всей ширине потока руды). Кривые 2 – 4 соответствуют локальному намагничиванию, причём кривая 4 соответствует наибольшей локальности (наименьшей ширине дорожки контроля). Из рисунка видно, что использование локального намагничивания (обследования) действительно заметно облегчает селективное обнаружение объекта поиска, но лишь при определённых ограничениях на ширину зоны, подлежащей обследованию. Если этого не учитывать, можно свести к минимуму выигрыш от усложнения обнаружительного устройства.

Список публикаций:

- [1] Бойко П. Ф., Титиевский Е. М., Тимирязев В. А. Технологические особенности эксплуатации, ремонта, восстановления и модернизации конусных дробилок большой единичной мощности // Горный журнал. 2017. №4. С. 71-75.
- [2] Тараканов Е. А. Исследование и разработка устройств контроля наличия посторонних металлических предметов в сырье и материалах горно-металлургического производства. Диссертация канд. техн. наук. // Норильск. 2008. С. 149.

Новый метод вихретокового контроля уровня металла в сортовом кристаллизаторе непрерывного литья заготовок

Славинская Екатерина Андреевна

Терехин Иван Владимирович

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»

Научный руководитель: Терехин Иван Владимирович, к.т.н.

E-mail: carpe_ugulum@mail.ru

Одной из важнейших проблем технологии непрерывного литья в черной металлургии является задача точного поддержания уровня жидкого металла в кристаллизаторе. Кроме обеспечения безаварийной работы стабильный уровень металла позволяет повысить качество металлопродукции, чем и обусловлена актуальность задачи повышения точности контроля.

Для измерения уровня металла в кристаллизаторе преимущественно используются радиометрические и электромагнитные методы. Измерители уровня, основанные на радиометрическом методе, анализируют степень поглощения гамма-излучения, прошедшего через гильзу кристаллизатора и

столб жидкого металла. Такая методика отличается простотой конструкции и точностью измерений, однако имеет высокую стоимость и небезопасна для персонала и окружающей среды. Кроме того, радиометрические преобразователи чувствительны к шлакообразующей смеси, которая добавляется в кристаллизатор при разливке высококачественной стали. Более экологичной и менее дорогостоящей альтернативой радиометрическим измерителям уровня выступают вихретоковые преобразователи. Вихретоковые преобразователи накладного типа обычно размещают с одной стороны гильзы и регистрируют изменение ее электропроводности, связанное с нагревом жидким металлом изнутри. Тепловые процессы не всегда синхронны с изменением положения самого металла, что вызывает заметное запаздывание выходного сигнала преобразователя, приводящее к потере устойчивости системой стабилизации. Присутствие шлакообразующей смеси, которая обладает теплоизоляционными свойствами, усугубляет тепловую инерцию и может неконтролируемо ухудшить динамические свойства преобразователя.

Повысить быстродействие измерителя уровня можно в том случае, если определять уровень непосредственно по сигналу от металла. Для всех существующих конструкций преобразователей имеется проблема разделения сигнала от жидкого металла на фоне сопутствующего нагрева гильзы. Известно, что для накладного преобразователя, применяемого на сортовых кристаллизаторах, сигнал от нагрева гильзы в 40-100 раз превышает полезный сигнал от металла, что исключает возможность контроля по признаку наличия стали. Ранее авторами был исследован вихретоковый измеритель уровня экранного типа [1], для которого сигнал от нагрева соразмерен полезному, однако годографы от нагрева отличаются значительной нелинейностью, а, следовательно, компенсация температурного влияния в экранном преобразователе затруднена. В настоящей работе предлагается новый метод измерения уровня металла, который базируется на качаниях кристаллизатора относительно столба металла. Механизм качания кристаллизатора при непрерывной разливке необходим для предотвращения подлипания металла к гильзе. Такие перемещения относительно уровня металла проявляются в виде дополнительной гармоника в спектре выходного сигнала преобразователя. При этом нагрев гильзы и все тепловые дрейфы не будут влиять на измерение уровня, так как тепловые процессы имеют значительную постоянную времени по сравнению с периодом качаний. Таким образом, выделяя сигнал от качаний и анализируя его параметры, можно получить информацию о положении уровня металла по высоте кристаллизатора. Работоспособность предложенного принципа измерения была проверена в лабораторных условиях при полезных сигналах порядка десятка мкВ. С помощью тестовых амплитудно-модулированных сигналов был разработан алгоритм определения уровня по сигналам качания кристаллизатора

Список публикаций:

[1] Савин И. С., Славинская Е. А., Терехин И. В. Вихретоковый контроль уровня металла в кристаллизаторе с помощью преобразователя экранного типа // Контроль. Диагностика. 2017. № 12. С. 24-29.

Интеллектуальная система поддержки принятия решений для контроля сложных технических систем

Смирнов Владимир Александрович

ЗАО «Научно-производственный центр «Аквamarin»

E-mail: vlad.sm2010@yandex.ru

Непрерывное усложнение технических систем, появление все большего количества слабоструктурированных задач при проведении контроля и диагностирования делают особенно актуальной проблему развития научно-методического и технического обеспечения этих процессов. Ключевым направлением развития автоматизированных систем контроля является разработка новых методов на основе теории искусственного интеллекта, адаптация известных эффективных моделей и алгоритмов представления и обработки данных и знаний. Основными задачами, требующими решения на современном этапе развития теории и практики технического контроля, являются: оценка состояния работоспособных изделий, имеющих различные реализации совокупности параметров; повышение разрешающей способности средств диагностирования; прогнозирование технического состояния объекта контроля, учитывающее недостаток априорной информации; обеспечение оперативного доступа к информации об изделии, ресурсах, процессах и результатах, полученных на различных этапах жизненного цикла изделия. Целью работы является построение модели интеллектуальной системы поддержки принятия решений (рис. 1), содержащей целевые интеллектуальные компоненты базы знаний и обеспечивающей в автоматизированном режиме информационную и аналитическую поддержку

решения широкого круга задач контроля, характеризующихся многокритериальностью и неопределенностью информации для принятия решений.

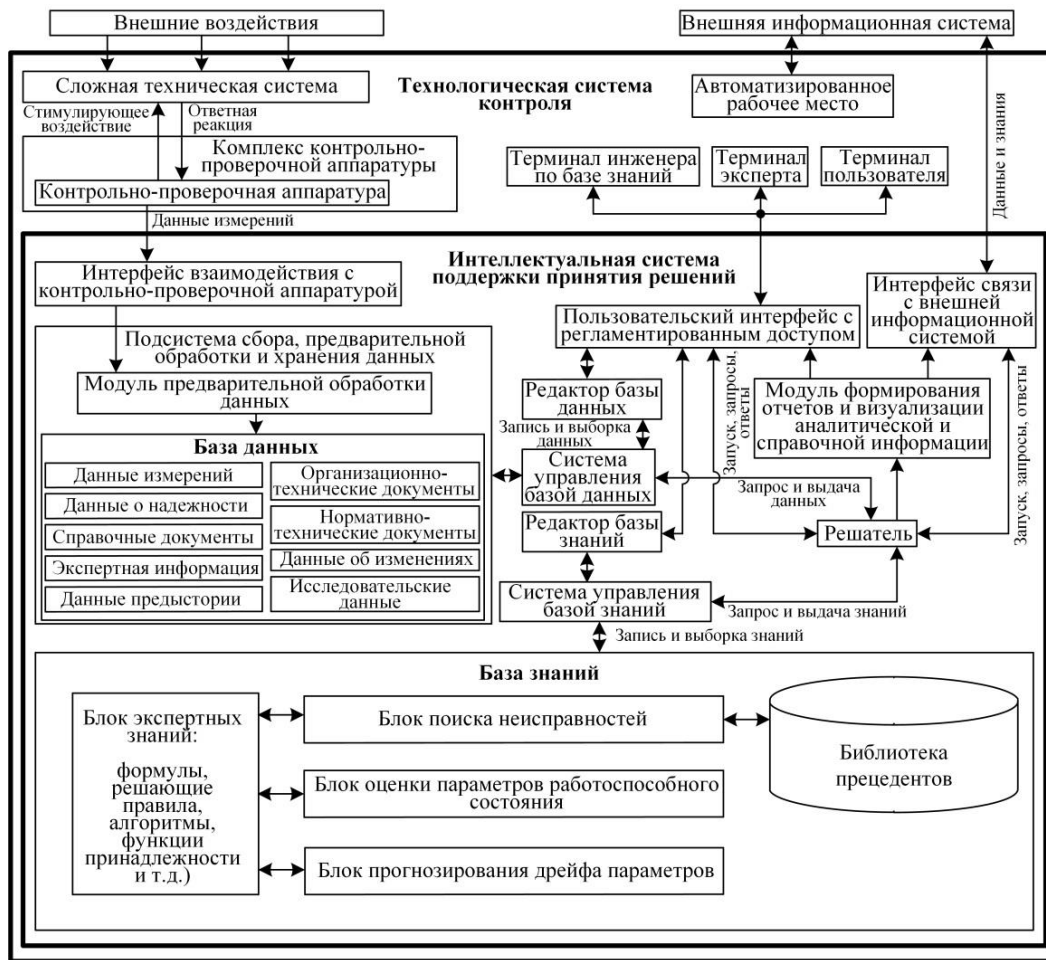


Рис.1 Модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений для контроля сложных технических систем

В работе предложены: модель поиска неисправностей на основе байесовского, прецедентного подходов и модели нечеткого вывода Такаги-Сугено 1-го порядка; нечеткая модель оценки состояния параметра на основе шести частных критериев, комплексного критерия оценки уровня работоспособности и алгоритма нечеткого вывода Э. Мамдани; модель прогнозирования дрейфа параметров на основе прецедентного подхода, иммунного алгоритма клональной селекции и метода аппроксимации кубическими сплайнами.

Термооптический способ локальной диагностики приповерхностных слоев малых образцов

Старостин Александр Алексеевич

Котов Артем Николаевич

Шангин Виктор Владимирович

Лончаков Александр Трофимович

ФГБУН Институт теплофизики УрО РАН

ФГБУН Институт физики металлов УрО РАН

Научный руководитель: Старостин Александр Алексеевич, к. ф.-м. н.

E-mail: astar2006@mail.ru

Для контроля изменений свойств образцов, имеющих малые размеры, и быстро релаксирующих при нагреве необходимо оборудование, позволяющее проводить быстрые измерения с локальностью в доли миллиметра. Разработаны импульсные методики термооптической диагностики приповерхностных слоев малых образцов непрозрачных материалов как в области низких, так и высоких температур. Локальный нагрев и регистрация параметров переменных температурных полей в образце осуществляются с помощью лазерных лучей. Нагрев и считывание производится с одной стороны образца. В отраженном луче содержится переменная составляющая, синхронная с колебаниями температуры поверхности. Лазерное считывание позволяет определять изменение теплофизических и оптических свойств образца с локальностью в десятки микрометров, что является в ряде случаев определяющим при исследованиях малых образцов в широком диапазоне температур. Методика волоконно-оптической терморелефлектотрии позволяет исследовать состояния приповерхностных слоев образца по скорости релаксации температурного возмущения, используя два лазерных источника излучения с волоконным выходом. Первый источник излучения с длиной волны 1470 нм генерирует оптический импульс настраиваемой длительности для нагрева поверхности образца за время от 1 до 50 мкс. Второй источник генерирует постоянное излучение с длиной волны 1530 нм меньшей мощности, которое отражается от пятна нагрева и играет роль считывающего луча. Оба излучения передаются по общему световоду до образца в малогабаритной измерительной ячейке. Используется стандартный кварцевый одномодовый световод с диаметром световедущей жилы 9-10 мкм. Выходящее из торца световода излучение нагревает на образце площадку диаметром около 20 мкм. Отраженное от этой площадки зондирующее излучение распространяется по световоду в обратном направлении, отделяется от падающих лучей элементами волоконной системы и подается на фотоприемное устройство, преобразующее оптический сигнал в цифровой вид для дальнейшего анализа с помощью компьютера.

Для проведения экспериментов при температуре жидкого азота была собрана малогабаритная экспериментальная ячейка, включающая исследуемый образец, пьезопривод для подстройки рабочей характеристики, датчики температуры. Элементы внешнего корпуса и разъемы имеют герметичную конструкцию для проведения экспериментов с откачкой воздуха. Все части конструкции выполнены из немагнитных материалов с перспективой последующих измерений в магнитном поле.

В докладе представлены кривые температурной релаксации фототермического сигнала для приповерхностных слоев различных полупроводниковых материалов: широкозонного ZnSe с примесью никеля, узкощелевого InSb и бесщелевого HgSe с разной концентрацией электронов. Приводится сравнительный анализ данных с результатами измерений на образцах металлов и сплавов.

Список публикаций:

[1] Лончаков А. Т., Бобин С. Б., Дерюшкин В. В., Котов А. Н., Старостин А. А., Шангин В. В. // Тезисы докладов V Российской конференции «Метастабильные состояния и флуктуационные явления». Екатеринбург: ИТФ УрО РАН. 2017. С. 41.

[2] Дерюшкин В. В., Старостин А. А., Шангин В. В., Лончаков А. Т., Бобин С. Б., Котов А. Н. // Тезисы докладов XXXVIII совещания по физике низких температур, Москва–Ростов-на-Дону–Шепси. 2018. С. 117-118.

Устройство теплового контроля диэлектрических жидкостей с программируемыми режимами нагрева

Старостин Александр Алексеевич

Котов Артем Николаевич

Лукьянов Кирилл Валерьевич

Волосников Дмитрий Владимирович

Поволоцкий Илья Ильич

Скрипов Павел Владимирович

ФГБУН Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии

Научный руководитель: Скрипов Павел Владимирович, д.ф.-м.н.

E-mail: astar2006@mail.ru

Диэлектрические жидкости на основе органических соединений и нефтепродуктов часто являются основными компонентами технологических систем. Эти материалы служат основой для топлив, смазочных, изолирующих и охлаждающих жидкостей и играют важную роль в обеспечении безотказной и эффективной работы механизмов, машин, электротехнического оборудования, а также требуют тщательного контроля. Свойства технических жидкостей в большой степени зависят от их чистоты. Например, загрязнение электроизолирующих жидкостей парами воды приводит существенному снижению напряжения пробоя, что в свою очередь может привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому, необходимы средства контроля состояния технологических жидкостей для их своевременной очистки и регенерации [1].

Малые добавки воды способны влиять в существенной степени на теплообмен при импульсном нагреве, а также снижать температуру спонтанного вскипания. Устройство [2] позволяет нагревать тонкую платиновую проволочку – зонд, погруженную в исследуемую жидкость, фиксировать параметры нагрева пристеночного слоя жидкости и на основе полученных данных определять влагосодержание в единицах грамм воды на тонну основного вещества. Обсуждаются два режима импульсного нагрева. Первый режим основан на автоматическом поиске температуры самопроизвольного вскипания для обнаружения летучих примесей в маслах. Второй режим позволяет проводить автоматический поиск режима нагрева, подходящего для оценки характерных изменений теплообмена перед вскипанием. Использование современной элементной базы и специальных процедур обработки сигналов позволяет подобрать оптимальный режим теплового высокотемпературного тестирования жидких веществ, и получить результаты в ранее недоступном диапазоне температур, чувствительном к малым изменениям состава образца [3]. В докладе рассматриваются принципы построения цифрового устройства для измерения на проволочном зонде - термометре сопротивления. Действие устройства направлено на обеспечение точности воспроизведения заданных режимов нагрева и скорости записи ответных сигналов. Конструкция устройства позволяет автоматизировать процедуру измерения с минимальным количеством предустановленных настроек и выводом информации в режиме реального времени.

Созданное на базе метода устройство имеет гибкую систему настройки управляющего программного обеспечения для решения научных и технологических задач. В одном из вариантов реализован измерительный комплекс для определения бинодали жидкость-жидкость растворов непредельных углеводородов с одно-, двух- и трехкомпонентными фторированными соединениями. Данный вариант может быть интересен химикам, разрабатывающих технологии получения новых синтетических материалов и нуждающихся в средствах контроля химических реакций при их масштабировании из лабораторий в реальное производство. Другой вариант позволяет определять содержание примеси влаги в углеводородных жидкостях с чувствительностью в миллионных долях (ppm) и может быть интересен технологам для контроля чистоты исходных компонентов и расходных материалов в виде диэлектрических технологических жидкостей.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 19-19-00115).

Список публикаций:

[1] Шувалов Г. В., Селятицкий В. Г., Байкалов В. М. // Датчики и системы. 2012. № 6. С. 24-27.

[2] Лукьянов К. В., Котов. А. Н., Старостин А. А. // Датчики и системы. 2014. №10. С. 46-49.

[3] Lukunov, K. V., Starostin, A. A., Skripov, P. V. // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. Vol. 106. Pp. 657-665.

Оценка достоверности и метрологическое обеспечение способов определения сил, возникающих при взаимодействии колеса и рельса

Сыч Татьяна Викторовна

Бехер Сергей Алексеевич

Коломеец Андрей Олегович

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС)*

Научный руководитель: Бехер Сергей Алексеевич, доктор технических наук

E-mail: sychvt1@sgups.stu.ru

В настоящее время в Российской Федерации, как и во многих странах мира, взят курс на внедрение тяжеловесного движения на железных дорогах. В условиях повышения грузооборота и увеличения осевых нагрузок острым остается вопрос обеспечения безопасности движения грузового и пассажирского подвижного состава на сети железных дорог [1]. Своевременное выявление эксплуатационных дефектов в деталях подвижного состава и рельсовом пути, а также принятие мер по предупреждению развития данных дефектов является актуальной научно-практической задачей. Опасными остаются такие дефекты поверхности катания колес как ползуны, навары, выщербины, которые могут быстро увеличиваться в размерах и негативно сказываться на динамике подвижного состава. Если характеризовать организацию предупреждения опасных ситуаций в целом, на сети железных дорог действует система планового и предупредительного ремонта, детали осматриваются и бракуются в процессе периодических текущего, среднего, капитального ремонта. При каждом виде ремонта установлены критерии браковки, технология контроля, в том числе неразрушающего контроля [2]. Осмотр и контроль вагонов на станциях в пути несет сложность реализации, существенно зависит от способности оператора оценить дефект визуально, а также от условий проведения контроля. Таким образом, вероятность обнаружения дефектов поверхности катания колеса в межремонтный период остается достаточно низкой. В последнее время широкое распространение получили системы непрерывного мониторинга параметров взаимодействия колеса и рельса. В данных системах могут использоваться оптические или лазерные датчики, для размерного контроля деталей, определения максимальных прогибов, а также датчики деформаций. Контроль и оценка динамических сил может проводиться различными способами, оценка их точности является задачей настоящего исследования. В Российской Федерации введен стандарт [3] на нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний. В соответствии с требованиями [3] способами определения боковых и вертикальных сил, передаваемых от колеса на рельс, являются тензосхемы на рельсах, и тензосхемы на колесах с частотой регистрации 250 Гц, для определения боковых сил предлагается использовать метод Шлюмпфа [4]. На Российских железных дорогах распространение получил метод «РЖД - 2016» [1], способ которого основан на использовании матриц влияния, которые связывают действующие на рельс силы с напряжениями в местах наклейки тензодатчиков при их работе в упругой области деформаций. Для калибровки системы требуются испытания рельса в определенной комбинации сил для получения матрицы коэффициентов пропорциональности, матрица учитывает вертикальную и боковую составляющую силы, изгибающий момент. Авторами проведен анализ напряженно-деформированного состояния рельса при действии на него колеса проходящего подвижного состава, проведено изучение распределения относительных деформаций шейки рельса и проведен анализ систематических погрешностей обсуждаемых в работе способов определения сил, возникающих в системе контактного взаимодействия колеса и рельса [1, 3, 5]. Использован численный метод определения напряженно-деформированного состояния рельса, нахождения значений относительных деформаций шейки рельса в местах размещения первичных преобразователей. Произведена верификация численной модели. Получены результаты расчета трех компонент нагрузки и проведены имитационные испытания предлагаемого авторами способа контроля сил. Предлагаемый авторами способ контроля сил позволяет достигнуть существенного повышения точности расчетов компонент нагрузки в системе «колесо-рельс» за счет учета жесткости подрельсового основания при калибровке системы. Достоверное определение боковых и вертикальных сил при различных используемых способах будет способствовать повышению безопасности движения, увеличению срока службы рельсов и деталей вагонов.

Список публикаций:

[1] Гапанович В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении / В.А. Гапанович, старший вице-президент ОАО «РЖД», кандидат технических наук // *Железнодорожный транспорт*. № 10. 2016. С. 10-15.

[2] *Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм. РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017.*

[3] *ГОСТ 55050-2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний.*

[4] Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. Под ред. М.Ф. Вериго. // М.: Транспорт. 1986. С. 559.

[5] Бехер С. А. Пат. на изобретение RUS 2625256 11.01.2016/ Способ контроля поверхности катания железнодорожных колёс в движении. С. А. Бехер, Степанова Л. Н., Коломеец А. О., Попков А. А.

Моделирование напряжённо-деформированного состояния рельса с трещиной в головке и оценка времени безопасной работы такого рельса.

Муравьев Виталий Васильевич

Тапков Кирилл Александрович

Волкова Людмила Владимировна

Платунов Андрей Валерьевич

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашиникова

E-mail:pmkk@istu.ru

При эксплуатации рельса в нём происходит накопление усталостных дефектов, одним из наиболее опасным из которых являются трещины. В то же время в рельсе происходит суммирование остаточных технологических, термических и нагрузочных (при прохождении подвижного состава) напряжений, могущих в области острой трещины превышать предел текучести материала, вследствие чего возможен ускоренный износ и выход рельса из строя. Таким образом знание уровня остаточных напряжений рельсов уложенных в путь может позволить прогнозировать их наработку на отказ до того, как рельс перейдёт в разряд остродефектных.

Измерение уровня остаточных напряжений предлагается производить прибором СЭМА, в основу работы которого заложен принцип акустоупругости. При измерении данным прибором результатом являются средние значения напряжений по сечению рельса (шейка, головка, подошва). Для соотнесения уровней остаточных напряжений по элементам рельса и измеренных экспериментально значений было выполнено моделирование в программной среде Comsol Multiphysics

Для моделирования жизненного цикла рельса за остаточные технологические напряжения были приняты максимально допустимые согласно ГОСТ 51685-2013, была выбрана максимальная нагрузка на путь (вагон массой 100 т.), и рассмотрено три варианта температурных напряжений. В качестве механических свойств металла были выбраны минимально допустимые по ГОСТ 51685-2013 (предел текучести 800 МПа).

Моделирование жизненного цикла рельса показало влияние расположения очага зарождения от термических напряжений и различные значения количества циклов до разрушения. Так, в частности, зарождение трещины происходит медленнее всего в рельсе при температуре закрепления (57,5 млн. тонн брутто), но при этом уже при прохождении 200 млн. тонн брутто рельс становится остродефектным. Максимальную работу до остродефектного состояния имеет рельс с температурой ниже температуры закрепления на 50 градусов (более 300 млн. тонн брутто). Таким образом, установлена связь между уровнем напряжений и жизненным циклом рельса.

Исследование выполнено за счет гранта Президента РФ (грант № МК-6599.2018.8)

Список публикаций:

[1] El-sayed H. M., Lofly M., Zohny H. N. El-din, Riad H. S. Prediction of fatigue crack initiation life in railheads using finite element analysis // Ain Shams Engineering Journal. Vol. 9. Issue 4. 2018. Pp. 2329-2342. DOI: 10.1016/j.asej.2017.06.003

[2] Akama M., Kiuchi A. Fatigue Crack Growth under Non-proportional Mixed Mode I/III Loading in Rail and Wheel Steel // Tetsu to Hagane-Journal of the iron and steel institute of Japan. Vol. 104. Issue 11. 2018. Pp. 689-698. DOI: 10.2355/tetsuhagane.TETSU-2018-059

[3] Peixoto D. F. C., de Castro P. M. S. T. Near threshold fatigue crack propagation in railways' steels: Comparison of two testing techniques // Theoretical and applied fracture mechanics. 2015. Vol. 80. Pp. 73-78. Part: A Special Issue: SI. DOI: 10.1016/j.tafmec.2015.06.008

[4] Gromov V. E., Yuriev A. A., Ivanov Yu. F., Glezer A.M., Kononov S. V., Semina A. P., Sundeeveg R. V. Defect substructure change in 100-m differentially hardened rails in long-term operation // Materials letter. 2017. Vol. 209. Pp. 224-227. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.07.135

[5] Datsyshyn O. P., Marchenko H. P., Glazov A. Yu. On the special angle of surface cracks propagation in the railway rail heads // Engineering fracture mechanics. Vol. 206. 2019. Pp. 452-462. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2018.12.017

[6] Gromov V. E., Ivanov Yu. F., R. S. Qin ORCID Icon, Peregodov O. A., Aksenova K. V., Semina O. A. Degradation of structure and properties of rail surface layer at long-term operation. // Materials Science and Technology. 2017. Vol. 33.

Issue 12: Materials in External Fields - The 7th International Symposium on Materials in External Fields (ISMEF'16). Pp. 1473-1478. DOI: 10.1080/02670836.2017.1287983

[7] Ivanov Y. F., Gromov V. E., Yur'ev, A. A., Glezer A. M., Popova N. A., Peregudov O. A., Konovalov S. V. Contributions of Various Mechanisms to the Hardening of Differentially Quenched Rails during Long-Term Operation // Russian Metallurgy (Metally). 2018. Vol. 2018, issue 10. Pp. 985-989. DOI:10.1134/S0036029518100099

[8] Yuriev A. A., Gromov V. E., Grishunin V. A. Stages and Fracture Mechanisms of Lamellar Pearlite of 100-m-Long Differentially Hardened Rails Under Long-Term Operation Conditions//et al. Acta Metallurgica Sinica (English Letters). 2018. Vol. 31, Pp. 1356-1360. DOI: 10.1007/s40195-018-0810-9

[9] Wenner M., Meier T., Wedel F., Marx S. Experimental determination of the longitudinal stiffness of the piers of a long railway viaduct // Bautechnik. 2019. Vol. 96. Issue 2. Pp. 99-110. DOI: 10.1002/bate.201800019

[10] Peregudov O. A., Morozov K. V., Gromov V. E., Glezer A. M., Ivanov Yu. F. Formation of internal stress fields in rails during long-term operation // Russian Metallurgy (Metally). 2016. Vol. 2016. Issue 4. Pp. 371-374. DOI: 10.1134/S0036029516040182

[11] Turan M. E., Aydin F., Sun Y., Cetin M. Residual stress measurement by strain gauge and X-ray diffraction method in different shaped rails // Engineering failure analyses. 2019. Vol. 96. Pp. 525-529. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2018.10.016

[12] Murav'ev, V. V., Tapkov, K. A., Len'kov, S. V. On the Question of Monitoring Residual Stresses in Selectively Heat-Strengthened Rails // Russian Journal of Nondestructive Testung. 2018. Vol. 54. Pp. 675-681. DOI: 10.1134/S106183091810008X

[13] Murav'ev, V. V., Volkova, L. V., Gromo, V. E., Glezer A. M. Estimation of the residual stresses in rails using electromagnetic-acoustic introduction-reception of waves // et al. Russ. Metall. 2016: 992. DOI: 10.1134/S003602951610013X

[14] Skrypnyk R., Nielsen Jens C. O., Ekh M., Palsson, Bjorn A. Metamodelling of wheel-rail normal contact in railway crossings with elasto-plastic material behavior // Engineering with computers. 2019. Vol.35. Issue 1. Pp. 139-155. DOI: 10.1007/s00366-018-0589-3

Влияние водопоглощения на скорость распространения нормальных волн в композитной арматуре

Муравьева Ольга Владимировна

Хасанов Роберт Расилевич

Стрижак Виктор Анатольевич

Мкртчян Сергей Станиславович

Сяктерев Максим Вячеславович

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Научный руководитель: Муравьева Ольга Владимировна, д.т.н., профессор

E-mail: pmkk@istu.ru

Композитная полимерная арматура (КПА) по ГОСТ 31938–2012 находит широкое применение при строительстве не только жилых и гражданских, но и промышленных зданий и сооружений, относящихся к классу опасных производственных объектов. ГОСТ 32492 нормирует ряд методов определения ряда физико-механических характеристик, влияющих на эксплуатационную надежность данных объектов. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик КПА является ее водопоглощение, определяемое по ГОСТ 4650 вычислением разности между массой образца до и после испытания при погружении в дистиллированную воду при температуре $23\pm 2^\circ\text{C}$ в течение установленного периода времени, выраженной в процентах по отношению к начальной массе. Метод имеет недостаточно высокую чувствительность при измерениях малого водопоглощения и является достаточно затратным с точки зрения производительности. Одним из подходов к определению физико-механических свойств АКП является использование волноводного акустического контроля с использованием нормальных волн Похгаммера. Цель работы – экспериментальные исследования влияния водопоглощения на скорости распространения стержневых и крутильных волн в композитной арматуре эхо-импульсным методом. Измерения проведены на образцах КПА из двух партий с существенно отличающимися коэффициентами водопоглощения (Партия #1 - 1,9% и Партия #2 – 0,06%). Образцы длиной 1 метр помещались в сосуд водой, при этом периодически в процессе водопоглощения регистрировались эхограмма серии многократных переотражений по длине КПА и рабочая температура воды. Результаты влияния процесса водопоглощения с течением времени на скорость стержневой волны представлены на рис.1а. Рис.1б иллюстрирует влияние температуры на процессы распространения стержневой и крутильной волн. Наблюдается достаточно резкое уменьшение скорости стержневой волны, более выраженное для Партии #1 с высоким водопоглощением, далее скорость волн стабилизируется. При этом скорость крутильных волн в процессе водопоглощения остается неизменной, что соответствует физическим представлениям о невозможности передачи сдвиговых деформаций в жидкости. Исследованные закономерности позволяют

оценить чувствительность метода при оценке водопоглощения, составившую для Партии #1 – 18 м/с (0,4%), для Партии #2 – 217 м/с (4,31%) на 1 % водопоглощения. Исследования влияния температуры на скорости нормальных волн позволяют оценить температурные коэффициенты скорости для образцов КПА вследствие линейного удлинения образца, составившие, в частности, для Партии #2 – 0,67 м/с на 1⁰С для стержневых волн и 0,54 м/с на 1⁰С для крутильных волн. Исследованные закономерности позволят обосновать новую методику оценки водопоглощения композитной арматуры, отличающуюся высокой точностью, достоверностью и оперативностью.

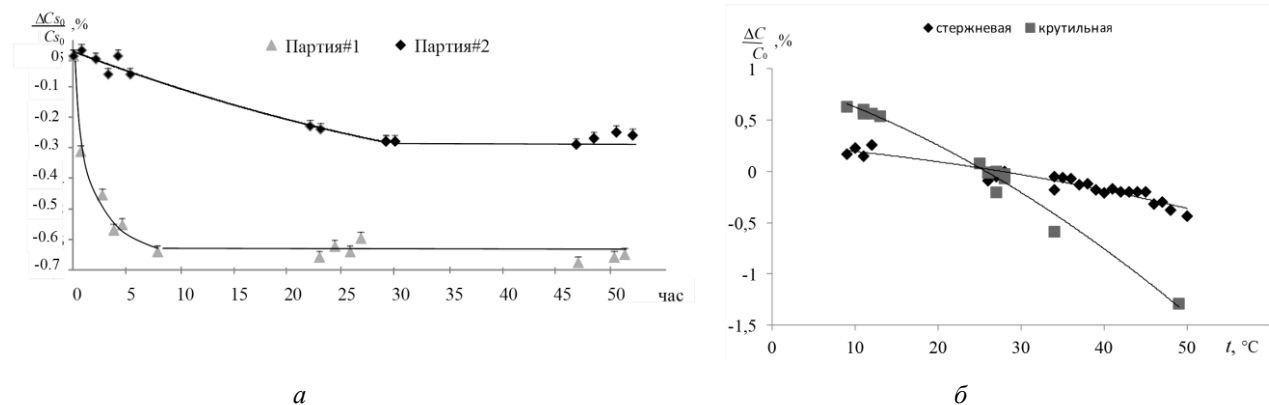


Рис.1 Влияние процесса водопоглощения (а) и температуры (б) на скорости нормальных волн в композитной арматуре

Публикация подготовлена в рамках работ по проекту №12.06.01.18МОВ, реализуемому при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова».

Использование двухканальных пирометров в условиях повышенной запыленности

Чернышева Надежда Сергеевна

Ионов Антон Борисович

Омский государственный технический университет

Научный руководитель: Ионов Борис Петрович, к.т.н.

E-mail: wia_lady@mail.ru

Бесконтактные методы измерения температуры являются удобными, а иногда и незаменимыми, методами мониторинга тепловых процессов в промышленности. Однако, существующие на данный момент пирометрические системы не всегда могут обеспечить необходимую точность измерений, особенно в тех случаях, когда на процесс измерения оказывают значительное влияние неучтенные внешние факторы. К примеру, существенной проблемой является наличие пылевого облака на пути распространения излучения от объекта к пирометру, вследствие значительной нестабильности оптических свойств запыленной среды.

Результаты проведенного ранее исследования свидетельствуют о том, что одноканальные пирометры (пирометры частичного излучения) способны относительно достоверно измерять температуру в условиях запыленности только при задействовании встроенного в пирометр механизма коррекции с использованием вводимого оператором адекватного значения "коэффициента черноты". Тем не менее, в реальных производственных условиях точное определение значения данную корректирующего коэффициента зачастую не является возможным, так как пылевое облако, как правило, представляет собой нестационарную систему с постоянно изменяющимися параметрами. В качестве альтернативного варианта, на наш взгляд, целесообразно рассмотреть перспективы применения двухканальных пирометрических систем (спектрального отношения) в условиях запыленности, поскольку аналогичные методы показали свою эффективность при проведении бесконтактного мониторинга температуры объектов с неизвестной излучательной способностью. Особенный интерес представляет исследование возможности применения в составе данных систем широкополосных приемников излучения с целью повышения соотношения сигнал/шум и расширения диапазона измерений.

При проведении исследования было задействовано пять измерительных каналов, построенных на основе приемников излучения, спектральные характеристики чувствительности которых существенно различаются: два широкополосных ($\lambda_1=2.6...4.5$ мкм; $\lambda_2=1.6...3.6$ мкм) и три узкополосных ($\lambda_3=2.9...3.05$ мкм; $\lambda_4=3.51...3.65$ мкм; $\lambda_5=4.19...4.4$ мкм) датчика. Основные этапы проведенного исследования заключались в следующем: а) экспериментальное определение влияния нестационарного облака (цементной пыли) на проходящее через него ИК-излучение в диапазоне 1.6...4.5 мкм; б) имитационное моделирование погрешности бесконтактного измерения температуры в диапазоне 350...750 °С в условиях запыленности при переменном коэффициенте пропускания среды (0.5...1) одноканальными пирометрами, построенными на основе указанных выше пяти измерительных каналов; в) имитационное моделирование погрешности бесконтактного измерения температуры в аналогичных условиях двухканальными пирометрами (спектрального отношения), при этом из десяти потенциально возможных для использования в составе двухканального пирометра парных комбинаций пяти измерительных каналов исследовано семь допустимых вариантов (в данном диапазоне температур).

В ходе экспериментального этапа исследования была получена эмпирическая зависимость уровня среднеквадратического отклонения флуктуаций величины коэффициента пропускания среды (облака цементной пыли) от интегрального значения коэффициента пропускания, условно характеризующего степень запыленности. Этап моделирования процесса измерения температуры одноканальным пирометром позволил выявить наилучший вариант его построения (канал №1) и оценить поведение его погрешности, увеличивающейся как с ростом запыленности, так и с ростом измеряемой температуры. Наилучший результат с точки зрения погрешности двухканального пирометра показала комбинация измерительных каналов №1 и №4 (обладающих наилучшими шумовыми свойствами): при незначительном уровне запыленности (интегральный коэффициент пропускания среды 0.9...1) погрешность составила 9...40 °С; при умеренном (0.7...0.9) – 10...52 °С; при среднем (0.5...0.7) – 13...71 °С. При этом, погрешность всех рассмотренных двухканальных пирометров максимальна при температуре 350 °С (для наилучшего варианта – 40...71 °С) и имеет тенденцию к значительному снижению с ростом измеряемой температуры (при 750 °С для наилучшего варианта – 9...13 °С).

По итогам исследования следует сделать вывод, что однозначно оправданным является применение двухканальных пирометров для измерения температур выше 550 °С (при незначительном уровне запыленности погрешность наилучшего варианта двухканального пирометра не превышает 15 °С; при умеренном уровне запыленности – не превышает 20 °С; при среднем уровне запыленности – не превышает 25 °С). Однако, для обеспечения охвата всего рассматриваемого температурного диапазона (350...750 °С) одним пирометром с приемлемым уровнем погрешности (не более 20 °С) целесообразным является использование наилучшего варианта рассмотренного двухканального пирометра, работающего в комбинированном одноканально-двухканальном режиме с реализацией возможности усреднения мгновенных значений оцениваемого коэффициента пропускания среды.

**Эволюция температурных полей и деформационное поведение
биоинертных сплавов Zr-1 мас.% Nb и Ti-45 мас.% Nb в крупнокристаллическом
и ультрамелкозернистом состояниях**

Шаркеев Юрий Петрович^{1,2}

Вавилов Владимир Платонович^{2,3}

*Скрипняк Владимир Альбертович*³,

*Легостаева Елена Викторовна*¹,

*Белявская Ольга Андреевна*¹,

*Чулков Арсений Олегович*²

*Козулин Александр Анатольевич*³,

*Скрипняк Владимир Владимирович*³

*Ерошенко Анна Юрьевна*¹

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

³*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

E-mail: sharkeev@ispms.tsc.ru

Изучена эволюция температурных полей и деформационное поведение сплавов Zr-1 мас. % Nb и Ti-45 мас. % Nb в крупнокристаллическом и ультрамелкозернистом состоянии при квазистатическом растяжении с использованием метода ИК термографии. Показано, что характер эволюции поля температур в процессе деформации и зависимости максимальной температуры от степени деформации в рабочей зоне испытываемых образцов различаются для сплавов Zr-1 мас. % Nb, Ti-45 мас. % Nb и зависят от их структурного и фазового состояния, а также от их теплофизических характеристик. Высоконапряженное ультрамелкозернистое состояние исследуемых сплавов приводит к уменьшению их температуропроводности, и как следствие, к более быстрым деформационным и тепловым процессам в образце.

На кривых «максимальная температура – степень деформации» для сплава Zr-1 мас. % Nb в ультрамелкозернистом состоянии наблюдается стадия с постоянной температурой до величины деформации 5%, где не происходят изменения теплового поля, что свидетельствует о способности более эффективно поглощать энергию при деформировании за счет структурных особенностей по сравнению с крупнокристаллическим состоянием. Это связано с субструктурным упрочнением матричной фазы α -Zr при переводе сплава Zr-1 мас. % Nb из крупнокристаллического в ультрамелкозернистое состояние при интенсивной пластической деформации.

При растяжении сплава Ti-45мас. % Nb стадия с постоянной температурой наблюдается до величины деформации 7,5% для крупнокристаллического состояния сплава, что обусловлено дисперсионным твердорастворным упрочнением матричной β -фазы наноразмерными частицами ω -фазы. Формирование α -фазы в сплаве Ti-45 мас. % Nb в ультрамелкозернистом состоянии снижает продолжительность стадии с постоянной температурой до деформации 5% и приводит к более быстрому разрушению сплава

Наличие микро- и макродефектов в образцах сплавов Zr – 1%Nb и Ti-45Nb в КК и УМЗ состояниях, сопровождающееся сниженными прочностными характеристиками, вносит изменения в развитие деформационных и тепловых процессов на поверхности деформируемых образцов, визуализируемых методом ИК термографии. Полученные данные могут быть использованы при разработке методов неразрушающего контроля с целью выявления термических предвестников деформации и разрушения биоинертных сплавов на основе циркония, титана и ниобия, и прогнозирования эксплуатационных характеристик технических и медицинских изделий.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы фундаментальных научных исследований СО РАН на 2017-2020 годы III.23.2., проект III.23.2.2.

Автоматизированная система расшифровки результатов и автоматического прослеживания развития дефектов при контроле теплообменников

Шорилов Денис Олегович

Стихина Наталья Владимировна

Мельникова Александра Павловна

Максименко Александр Сергеевич

ООО НПФ «АВЭК»

E-mail: info@avek.ru

Наиболее эффективным методом оценки состояния теплообменных труб парогенераторов в настоящий момент является вихретоковый метод контроля. Многочастотный вихретоковый контроль теплообменных труб с использованием внутреннего проходного дифференцированного преобразователя дает возможность проконтролировать трубы по всей длине и позволяет зафиксировать наличие дефекта, определить его местоположение, и оценить его глубину.

Основными дефектами, которые выявляются при неразрушающем контроле теплообменников являются: трещины - металлургические и металлические, коррозионные или язвенные поражения, питтинг.

Данный метод неразрушающего контроля успешно применяется на российских атомных станциях уже более 20 лет, но до сих пор остаются проблемы с оценкой достоверности получаемых результатов. С одной стороны оператор при проведении вихретокового контроля должен обладать большим опытом для расшифровки и визуального распознавания дефекта по его изображению, с другой — невозможно исключить влияние человеческого фактора при принятии экспертных решений. В настоящее время существует дефицит в высококвалифицированных специалистах в области вихретокового контроля теплообменников.

Для повышения достоверности получаемых результатов неразрушающего контроля теплообменных труб используется следующий алгоритм: 1) два специалиста 2 уровня независимо друг от друга анализируют весь массив результатов контроля; 2) специалист 3 уровня принимает окончательное экспертное решение.

В рамках практической реализации принципов Индустрии 4.0 в части неразрушающего вихретокового контроля компания Zetec¹ разработала специальную систему программной расшифровки результатов контроля. В основу такой системы положена интеллектуальная информационная система RevospECT® Pro. Данная система автоматически распознает дефект по следующему алгоритму:

1. локализация следа дефекта путем нахождения его границ в сигнале; 2. распознавание выделенного дефекта.

Последовательность действий системы RevospECT® Pro при локализации дефекта следующая: - анализ амплитудной и фазовой составляющих сигналов; - поиск пиков сигналов; - нахождение границ пиков с использованием детализирующих коэффициентов; - получение границ выделенного дефекта в первоначальном сигнале.

Полученные сигналы от дефектов имеют различную длину, размеры по амплитуде, т. к. дефекты различаются по глубине и площади. При этом каждый дефект (трещина, коррозия, язвы и т. д.) имеет сходную форму сигналов, что позволяет относить дефект к тому или иному типу.

Задача распознавания дефекта сводится к отнесению полученных и проанализированных сигналов к одному из установленных классов. Непосредственно сама процедура распознавания дефектов базируется на выявлении неких упорядоченных совокупностей их признаков. За отнесение дефекта к определенному типу отвечает лежащая в основе RevospECT® Pro нейронная сеть. Для создания нейронной сети специалисты компании Zetec проанализировали большое количество результатов контроля теплообменников. Созданная нейронная сеть может выполнять сложные задачи по анализу результатов вихретокового контроля теплообменных труб и способна к самообучению.

Апробация работы системы RevospECT® Pro проводилась в 2016-2017 году на АЭС Богунце. При этом проводился вихретоковый контроль 30000 труб. Полученные результаты контроля оценивались опытным специалистом 2 уровня и параллельно интеллектуальной системой RevospECT® Pro. Затем специалист 3 уровня принимал экспертное решение на основании результатов работы дефектоскописта и системы RevospECT® Pro. Было установлено, что ни один дефект найденный при ручном режиме анализа результатов контроля не был пропущен при автоматической расшифровке. При этом система

¹

Zetec Inc. - американская компания, один из ведущих производителей оборудования и программного обеспечения для ультразвукового и вихретокового контроля (НПФ «АВЭК») - официальный представитель Zetec в России и СНГ)

выявила на 2% больше дефектов, чем человек.

По результатам апробации данная система была сертифицирована в Словакии для применения на АЭС Богунице в качестве аттестованного специалиста 2 уровня.

Кроме поиска и анализа дефектов программный продукт RevospECT® Pro позволяет в автоматическом режиме анализировать и сравнивать между собой результаты контроля одного и того же объекта полученные в разное время, что позволяет отслеживать развитие дефектов.

Таким образом, благодаря уникальной системе сбора и анализа информации, возможности ее к самообучению RevospECT® Pro способна самостоятельно принимать решения в полном объеме заменяя специалиста 2 уровня. Созданная компанией Zetec интеллектуальная информационная система RevospECT® Pro обладает ключевыми признаками Индустрии 4.0.

О диагностике состояния поршневых машин по перемещению центра вала

Эльхутов Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

E-mail: esn@fromru.com, pe@angtu.ru

В настоящее время технологические процессы предприятий, связанных с нефтепереработкой, требуют применения насосов и компрессоров различных типов. Среди них можно выделить машины винтового, роторного и поршневого типов. Если для насосов и компрессоров винтового и роторного типов существуют достаточно информативные средства неразрушающего контроля, в частности, вибрационная диагностика, то машин поршневого типа применение таких средств неразрушающего контроля малоэффективно [1]. В связи с этим, возникает необходимость разработки эффективных средств неразрушающего контроля машин поршневого типа [2].

При определении технического состояния поршневых машин, диагностические признаки, кроме вибрации, содержит траектория движения центра вращения вала машины, измеренная в двух, или трех осях. На рис.1 приведен пример траектории движения оси вращения коленчатого вала поршневой машины при увеличенном зазоре в коренном подшипнике и незначительной неуравновешенности вала. На рисунке видно, что траектория движения имеет форму эллипса, поскольку траектория движения оси вращения вала вытягивается в направлении большего зазора.

Для визуализации перемещений оси вращения вала разработан программный модуль «Орбита» (рис.2). Исходной информацией для его работы служат два или три вибросигнала полученных синхронно при измерении вибрации контрольной точки в двух или трех осях.

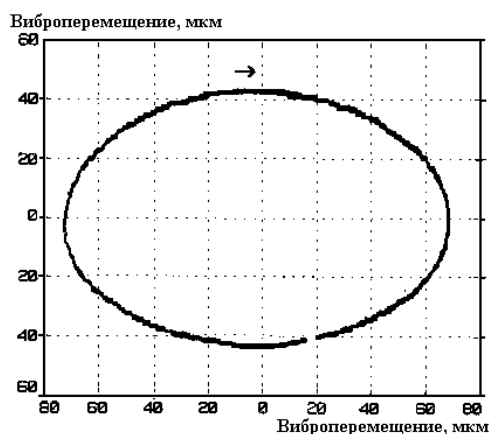


Рис.1 Траектория движения оси вращения вала в подшипнике скольжения при разбалансировке

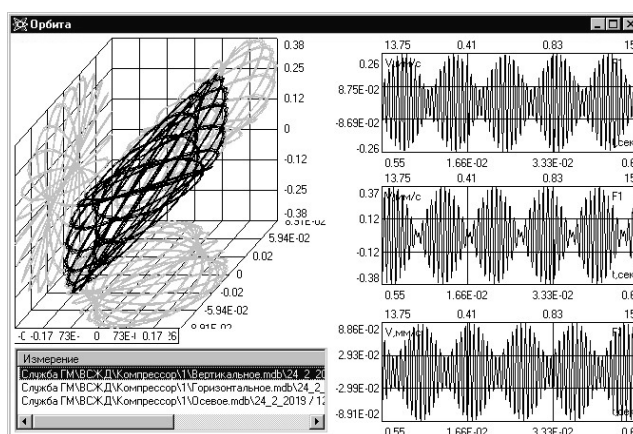


Рис.2 Движение шейки вала в подшипнике скольжения при дисбалансе в объемном представлении

Координатами «орбиты» являются значения вибросигнала. В зависимости от количества направлений измерения (два или три), строится либо двумерная, либо трехмерная «орбита». Помимо собственно «орбиты», в окне отображаются исходные вибросигналы. Плотность распределения линий графика «орбиты», а также ее форма несут информацию о перемещениях оси вращения вала в

подшипнике, что в свою очередь позволяет сделать вывод о техническом состоянии коренных подшипников и балансировке коленчатого вала поршневой машины.

Особенностью разработки является возможность совместной ее работы с имеющимися в настоящее время аппаратными средствами сбора вибросигналов, что значительно упрощает процесс внедрения на производстве.

Список публикаций:

[1] Elkhutov S. N., Sitosanova O. V. *Complex of Non-Destructive Control for Pumps and. Piston Compressors // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015). Russia, Omsk, 21-23 May 2015.*

[2] Elkhutov S. N. *Unit for Measuring the Temperature of Moving Parts of the Crank Mechanism // 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). Russia, Novosibirsk, 2-6 October 2018.*

Алгоритм сжатия на основе вычисления скорости изменения ультразвукового сигнала

Кожемяк Олеся Анатольевна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Солдатов Алексей Иванович, д.т.н., профессор

E-mail: o.kozhemyak@mail.ru

Фазированные антенные решетки широко применяются в различных сферах неразрушающего контроля. Однако, увеличение числа элементов решетки, обеспечивающее высокую точность контроля, приводит к увеличению массива обрабатываемых и передаваемых данных об объекте контроля. Снизить размерность передаваемых массивов данных становится возможным с применением различных способов сжатия данных.

В настоящее время для сжатия данных применяют различные алгоритмы, такие как, например, вейвлет-преобразования [1,2]. Однако существующие универсальные алгоритмы сжатия не учитывают специфику обработки ультразвуковых сигналов, а их применение для задач ультразвукового контроля не позволяет достигнуть существенного уменьшения массива данных без потери качества восстанавливаемого изображения объекта контроля. Также в последние десятилетия набирает популярность новый подход, называемый опознание со сжатием, предлагающий измерять только значимые части сигнала [3,4].

Представленный в данной работе алгоритм основан на вычислении скорости изменения ультразвукового сигнала после его преобразования в электрический сигнал. В соответствии со скоростью изменения сигнала вычисляет период дискретизации аналогового сигнала в цифровой код. Так, чем выше скорость изменения сигнала, тем выше частота дискретизации, и наоборот. Таким образом, в отсутствие сигнала и при малых скоростях изменения сигнала частота дискретизации очень мала или стремится к нулю, и, следовательно, преобразование такой составляющей сигнала в цифровой код не производится, а массив передаваемых и обрабатываемых данных существенно уменьшается.

Для оценки погрешности предлагаемого алгоритма сжатия в среде MatLab Simulink была разработана модель блока сжатия ультразвукового сигнала. В качестве тестового ультразвукового сигнала средствами Simulink был сгенерирован сигнал, представленный на рис. 1. Сигнал, получаемый на выходе блока сжатия, представлен на рис. 2.

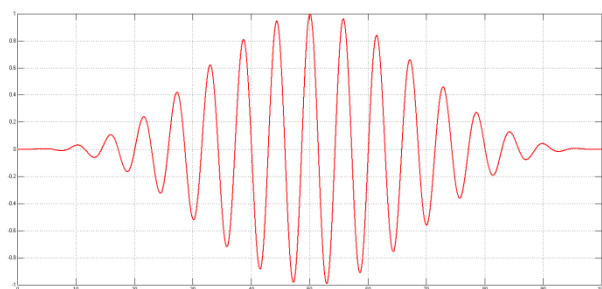


Рис.1 Модель ультразвукового сигнала

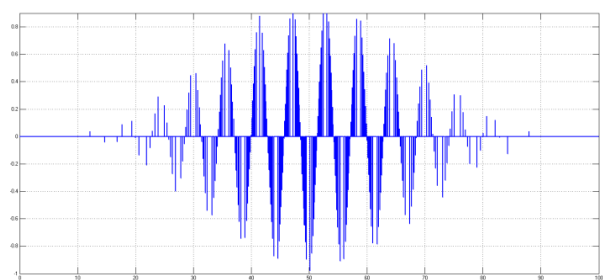


Рис.2 Сигнал на выходе блока сжатия

Погрешность сжатия рассчитывалась как абсолютная, получаемая в результате сравнения исходного сигнала с сигналом на выходе блока сжатия. Количество отсчетов при сжатии сигнала варьировалось от 1000 до 100, что соответствовало изменению коэффициента сжатия в диапазоне от 1 до 10. Кроме абсолютной ошибки также производились вычисления среднеквадратического отклонения.

Результаты моделирования показали двукратное увеличение абсолютной ошибки при увеличении коэффициента сжатия от 1 до 5, и шестикратное увеличение ошибки для коэффициента сжатия равного 10. Среднеквадратическое отклонение при изменении коэффициента сжатия от 1 до 5 возросло в три раза, а для коэффициента сжатия равного 10 отклонение увеличилось практически в 10 раз. Следовательно, сжатие на основе вычисления скорости изменения сигнала с высоким коэффициентом (более чем в 5 раз) нецелесообразно, поскольку имеет следствием резкое возрастание ошибки получаемого сигнала.

Список публикаций:

[1] Перов Д. В., Ринкевич А. Б. Вейвлетный анализ акустических полей и сигналов в ультразвуковой дефектоскопии // Дефектоскопия. 2005. №2. С.43-54.

[2] Гуань Янь, Ки Жень, Пейвен Ке. Адаптивная вейвлет-пакетная декомпозиция, основанная на алгоритме согласованного преследования и ее применение в ультразвуковом контроле // Дефектоскопия. 2007. №1. С.80-87.

[3] Граничин О. Н., Павленко Д. В. Рандомизация получения данных и ℓ -оптимизация (опознание со сжатием) // Автомат. и телемех. 2010. № 11. С. 3–28; *Autom. Remote Control*. 71:11 (2010). Pp. 2259–2282.

[4] Антоненко Е. А., Катрич В. А., Мустецов Н. П. Метод оптимального сжатия данных в системах медицинского мониторинга // Информационные технологии в медицине. 2013. выпуск 9 (116). С. 184-188.

СЕКЦИЯ 2

**Материаловедение
и электронные технологии**

Surface Mechanical Properties of Comet 67P

W. Arnold^{1, a}
H.-H. Fischer²
M. Knapmeyer³
H. Krüger⁴

¹Saarland University, Department of Materials Science and Engineering, Saarbrücken, Germany

²DLR Microgravity User Support Centre, Cologne, Germany

³DLR Institute of Planetary Research, Berlin, Germany

⁴Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany

In August 2014 the ESA spacecraft Rosetta encountered the comet 67P/Churyumov- Gerasimenko. The overall objective of the Rosetta mission was to determine physical and chemical properties of comet 67P. The orbiter of Rosetta was itself an instrument platform. It also carried the lander Philae that landed on the comet's nucleus on November 12th 2014. Philae had ten different instruments on board including the Surface Electric Sounding and Acoustic Monitoring Experiment (SESAME) comprising the Comet Acoustic Surface Sounding Experiment (CASSE), the Dust Impact Monitor (DIM), and the electric impedance probe (PP). The mission ended on September 30th 2016 with the de-orbiting of Rosetta onto comet 67P.

CASSE sensors consisted of piezo-electric transmitters and accelerometers as receivers. They were mounted in the soles of Philae's landing-gear feet. The original operation principle of CASSE was to insonify the comet at frequencies from 0.5 kHz to 1 kHz. CASSE was also used to measure the accelerations of the landing shock and the sole's contact-resonances when the feet touched ground the first time on comet 67P at site Agilkia. The strength of the landing shock or the force acting between Philae's landing gear and the comet soil is determined on the one hand by the compliance of the material encountered at the landing location and on the other hand by the compliance of that part of the landing gear which touches the surface. Besides the absolute value of the force of the landing shock, the forced resonances of the soles of the feet can be used to obtain information on the local elastic modulus E and the compression strength σ_c of the comet soil.

The acceleration signals at the first landing site Agilkia which occurred in the first seconds of the touchdown at an impact velocity of approx. 1 m/s were recorded by CASSE. The inversion of the data yielded the compression strength and the elastic modulus of the cometary soil. Both are very low compared to commonly used engineering materials. The data support the concept that the elastic (E) and strength properties (σ) of the comet material correspond to very porous solids constituted by the regolith particles with porosities up to 80%. The σ/E ratio $\approx 1/1000$ agrees well with relations known in material science.

On the comet surface at the final landing site Abydos, CASSE operated jointly with the MUPUS (Multi-purpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science) instrument. The main goal of MUPUS was to measure the thermal properties of the surface material. To this end an instrumented rod was hammered into the ground. In addition, the hammering with stroke energies up to 4 Joule generated surface waves in the 100 Hz to 2 kHz range which were detected by CASSE. Group arrival time differences between the three feet of Philae were measured and the Rayleigh wave velocity was derived. From the signals dispersion, one can conclude that comet 67P at Abydos is structurally layered.

The Dust Impact Monitor's (DIM) PZT sensor elements aimed to detect and to derive the elastic-plastic properties and the flux of the millimeter-sized dust-particle population that moves near the surface of the comet nucleus. During the descent of Philae, a signal was recorded of a dust particle by a sensor element and its diameter and elastic modulus were derived. A detailed analysis implied a porous particle whose properties lied close to aerogel particles having a porosity of $\approx 90\%$. Because their Young's modulus is ≈ 10 MPa, it was conjectured that the particle detected possessed a similar value.

In this presentation, an overview on the course of the Rosetta mission is given and data recorded by CASSE and DIM are presented. The SESAME measurement techniques used on comet 67P are compared to those used in non-destructive materials characterization using ultrasonic measurement techniques to measure the thickness of thin films by SAW dispersion, and to exploit contact-resonances in dynamic atomic force microscopy, and in mechanical impedance testing. Finally, our comet data are compared with strength estimates made by aid of the data from other Rosetta observations.

Самоорганизующиеся нейронные сети с добавочными узлами скрытых слоёв как возможность для оптимизации нейронных вычислений и управления автономными устройствами

Букреев Евгений Геннадьевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Торгаев Станислав Николаевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: evgenybukreev.rab@gmail.com

Развитие технологий управления электронными приборами закономерно пришло к потребности создавать нелинейные алгоритмы, реализующие принятие решений не на основе заранее определённых методик, а на основе некоторого набора опытных данных и механизма их анализа. Бурно развивающейся технологией в этом направлении являются искусственные нейронные сети (ИНС, НС или нейросети). В работах [1-7] показаны примеры использования нейронных сетей для управления различными объектами.

В работе [8] раскрываются общие проблемы построения нейросетей. К таковым относятся, например, дилемма смещения и дисперсии; и дилемма выбора между объемом памяти и размером обучающего множества.

Первая проблема решается с помощью априорной информации (которая может быть установлена в процессе предварительного обучения посредством ограниченного выбора разнообразия обучающих примеров), что приводит к специализации нейросети на ограниченном выборе классификационных функций. Данный подход демонстрируется в работах [9-12].

Вторая проблема описывается параметром измерения Вапника-Червоненкиса (VC-измерение) [8,9], который иллюстрирует отношение между количеством различных объектов (или классов) в классификации и суммарным размером обучающей выборки и объёма используемой памяти. Эту проблему можно описать как дилемму выбора между количеством скрытых нейронов – объёмом используемой памяти – и количеством обучающих примеров, которые требуются для достижения требуемого уровня достоверности.

Так как каждый скрытый нейрон хранит в себе информацию о некотором параметре (или совокупности параметров) входного сигнала, для обучающей выборки размера N существует один оптимум, при котором достигается максимально точное обучение нейросети. В случае, если количество скрытых нейронов окажется меньше этого оптимума, возникает проблема недоопределённости, при которой изъятые из обучающей выборки свойства входного сигнала являются слишком размытыми для принятия точных решений. В противоположной ситуации возникает проблема переопределённости – когда изъятые параметры оказываются слабо связанными с реальными свойствами объекта управления.

На текущий момент не существует методик для точного вычисления размерности нейронной сети. Существуют методики для количественной оценки общих параметров, но, как и любая оценка, они служат отправной точкой для проектирования сети и конечное решение о количестве узлов и их распределении по скрытым слоям ложится на проектировщика сети, опирающегося на свой опыт и тенденции в проектировании.

Обучение и организация ИНС преимущественно состоит из определения набора входных данных; общего количества скрытых нейронов; типа нейронной сети; организации соединений и связей между нейронами; набора обучающих примеров и уровня достоверности выходных данных. Примером служат работы [1-4, 8-15].

При этом к обучающим примерам предъявляется определённый набор требований: примеры должны охватывать весь диапазон возможных состояний системы; примеры должны иметь равномерное распределение по области входных и/или выходных сигналов (то есть, нельзя использовать 100-200 примеров одного рабочего состояния и 5-10 примеров другого рабочего состояния), в противном случае аппроксимирующая функция нейронной сети получит смещение, которого в реальной управляющей функции быть не должно; примеры должны быть валидны и релевантны – например, не стоит включать в обучающую выборку примеры исключительных состояний, которые никогда не встретятся в работе устройства.

Таким образом, составление обучающей выборки является сложным и многогранным этапом проектирования нейросети. В условиях ограниченного количества обучающих примеров, что характерно для управления многокомпонентными уникально настроенными комплексами, размер обучающей выборки является более жёстко ограничивающим условием, чем размер используемой памяти. В связи с

этим, актуальной становится задача определения оптимальной конфигурации нейронной сети, которую нельзя решить оценочными методами на этапе проектирования.

Возможным решением задачи оптимизации структуры является метод организации нейронной сети, при котором она проектируется недоопределённой и в дальнейшем самостоятельно подбирает свой размер, добавляя или убирая нейронные узлы своих скрытых слоёв в процессе настройки на множестве примеров на протяжении ограниченного количества эпох обучения. После получения пакета из нескольких изменений конфигурации, нейросеть определяет градиент изменений ошибки и объёма памяти и вырабатывает следующее направление для изменений своей структуры. Так, используя механизм обратного распространения ошибки, сеть вырабатывает маршрут конфигурации и самоорганизуется, пока градиент изменений не меняет своего направления или градиент ошибки не становится слишком мал относительно градиента памяти.

При таком подходе отсутствует необходимость дескрипции информации узлов скрытых слоёв нейронной сети, задача которой на текущий момент остаётся нерешённой, и процесс конфигурации сети осуществляется стохастическими алгоритмами самой системы.

Список публикаций:

- [1] Bhim Singh, Gaurav Kumar Kasal. *Neural network-based voltage regulator for an isolated asynchronous generator supplying three-phase four-wire loads* // *Electric Power Systems Research*. 2008. Vol. 78, Issue 6. Pp. 985-994.
- [2] Lei Li, Zhizhong Mao. *A direct adaptive controller for EAF electrode regulator system using neural networks* // *Neurocomputing*. 2012. Vol. 82. Pp. 91-98.
- [3] Alberto Pliego Marugan, Fausto Pedro Garcia Marquez, Jesus Maria Pinar Perez, Diego Ruiz-Hernandez. *A survey of artificial neural network in wind energy systems* // *Applied Energy*. 2018. Vol. 228. Pp. 1822-1836
- [4] Moulay Rachid Douiri, Ahmed Essadki, Mohamed Cherkaoui. *Neural Networks for Stable Control of Nonlinear DFIG in Wind Power Systems* // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 127. Pp. 454-463.
- [5] Asiye Nikseresht, Alireza Nazemi. *A novel neural network for solving semidefinite programming problems with some applications* // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2019. Vol. 350. Pp. 309-323.
- [6] Daniel A. White, William J. Arrighi, Jun Kudo Seth, E. Watts. *Multiscale topology optimization using neural network surrogate models* // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2019. Vol. 346. Pp. 1118-1135.
- [7] Long Jina Shuai, Lic Bin Hu, Mei Liu. *A survey on projection neural networks and their applications*
- [8] Haykin S. *Neural Networks and Learning Machines. Third Edition* // *Pearson Education*. 2009. P. 937.
- [9] Franco Scarsellia, Ah Chung Tsoib, Markus Hagenbuchnerb. *The Vapnik–Chervonenkis dimension of graph and recursive neural networks* // *Neural Networks*. 2018. Vol. 108. Pp. 248-259
- [10] Conduit B. D., Illston T., Baker S., Vadegadde Duggappa D., Harding S., Stone H. J., Conduit G. J. *Probabilistic neural network identification of an alloy for direct laser deposition* // *Materials & Design*. 2019. Vol. 168.
- [11] Shuo Feng, Huiyu Zhou, Hongbiao Dong. *Using deep neural network with small dataset to predict material defects* // *Materials & Design*. 2019. Vol. 162. Pp. 300-310
- [12] Vahora S. A., Chauhan N. C. *Deep neural network model for group activity recognition using contextual relationship* // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2019. Vol. 22. Issue 1. Pp. 47-54
- [13] David GT Barrett, Ari S Morcos, Jakob H Macke. *Analyzing biological and artificial neural networks: challenges with opportunities for synergy?* // *Current Opinion in Neurobiology*. 2019. Vol. 55. Pp. 55-64.
- [14] Bärtschi P., Galloni C., Lange C., Kilminster B. *Reconstruction of lepton pair invariant mass using an artificial neural network* // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2019. Vol. 929. Pp. 29-33
- [15] Ahmed Tealab. *Time series forecasting using artificial neural networks methodologies: A systematic review* // *Future Computing and Informatics Journal*. 2018. Vol. 3. Issue 2. Pp. 334-340

Устройство стабилизации температуры контейнеров с рабочим веществом для высокочастотных активных сред на парах металлов

Букреев Евгений Геннадьевич¹

Мусоров Илья Сергеевич¹

Торгаев Станислав Николаевич^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

Научный руководитель: Евтушенко Геннадий Сергеевич, д.т.н.

E-mail: evgenybukreev.rab@gmail.com

Высокочастотные активные среды на парах металлов используются в науке и технике, например, в качестве скоростных усилителей яркости для визуализации объектов и быстропротекающих процессов в условиях мощной фоновой засветки [1-5]. Системы автоматического управления используются в

промышленности для слежения и управления технологическим процессом, предотвращения критических и аварийных ситуаций и увеличения точности и стабильности работы систем [6]. В работе [7] показано, что чувствительность параметров генерации активных сред на парах металлов увеличивается с ростом частоты генерации. Отсюда следует, что высокочастотные активные среды требуют большей точности стабилизации, что может критически сказаться на их работе при возникновении непредвиденных обстоятельств: длительного падения питающего напряжения, нарушения изоляции или других. Помимо этого, высокочастотные среды более чувствительны к ситуациям перегрева, так как из-за малого объема газоразрядной трубки (ГРТ) процессы распространения паров по объёму трубки и осаждения излишков на поверхности стекла (который при перегреве служит паразитной холодной областью) происходят быстрее. Данные обстоятельства накладывают взаимопротивоположные ограничения на систему: она должна быть быстрой, чтобы компенсировать возможные влияния дестабилизирующих факторов, но при этом достаточно плавной, чтобы не допускать критических уровней перегрева.

Для управления нагреванием ёмкости с активным веществом была создана система регулирования температуры, построенная на управляемом источнике питания, подключённого к резистивной нагрузке. Управление ключевыми элементами производилось при помощи микроконтроллера. В системе использовался один контур обратной связи: по температуре.

Были рассмотрены линейные и нелинейные ПИД-регуляторы, основой которых послужил алгоритм наименьших квадратов – LMS (least mean squares). С целью оптимизации работы системы в широком диапазоне температур и конфигураций нагреваемой среды были разработаны законы регулирования с изменяющимися коэффициентами, в основу которых было положено разделение процесса нагрева и стабилизации на отдельные фазы, в которых менялся как компонентный состав ПИД-регулятора, так и законы изменения коэффициентов отдельных компонентов. Разработанные законы были протестированы на макете нагреваемого устройства при низких температурах и при высоких температурах. Полученные температурные характеристики показали преимущество разработанных нелинейных законов по сравнению с типовыми линейными: в среднем, объект быстрее нагревался до необходимой температуры и лучше удерживал температуру при воздействии дестабилизирующих факторов. Кроме того, скорость изменения времени стабилизации нелинейного регулятора оказалась ниже чем линейного в диапазоне температур 100 – 500 °С.

Таким образом, были разработаны нелинейные законы регулирования ПИД-регулятора, показавшие на низких температурах более высокую эффективность управления температурой объекта по сравнению с классическими законами регулирования и более высокую стабильность температуры при изменении уровня стабилизации температуры и воздействии дестабилизирующих факторов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00175.

Список публикаций:

- [1] Г.Г. Петраш (и др.). *Оптические системы с усилителями яркости* // М.: Наука. 1991. С. 152.
- [2] Пасманик Г. А., Земсков К. И., Казарян М. А. и др. *Оптические системы с усилителями яркости* // ИПН АФ СССР. Горький. 1988. С. 173.
- [3] Evtushenko G. S., Trigub M. V., Gubarev F. A., Evtushenko T. G., Torgaev S. N., Shiyarov D. V. *Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting* // *Review of Scientific Instruments*. 2014. Vol. 85. Issue 3. Article number 033111. Pp. 1-5.
- [4] Abramov D. V., Arakelian S. M., Galkin A. F., Klimovskii I. I., Kucherik A. O., Prokoshev V. G. *On the possibility of studying the temporal evolution of a surface relief directly during expo-sure to high-power radiation* // *Quantum Electronics*, 2006. Vol. 36. № 6. Pp. 569–575.
- [5] Kuznetsov A. P., Gubskii K. L., Savjолоv A. S., Sarantsev S. A., Terekhin A. N., Buzhinskii R. O. *Visualization of plasma-induced processes by a projection system with a Cu-laser-based brightness amplifier* // *Plasma Physics Reports*. 2010. Vol. 36 (5). Pp. 428–437.
- [6] Денисенко В.В. *Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием* // М.: Горячая линия–Телеком. 2014. С. 608, ил.
- [7] Кулагин А. Е., Торгаев С. Н., Евтушенко Г. С., Тригуб М. В. *Кинетика активной среды усилителя яркости на парах меди* // *Известия вузов. Физика*. 2017. Т. 60. №. 11. С. 122-127.

Волоконно-оптическая эллипсометрия для контроля параметров поверхностей изделий интегральной оптики

Гадельшин Рустам Маратович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань

Научный руководитель: Кузнецов Артём Анатольевич, к.т.н., доц. каф. РФМТ
E-mail: m9soo4n1gg@icloud.com

Покрyтия из тонких пленок широко используются в электронной промышленности и оптике. Развитие оптики и электроники стимулирует совершенствование существующих и разработку новых методов измерения параметров тонких пленок.

Колебания световых волн, в отличие от звуковых волн, в большинстве своем осуществляются не в направлении распространения. Напротив, колебания представляют собой поперечные волны, колеблющиеся перпендикулярно направлению передачи энергии. Состояние поляризации волны - это способ описания того, как пространственная ориентация полей, составляющих волну, изменяется во времени. Электромагнитное поле состоит из двух взаимно перпендикулярных полей, которые колеблются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения: электрического и магнитного.

Эллипсометрия сравнивает состояния поляризации света до и после его отражения от поверхности образца и использует любые разности для определения свойств образца, таких как толщина и шероховатость поверхности. Простое схематичное изображение представлено на рис. 1. Свет с данным состоянием поляризации отражается от образца, и затем измеряется изменение состояния поляризации.



Рис.1 Падающие и отраженные световые лучи

Коэффициенты Френеля для отражения:

$$R_p = \frac{n_2 \cos \varphi_1 - n_1 \cos \varphi_2}{n_2 \cos \varphi_1 + n_1 \cos \varphi_2} = \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(\varphi_1 + \varphi_2)}, \quad (1)$$

$$R_s = \frac{n_1 \cos \varphi_1 - n_2 \cos \varphi_2}{n_1 \cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2} = \frac{-\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}. \quad (2)$$

Коэффициенты Френеля для пропускания:

$$T_p = \frac{2n_1 \cos \varphi_1}{n_2 \cos \varphi_1 + n_1 \cos \varphi_2} = \frac{2 \sin \varphi_2 \cos \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}, \quad (3)$$

$$T_s = \frac{2n_1 \cos \varphi_1}{n_1 \cos \varphi_1 + n_2 \cos \varphi_2} = \frac{2 \sin \varphi_2 \cos \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}. \quad (4)$$

Основное уравнение эллипсометрии. Согласно определению коэффициентов Френеля для отражения, вычисляемых как отношение комплексных амплитуд, получаем:

$$\operatorname{tg} \psi e^{i\Delta} = R_p / R_s. \quad (5)$$

Уравнение (5) – основное уравнение эллипсометрии отраженного света. Оно устанавливает важную связь между экспериментально измеряемыми параметрами ψ и Δ , и оптическими характеристиками отражающей границы (а также толщинами поверхностных слоев).

Построение измерительных систем на основе адресных ВБР – датчиков и поляризационного мультиплексирования

Галимов Артур Илшатович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ

Научный руководитель: Кузнецов Артем Анатольевич, к.т.н., доцент. каф. РФМТ

E-mail: 251164@bk.ru

Актуальной задачей является построение комплексированных измерительных систем: где один датчик выполняет одновременное измерение нескольких параметров. Известно, что волоконно-брэгговская решетка, одновременно чувствительна к изменению температуры и механической деформации. В том случае, если брэгговская решетка записана в волокне сохраняющем поляризацию, наблюдается смещение спектрального отклика по одной из поляризаций при прикладывании к ВБР поперечной деформации. Отдельного внимания заслуживает вопрос разработки блока опроса.

Когда изменяется температура или осевая деформация обычной решетки ВБР, то сдвиг его центральной длины волны может быть выражен как:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \cdot [(\alpha_0 + \beta_0) \cdot \Delta T + (1 - P_e) \cdot \Delta \varepsilon] \quad (1)$$

где λ_B и $\Delta\lambda_B$ - исходная пиковая длина волны и ее сдвиг. α_0 и β_0 коэффициент теплового расширения и термооптический коэффициент оптического волокна. P_e эффективный упруго-оптический коэффициент, ΔT и $\Delta \varepsilon$ - изменение температуры и изменение осевой деформации. Для обычного кварцевого волокна α_0 , β_0 и P_e являются константами. $\Delta\lambda_B$ имеет хорошую линейную зависимость от температуры и осевой деформации ВБР.

При записи ВБР в оптическое волокно, поддерживающее поляризацию, генерируется PMFBG. Спектр отражения PMFBG можно рассматривать как сумму двух разных ВБР и в спектре отражения PMFBG есть два пика, рис. 1. Длины волн двух пиков определяются эффективными показателями преломления быстрая ось x и медленная ось y волокна. Два показателя преломления различны, поэтому две центральные длины волны разделены и их чувствительность к температуре и деформации различна. Следовательно, температура и осевое напряжение могут контролироваться одновременно одним PMFBG.

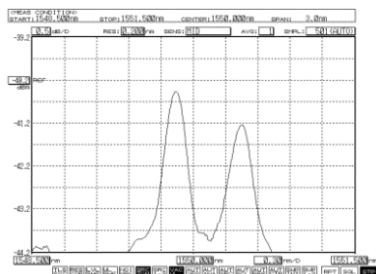


Рис.1 Спектр отражения от PMFBG

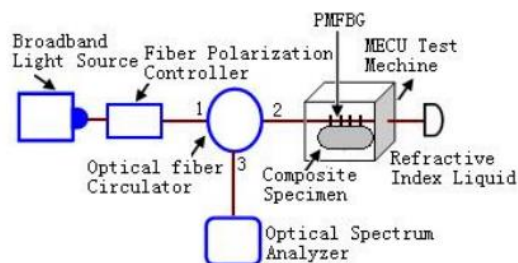


Рис.2 Принципиальная схема установки

Применение адресных ВБР позволяет улучшить технико-экономические и метрологические характеристики измерительных систем, в особенности, если речь идет о многосенсорных системах. На основании этого предложим техническое решение, где обычные ВБР заменена на адресную.

В предлагаемой схеме предложено использовать адресную ВБР в качестве датчика, а также системы из двух опорных ВБР для измерения отклонения решетки датчика по двум поляризациям одновременно.

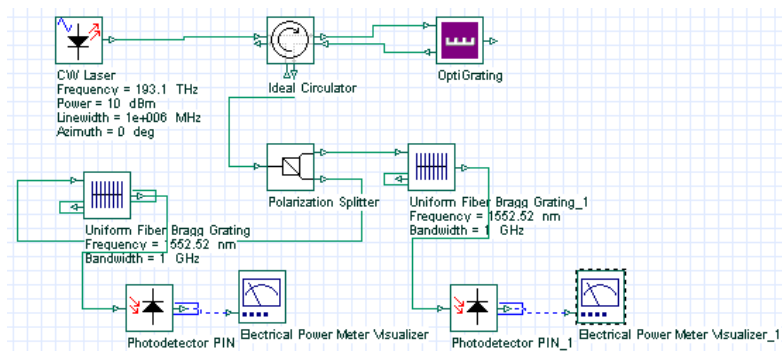


Рис.3 Схема предлагаемого технического решения

Приборная реализация метода динамического индентирования

Егоров Роман Александрович

Дьячковский Евгений Иннокентьевич

Кузьмичев Михаил Валерианович

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Научный руководитель: Федоров Алексей Владимирович, д.т.н.

E-mail: roman1465@yandex.ru

В настоящее время, актуальной является задача по безобразцовому неразрушающему контролю физико-механических свойств материала изделия или его составных частей на стадии производства, испытаний и эксплуатации. Целесообразно при таком подходе использовать измерительные приборы неразрушающего контроля портативного исполнения с автономным питанием. Однако портативный форм фактор накладывает ограничения на применение стационарных приборов, реализующих различные методы неразрушающего контроля физико-механических характеристик материала изделия.

Одним из методов неразрушающего контроля, обладающим достаточно большой универсальностью и позволяющим проводить неразрушающие испытания широкого класса материалов: от металлов до низкомолекулярных полимеров и композитов, является метод динамического индентирования (ДИ). Развитие вычислительных средств и элементной базы позволяет конструировать портативные измерительные приборы, не уступающие по точности стационарным приборам инструментального индентирования.

Исследованию вопросов, связанных с оценкой механических характеристик металлов методом динамического индентирования посвящены работы следующих авторов: Рудницкий В.А., Крень А.П., Рабцевич А.В., К. Hertmann, R. T. Mennicke, Н.М. Rockwell, R.E. Chinn, G.L. Kehl и др. Однако большинство исследований сосредоточено на совершенствовании методической части обработки результатов измерений. Алгоритмическое и программно-техническое обеспечения процессов обработки информативных сигналов и представление результатов в приборах и средствах контроля не получило должной проработанности. В связи с этим, в настоящее время, отсутствует отечественный аналог прибора динамического индентирования.

Целью работы является повышение точности определения механических характеристик металлов методом динамического индентирования. Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи по разработке:

- компьютерной модели процесса динамического индентирования;
- первичного преобразователя опытного образца прибора ДИ;
- алгоритма первичной обработки измерительных данных;
- аппаратной части измерительного блока;
- интерфейсного программного обеспечения.

Аппаратная часть опытного образца прибора состоит из измерительного блока с высокоскоростным аналого-цифровым преобразователем, первичного преобразователя, платы разработчика ПЛИС и модуля беспроводного интерфейса передачи данных на управляющий компьютер.

В работе рассматривается разработка аппаратной части измерительного блока динамического индентирования. Выходным сигналом с первичного преобразователя является ЭДС, пропорциональная скорости внедрения индентора в испытуемый материал. Электрический сигнал оцифровывается измерительным блоком с частотой дискретизации 40 МГц и разрядностью в 12 бит. Алгоритмическая обработка и отображение результатов измерения проводится на управляющем компьютере. Основная часть алгоритма реализована в пакете прикладных программ MATLAB.

Производится сравнение результатов измерений с выходными данными зарубежного аналога разрабатываемого прибора и результатами компьютерного моделирования. В качестве первичного преобразователя используется преобразователь, входящий в состав прибора ДИ «ИСПГ-1», разработанного в ИПФ НАН Беларуси.

Список публикаций:

[1] Рудницкий В. А., Рабцевич А. В. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов // Дефектоскопия. 1997. № 4. С. 79-86.

[2] Рабцевич А. В., Мацулевич О. В. Новые возможности метода динамического индентирования в приборе Импульс-2М // Институт прикладной физики НАН Беларуси. 2006.

[3] Kompatscher M. *Equotip – rebound hardness testing after D. Leeb* // Hardmeko. 2014.

Эволюция параметров локализации деформации и фрактальной размерности при растяжении металлов

Жармухамбетова Альбина Муратовна

Баранникова Светлана Александровна

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: Баранникова Светлана Александровна, д-р физ.-мат. наук

E-mail: zharmukhambetova@gmail.com

Макроскопические закономерности развития локализованного пластического течения исследованы в последнее время достаточно подробно [1]. Полученные экспериментальные результаты доказывают, что пластическое течение протекает макроскопически локализованным образом на всем протяжении деформационного процесса. Настоящая работа посвящена исследованию параметров макроскопической локализации пластической деформации на стадиях линейного деформационного упрочнения и эволюции фрактальной размерности распределений локализации деформации при растяжении образцов моно- и поликристаллических металлов (Mo, Zn, Zr, Ti, Nb, Fe, Ni, V, Al, Mg, Sn, Cu). Для анализа общих закономерностей были использованы данные о поведении очагов деформации на стадии линейного деформационного упрочнения, полученные в работе.

Деформационные кривые исследованных материалов независимо от типа кристаллической решетки и структурного состояния содержали стадии пластического течения, а именно площадки текучести, линейного упрочнения, параболического упрочнения по Тейлору и стадию предразрушения, которые характеризуются своими значениями деформационного упрочнения согласно уравнению Людвига-Холомона.

Для исследования структуры материалов применяли методы оптической микроскопии с применением металл-микроскопа “Neophot-21”. Измерение фрактальной размерности деформационного рельефа рассчитывали методом кубов для поверхностей, соответствующих областям локализации пластической деформации с помощью программы “Gwyddion”.

Вычисление масштабных инвариантов (показателей структурного скейлинга) с использованием анализа фрактальной размерности позволило установить связь стадийности кривых нагружения с паттернами локализации деформации и разрушения при многомасштабном коррелированном поведении дефектов. Для всех исследованных металлов было проведено совмещение данных расчетной фрактальной размерности с учетом кинетического уравнения для средней плотности дислокаций D_σ и экспериментальных данных фрактальной размерности паттернов локализации деформации D_ε с ростом общей деформации. На основе этого было установлено, что изменение фрактальной размерности и происходит в следующей последовательности: рост, прохождение через максимум, затем слабое падение и описывается логнормальной функцией распределения (уравнение (1)), что свидетельствует в пользу использования модели эволюции фрактальной размерности структуры деформируемого твердого тела при анализе кинетики дислокаций и крупномасштабных паттернов локализации деформации.

$$D(\varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon \cdot k \sqrt{2\pi}} \exp\left(-(\ln \varepsilon - a)^2 / 2k^2\right) \quad (1)$$

где α , k – параметры распределения.

Сопоставление изменения фрактальной размерности паттернов локализации с кривыми упрочнения показало, что достижение максимума фрактальной размерности происходит раньше момента шейкообразования на диаграммах растяжения и это соответствует формированию высокоамплитудного максимума распределений локальных удлинений на стадии параболического упрочнения. Таким образом, данные о фрактальной размерности деформационного рельефа материалов могут быть использованы для широкого круга научных и практических задач механики деформируемого твердого тела.

Список публикаций:

[1] Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения // Новосибирск: Наука. 2008.

Результаты анализа информативных параметров сигналов акустической эмиссии при прочностных испытаниях образцов металлических изделий аддитивного производства

Ковалевич Анастасия Сергеевна¹

Степанова Ксения Андреевна¹

Быченков Владимир Анатольевич²

Сысунов Никита Дмитриевич¹

¹Университет ИТМО

²ООО «НТЦ «Эталон»

Научный руководитель: Кинжагулов Игорь Юрьевич¹, к.т.н.

E-mail: kovalevi4.a.s@gmail.com

Аддитивные технологии – наиболее динамично развивающаяся отрасль материального производства [1]. Основной отличительной особенностью аддитивного производства является способ получения изделий, который заключается в добавления материала, а не удалении излишков в отличие от традиционной механообработки. Данная особенность позволяет изготавливать изделия различных форм, в том числе и сложнопрофильные детали. Также к преимуществам данного способа изготовления можно отнести высокую скорость изготовления, широкий диапазон металлических (в частности, жаропрочных) материалов и высокое качество металлических изделий. В связи с этим изделия, выполненные аддитивными технологическими процессами, применяются в различных отраслях промышленности: авиа- и ракетостроения, судо- и машиностроения.

Однако, наряду со столь значительными преимуществами данной технологии изделия, полученные методом аддитивного производства, могут обладать существенным недостатком, заключающемся в наличии макроскопических дефектов, таких как: поры, раковины, трещины, включения. Наличие данных дефектов оказывает высокое влияние на механические свойства реальных материалов: например, пористость способствует снижению усталостных характеристик и зачастую является причиной возникновения усталостных трещин. В связи с этим растет необходимость неразрушающего контроля качества изделий, в частности, при исследовании прочностных характеристик.

Для исследования кинетики разрушения материалов, выполненных методом селективного лазерного сплавления, был выбран метод акустической эмиссии, заключающийся в регистрации упругих волн, возникающих в результате внутренней перестройки структуры материала. Исследование параметров акустической эмиссии на различных стадиях усталостного разрушения позволит перейти к разработкам методик прогнозирования ресурсных характеристик материалов и изделий.

В докладе представлены результаты анализа информативных параметров сигналов акустической эмиссии при проведении испытаний на малоцикловую усталость образцов из жаропрочного сплава Inconel 718. Для исследования кинетики разрушения использовались плоские пропорциональные образцы, полученные методом селективного лазерного сплавления. Для исследований были изготовлены

образцы четырех видов: бездефектные, с внешней и внутренней зарубками в центре рабочей части образцов, а также с имитацией пористости. Эскизы рабочей части образцов представлены ниже (рис.1).

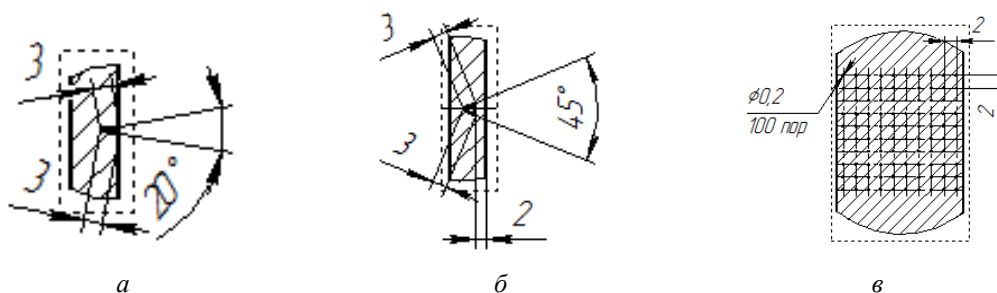


Рис.1 Эскиз рабочей части образцов с дефектами: а) – внешняя зарубка; б) – внутренняя зарубка; в) – имитация пористости в рабочей части образца

В результате испытаний на малоцикловую усталость выявлены особенности проявления эффекта Кайзера. При выдержке образца без нагрузки в течение суток происходило восстановление АЭ при повторном нагружении. При нагрузках, близких к разрушению образцов, наблюдалось формирование АЭ активных областей в местах максимальной концентрации напряжений. Параметры форм АЭ сигналов, сопровождающих процесс разрушения образцов с имитацией дефектов и без дефектов, различны.

Список публикаций:

[1] Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении. Пособие для инженеров // М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». 2015. С. 220.

Исследование особенностей работы ультразвукового генератора высокой мощности

Муксунов Тимур Рамильевич

Кузьменко Иван Юрьевич

Суханов Дмитрий Яковлевич

Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет

Научный руководитель: Суханов Дмитрий Яковлевич, д. ф.-м. н.

E-mail: TOSnake0MR@yandex.ru

Для обеспечения работы ультразвукового инструмента необходима генерация гармонического сигнала высокой мощности. Для усиления мощности был использован повышающий трансформатор, включенный по двухтактной схеме со средней точкой, в общем виде показанной на рисунке 1.

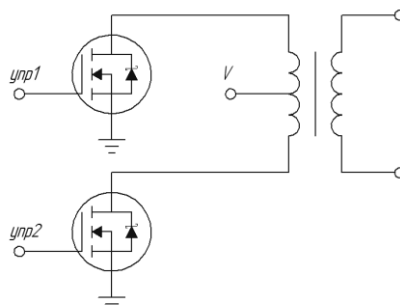


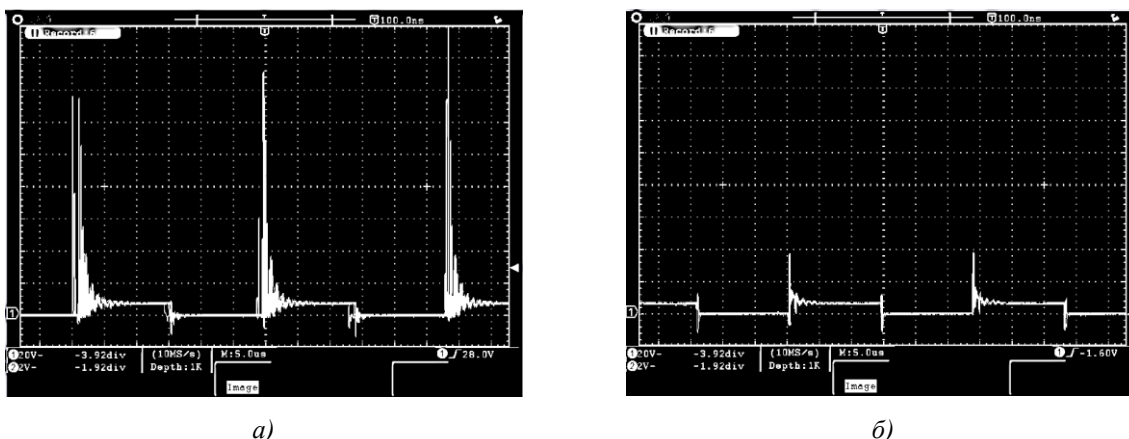
Рис.1 Схема включения трансформатора

Генерируемые микроконтроллером управления сигналы прямоугольной формы поочередно открывают канал «сток-исток» полевых транзисторов, что осуществляет коммутацию первичной обмотки трансформатора. Во вторичной обмотке создается сигнал высокой амплитуды, который подается на согласующий контур, преобразующий сигнал в гармонический. Этот гармонический сигнал высокой амплитуды подается на пьезоэлемент инструмента, создающего механические колебания заданной частоты.

В электрической схеме присутствуют негативные эффекты, связанные с паразитными параметрами включенных в схему элементов. При работе на мощности порядка 200 Ватт, для компенсации их воздействия становится необходимым введение в схему дополнительных защитных цепей.

При коммутации индуктивной нагрузки, на контактах устройства коммутации возникают характерные импульсы напряжения. Возникновение этих всплесков связано с невозможностью мгновенного изменения тока, проходящего через индуктивную нагрузку. Амплитуда индуктивных выбросов зависит как от мощности источника питания, так и от скорости процесса коммутации. В рассматриваемой схеме их амплитуда может достигать величин порядка нескольких сотен вольт, что превышает безопасный для используемых транзисторов уровень.

Рисунок 2 демонстрирует величину индуктивных импульсов до и после добавления защитных цепей.



а) б)
Рис.1 Индуктивные импульсы а) без защитной цепи, б) с защитной цепью.

В статье показано, как именно была изменена электрическая схема устройства в ходе работы, по мере обнаружения негативных эффектов, в полной мере проявляющихся на высокой мощности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного комплекса ультразвуковой хирургии» (Уникальный идентификатор проекта RFMEF157517X0163).

Разработка средств микроволнового воздействия на материальные среды

Нурутдинов Тимур Линарович

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань
Научный руководитель: Р.Р. Самигуллин, к.т.н., доцент

Аннотация. В данной статье приводятся результаты анализа составляющих системы, которые будут оптимальными для решения поставленной задачи, а именно обработки материальной среды с позиции информационного воздействия. Методика исследований заключалась в том, что была проведена выборка активных элементов генераторов, модуляторов, усилителей мощности, циркуляторов и систем обработки, которые в последствие будут удовлетворять оптимальному схемотехническому построению системы.

Цель и задачи исследования. Целью данного эксперимента является разработка системы для СВЧ обработки материальной среды антенной с ближней сфокусированной зоной, а также определение параметров данной среды.

Обзор литературных данных. Воздействие энергии, передаваемой посредством волн СВЧ-диапазона, имеет большую область применения: использование в бытовой жизни (микроволновая печь, Wi-Fi роутер), практическая эксплуатация в медицине (лечение микроволновой терапией) [1] и обработка материальных сред в промышленно-технологических отраслях (транспортировка нефти [2], нагрев композиционных материалов [3]). На фоне задач теплового влияния ЭМП СВЧ, открывается вопрос обработки с позиции информационного воздействия.

Большое количество научно-технической литературы освещает ранее описанные задачи, однако преобладающая часть авторов исследований не затрагивают задачу, основанную на информационной обработке среды.

Следовательно, главной задачей работы является проектирование оптимального варианта построения системы обработки.

Аспектами построения оптимального варианта занимались многие исследователи, однако из подробного анализа их работ, можно сделать вывод, что решаемые задачи определяют выбор оптимальности системы [4]. Определяющими параметрами этой задачи являются: вид модуляции, интенсивность воздействия, равномерное распределение температур, рабочая частота и т.д.

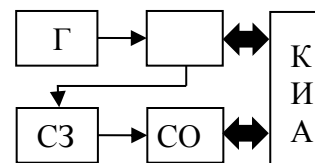


Рис. 1. Структурная схема СВЧ системы:
Г – генератор; М – модулятор; СЗ – система защиты; СО – система обработки; КИА – контрольно-измерительная аппаратура

На данном этапе был проведен обзор схемотехнических решений генераторов, модуляторов, систем согласования, защиты и обработки. Было выявлено, что генераторы, выполненные на базе полупроводниковых приборов, в данном контексте использовать целесообразнее. Подходящая модуляция оказалась амплитудная, а изменяемый контролируемый параметр – коэффициент модуляции. Что касается системы обработки, то самой перспективной является ближняя сфокусированная зона антенны, однако закрытый резонатор имеет место для рассмотрения. Также был проведен схемотехнический расчёт составляющих, даны рекомендации для оптимального построения системы.

Список публикаций:

- [1] Директоренко М. А., Димитрюк А. А. СВЧ гипертермия в медицине: реализация и применение // Вестник СВТУ. 2011. №4 (59) Выпуск 1. С. 102-106.
- [2] Виноградов В. Ю., Морозов О. Г., Галимов Э. Р., Абдуллин И. А., Заднев А. А. Перспективы внедрения экологически безопасного способа эксплуатации сливоналивного устройства // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 61-62.
- [3] Морозов Г. А., Морозов О. Г., Анфиногентов В. И., Веденькин Д. А., Смирнов С. В., Ганиева С. Р. Решение проблемы свч-нагрева композиционных материалов. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Самара). 2016. Т. 19. № 3. С. 12-16.
- [4] Анфиногентов В. И., Морозов Г. А., Морозов О. Г., Насыбуллин А. Р., Самигуллин Р. Р., Шакиров А. С. Выбор оптимальной структуры построения СВЧ-комплекса обработки терморезистивных композиционных материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Том 14. № 1 (2). С. 525-528.

Применение параметрического преобразования Фурье в неразрушающем контроле композиционных материалов методом свободных колебаний

Пономарева Ольга Владимировна,
Пономарев Алексей Владимирович

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашиникова
E-mail:ponva@mail.ru

Композиционные материалы (КМ) – многокомпонентные материалы, состоящие из основы (матрицы), армированной тонкими волокнами из высокопрочных материалов, находят самое широкое применение в различных отраслях, например, в космонавтике, авиации, ракетостроении, автомобилестроении, судостроении, ядерной энергетике медицине. Такое положение дел объясняется, прежде всего, тем, что по эксплуатационным и технологическим свойствам (вес, термостойкость, усталостная прочность, виброустойчивость, ударная вязкость, шумопоглощение) КМ наиболее полно отвечают на всё более возрастающие требования к конструкционным материалам.

Широкое использование КМ при создании современной техники в свою очередь ставит задачу разработки эффективных методов и алгоритмов объективного контроля их качества, как на этапе их производства, так и на этапе эксплуатации изделий из них. Необходимо отметить, что КМ являются с точки зрения контроля сложными объектами, в силу специфичности свойств КМ, что и требует особого внимания при выборе методов неразрушающего контроля (НК) качества КМ.

В настоящее время НК качества КМ очень часто проводится методом свободных колебаний (МСК). МСК базируется: на ударном возбуждении свободно затухающих упругих колебаний в контролируемом изделии, переводе с помощью преобразователей первичной информации (колебаний) в электрические сигналы, анализе изменения частотных спектров сигналов в дефектных и бездефектных

зонах и принятии решения о состоянии контролируемого объекта. Преимущества МСК перед другими низкочастотными акустическими методами НК: обнаружения дефекта на больших глубинах, контроль материалов с высокими коэффициентами затухания упругих колебаний и материалов с малыми модулями упругости.

В современных дефектоскопах, построенных на МСК определение частотного спектра осуществляется на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Основным информационным параметром дефектоскопов является разность текущего и усредненного спектра для бездефектной зоны (с учетом или без учета фазы коэффициентов ДПФ). ДПФ – является косвенным дискретным спектральным измерительным преобразованием и занимает ведущую роль среди спектральных методов измерений параметров сигналов на конечных интервалах в частотной и частотно-временной областях.

$$S_N(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn}; \quad W_N = \exp(-j \frac{2\pi}{N}), \quad k = \overline{0, (N-1)}, \quad (1)$$

где $x(n)$ – дискретный измерительный сигнал, $n = \overline{0, N-1}$, $S_N(k)$ – коэффициенты ДПФ (спектр).

Системный анализ выявленных тенденций развития дискретных спектральных измерений показал, что для широкого их применения, расширения сферы их приложений необходимо развитие теоретических основ данного перспективного вида измерений. Это объясняется, прежде всего, возникновением ряда проблем, появление которых связано с проявлением специфических эффектов (*эффект частоты, эффект утечки гребешковый эффект*), сопровождающих применение ДПФ.

В работе даны теоретические основы дискретных спектральных измерений частотных спектров на основе, разработанного авторами обобщения ДПФ, в виде параметрического дискретного преобразования Фурье (ДПФ-П)

$$S_N(k, \theta) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{(k+\theta)n}, \quad k = \overline{0, (N-1)}, \quad (2)$$

где $x(n)$ – дискретный измерительный сигнал, $n = \overline{0, N-1}$, $S_N(k, \theta)$ – бины ДПФ-П (спектр).

Список публикаций:

- [1] Пономарев В. А., Пономарева О. В. // *Метрология*. 2017. № 1. С. 20-32.
- [2] Пономарева О. В., Пономарев А. В. // *Вестник ИжГТУ имени М.Т.Калашникова*. 2015. Т. 18. № 3. С. 88-91.
- [3] Пономарева О. В. // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2014. № 1 (23). С. 100-107.
- [4] Пономарев В. А., Пономарева О. В., Пономарева Н. В. // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2016. № 4 (31). С. 25-31.

Ультразвуковой контроль материалов на основе карбида кремния, синтезированных методом искрового плазменного спекания прекерамической бумаги

Седанова Елизавета Павловна¹
Сыртанов Максим Сергеевич¹
Кашкаров Егор Борисович¹
Юровских Артем Сергеевич²

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

²*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Бориса Ельцина*

Научный руководитель: Лидер Андрей Маркович, д.т.н.

E-mail: eps4@tpu.ru

Одним из ключевых факторов развития любой отрасли промышленности является обеспечение безаварийной эксплуатации установок и конструкций на предприятиях. Отсюда разработка новых материалов, свойства которых отвечают требованиям к готовым изделиям и сохраняются в процессе эксплуатации изделий, не теряет своей актуальности. Перспективность применения материалов на основе карбида кремния в промышленности обусловлена физико-химическими свойствами данного соединения, среди которых можно выделить жаростойкость, конструкционную прочность при относительно небольшой плотности материала, устойчивость к коррозии [1]. Данная работа было нацелена на исследование методом ультразвукового контроля структуры материалов на основе карбида кремния,

синтезированных методом искрового плазменного спекания (ИПС). Также в рамках исследования были определены плотность и модуль Юнга материалов, исследовано влияние параметров режима спекания на их значения.

В качестве исходного материала для спекания использовалась прекерамическая бумага [2] – композиционный материал, представляющий собой матрицу из органических волокон целлюлозы и неорганического порошкового наполнителя (карбида кремния). Использование прекерамических бумаг при высокотемпературном спекании позволит получать материалы заданной формы и геометрии, а их физическо-химические свойства возможно регулировать выбором материала наполнителя.

Синтез керамических образцов осуществлялся методом ИПС при температуре 2100°C и давлении 20 МПа и 40 МПа в течение 10 минут. Было установлено, что плотность образцов, измеренная методом гидростатического взвешивания, составила 2,087 г/см³ и 2,331 г/см³ для образцов, спеченных при давлении 20 МПа и 40 МПа соответственно. Ультразвуковой контроль осуществлялся с использованием одноканального датчика на 10 МГц. Результаты контроля показали, что спеченный материал представляет собой целостную структуру и не содержит трещин и расслоений. Данные, полученные в процессе ультразвукового контроля, были использованы для оценки модуля Юнга резонансным методом. Полученные значения составили 289,9 МПа и 295,1 МПа для образцов, спеченных при давлении 20 МПа и 40 МПа соответственно.

Результаты исследования демонстрируют, что при высокотемпературном спекании прекерамических бумаг с наполнителем карбид кремния методом ИПС возможно получение материалов высокой прочности за небольшой промежуток времени. Также наблюдается прямая зависимость значений плотности и модуля Юнга полученных материалов от величины давления, устанавливаемого для процесса спекания.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" (Уникальный идентификатор проекта.: 14.578.21.0251).

Список использованной литературы:

- [1] Мэттьюс Ф., Ролингс Р. // *Композиционные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера. 2004. С. 408.*
- [2] Travitzky N. // *Pre-ceramic Paper-Derived Ceramics. J. Am. Cer. Soc. The American Ceramic Society. 2008. 91[11]. Pp. 3477-3492.*

СЕКЦИЯ 3

**Методы и средства диагностики
в медицине**

Анализ неоднородности протекания тока в структуре электрод – кожа в системах электромиографии и электростимуляции

Бахтина Валентина Анатольевна¹

Левицкий Алексей Александрович¹

Маринушкин Павел Сергеевич¹

Аброськина Мария Васильевна²

Ильминская Александра Андреевна²

¹ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, ²ФГБОУ ВО Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого Минздрава России

E-mail:sl_507@mail.ru

В системах электромиографии и функциональной электромиостимуляции важную роль в установлении связи с подкожными тканями пациентов играют электрические свойства электродов и кожного покрова. Свойства элементов структуры электрод – токопроводящий гель – кожа – мышечная ткань определяют величину и характер распределения тока в этой структуре. Экспериментальное исследование характера протекания тока в системе электрод – кожа весьма затруднительно. Возможность анализа влияния параметров электродов и кожного покрова на характеристики системы и распределение плотности тока в тканях при проведении функциональной электромиостимуляции обеспечивает моделирование [1,2].

В данной работе представлен анализ процесса протекания электрического тока с помощью аналитической модели в структуре электрод – токопроводящий гель – кожа для системы электромиографии и функциональной электромиостимуляции. Модель, описывающая процессы в структуре электрод – кожный покров построена с использованием метода линии передачи (Transmission Line Method – TLM) [3]. Упрощенная модель структуры электрод – кожный покров для заданных удельных сопротивлений ρ_m и ρ_s проводящего (электрод и токопроводящий гель) и кожного слоев толщиной d_m и d_s соответственно позволяет получить соотношения, описывающие изменение тока в слое металла (в геле) I_m и в коже – I_s (рис. 1).

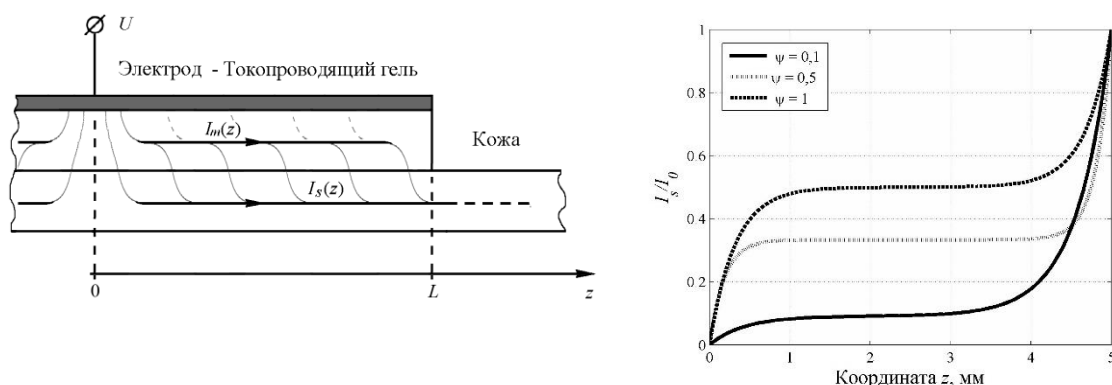


Рис.1 Модель структуры электрод – кожный покров и нормированная зависимость тока в слое кожи I_s/I_0 от координаты z при различных соотношениях параметров электродов и кожи ($\psi = (\rho_m/d_m)/(\rho_s/d_s)$) для $L = 5$ мм

На основании найденной таким образом зависимости $I_s(z)$ может быть установлен закон распределения потенциала на границе электрод – кожа $U_s(z)$ и определено полное контактное сопротивление структуры R_c :

$$U_s(z) = \frac{\rho_s}{Wd_s} \int_0^z I_s(z) dz, \quad (1)$$

$$R_c = \frac{U_s(L) - U_m(0)}{I_0}, \quad (2)$$

где W – ширина области контакта, L – длина рассматриваемой области контакта, $U_m(0)$ – потенциал токопроводящего геля (электрода) в сечении $z = 0$, I_0 – общий ток в цепи электрода.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК», проект «Разработка автоматизированного корректора позы и движения руки в локтевом суставе у пациентов с заболеваниями нервной системы».

Список публикаций:

[1] Keller T., Kuhn A. *Electrodes for transcutaneous (surface) electrical stimulation // Journal of Automatic Control. University of Belgrade. 2008. Vol. 18(2):35-45.*

[2] Keller T., Kuhn A. *Skin properties and the influence on electrode design for transcutaneous (surface) electrical stimulation // Chapter in IFMBE proceedings. January 2010. Pp. 1-4.*

[3] Reeves G., Harrison B. *An Analytical Model for Alloyed Ohmic Contacts Using a Trilayer Transmission Line Model // IEEE Transactions on Electron Devices. 1995. Vol. 42, № 8. Pp. 1536-1547.*

Персональная система теле-ЭКГ для клинических случаев со сложно фиксируемыми заболеваниями

Лежнина Инна Алексеевна¹

Бояхчян Арман Артурович¹

Перчаткин Владимир Анатольевич²

Львова Анна Борисовна²

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

²*НИИ кардиологии Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук*

E-mail: Lezhnina@tpu.ru

Теле-электрокардиография (теле-ЭКГ) - одно из важнейших направлений превентивной кардиологии. Актуальность этой технологии обусловлена прежде всего лидирующими показателями сердечных заболеваний в структуре смертности. В РФ телемедицина является одним из государственных приоритетов развития медицины, также, как и в других растущих странах с большой территориальной разобщенностью (Индия, Бразилия, Индонезия, Китай). Широкое внедрение таких систем существенно осложняется как отсутствием подходящих технических средств, так и недостаточной научно-доказательной базой по медицинскому применению этих средств. Масштабно внедренных систем не существует до сих пор. В ходе ранее выполненной работы по грантам Президента МК-7548.2016.8 и МК-5154.2014.8 коллективом авторов были разработаны подходящие технические средства, обеспечивающее удобство персонального применения, быструю и качественную регистрацию ЭКГ в бытовых ситуациях людьми без специальных навыков. Однако, также выявлено, что основная причина низкой востребованности систем теле-ЭКГ в кардиологии состоит в отсутствии сформированных методик и показаний к применению персональных приборов теле-ЭКГ. Между тем, в процессе тестирования в малых масштабах авторами был показан ряд случаев, когда применение персональных приборов теле-ЭКГ особенно актуален и расширяет диагностические возможности существующих методов. Прежде всего, это относится к ситуациям, когда симптомы болезни на ранней стадии проявляются не стабильно и спонтанно. Зафиксировать их клиническим оборудованием, как правило, невозможно, т.к. симптомы могут не возникать сутки и более подряд.

Авторами было проведено амбулаторное тестирование приборов «ЭКГ-Экспресс» у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Тестирование производилось на базе Отделения реабилитации НИИ кардиологии, куда были переданы 5 прототипов приборов, измеряющих ЭКГ пациента по требованию и передающих эти данные на сервер через встроенную GPRS связь.

За период тестирования прибор выдавался 15 пациентам на срок от двух недель регулярного использования. Общей чертой для каждого отдельного случая являлось то, что на предыдущих диагностических этапах не удавалось уточнить диагноз. Пациенты предъявляли редкие жалобы, и при суточном мониторинге ЭКГ по Холтеру патологии зарегистрировать не удалось.

В исследуемую группу пациентов вошли:

- 3 пациента с ИБС (инверсия сегмента ST ЭКГ),
- 2 пациента с Миокардитом (инверсия зубца T),
- 2 пациента, контролируемые прием антиаритмических препаратов;
- 8 человек с различными нарушениями ритма сердца.

Для регистрации ЭКГ использовался персональный электрокардиограф «ЭКГ-Экспресс» разработанный при поддержке Гранта Президента (проекты МК-7548.2016.8, МК-5154.2014.8 и МК-4356.2018.8).

Предварительное тестирование показало, что:

1. Прибор ЭКГ-Экспресс подходит для применения пациентами, принимающими антиаритмические препараты, влияющие на регуляцию сердечного ритма, для контроля интервалов PQ и PQc на ЭКГ.

2. Прибор ЭКГ-Экспресс подходит для фиксации пароксизмальных нарушений ритма сердца.

3. Прибор ЭКГ-Экспресс в ряде случаев необходим для фиксации приступов стенокардии напряжения и других ишемических синдромов, которые сопровождаются изменениями интервала ST.

При регистрации ЭКГ пациенты не отмечали сложности в использовании аппарата. Возможность передачи записи сразу на рабочее место врача позволяет немедленно отреагировать, и принять соответствующие меры, при этом пациент может находиться за тысячи километров от его кабинета. Развитие телемедицины – одно из приоритетных направлений в медицинских технологиях.

Исследование влияния усреднения кардиосигнала высокого разрешения при диагностике методом Симсона

Го Вэньцзя

Иванов Максим Леонидович

Турушев Никита Владимирович

Авдеева Диана Константиновна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Авдеева Диана Константиновна, д.т.н.

E-mail: guowenjia@mail.ru

Широко известный зарубежный метод Симсона [1] в кардиологической диагностике обладает последовательным набором действия для формирования кривой, используемой в определении диагноза по заданным критериям. Метод направлен на выявление поздних потенциалов желудочков (ППЖ) сердца. ППЖ относят к низкоамплитудным (около 5-20 мкВ) высокочастотным (свыше 20-50 Гц) электрическим сигналам на ЭКГ, которые появляются в конце комплекса QRS и в начале сегмента ST.

Из-за низкой амплитуды ППЖ, которая практически совпадает с шумовыми компонентами стандартного ЭКГ-сигнала, их исследование на одиночном кардиоцикле стандартной ЭКГ не производится. Их выделение совершается с помощью усреднения сигнала и фильтрации в различных частотных диапазонах. Эффективность уменьшения шумовой составляющей зависит: от фонового уровня помех, от количества усредненных циклов и характеристик фильтра.

В Национальном исследовательском Томском политехническом университете на базе научно-производственной лаборатории «Медицинская инженерия» был разработан аппаратно-программный комплекс на наносенсорах с частотой дискретизации 64 кГц, способный регистрировать микропотенциалы уровнем от 1 мкВ [2]. Благодаря этому прибору стало возможно исследование корреляционной зависимости микропотенциалов на одиночных кардиоциклах и микропотенциалов, используемых в методе Симсона. В исследовании кардиосигнала высокого разрешения было произведено усреднение 37 кардиоциклов – это линия под номером 2 (рис. 1).

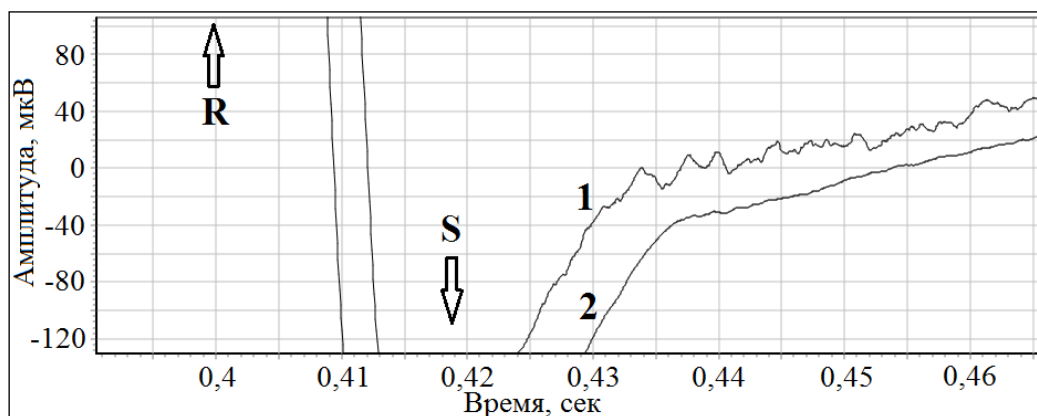


Рис.1 Одиночный(1) и усредненный(2) ЭКГ сигналы.

На рисунке видно, что после усреднения ЭКГ-сигнала микропотенциалы в начале сегмента ST практически исчезают, поэтому в методе Симсона при анализе результирующей кривой исследуются флуктуации, несвязанные с микропотенциалами, которые локализованы на одиночном кардиоцикле I (рис. 1).

Метод Симсона основан на статистических данных, отражающих зависимость между ППЖ и патологией сердца, поэтому следует провести более тщательный анализ этого метода на выявление причинно-следственных связей между анализируемым ЭКГ-сигналом и отклонениями в работе сердца без использования усреднения для повышения точности и достоверности диагноза.

Список публикаций:

[1] Simson M. B. // *Circulation*. 1981. Vol. 64. No 2. Pp. 235-241.

[2] Турушев Н. В. *Электрокардиограф для неинвазивной регистрации спонтанной активности клеток миокарда с целью раннего обнаружения признаков внезапной сердечной смерти: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17 // Томск. 2016.*

Новые возможности метода ЭКГ картирования

Го Вэньцзя

Авдеева Диана Константиновна

Южаков Михаил Михайлович¹

Иванов Максим Леонидович¹

Турушев Никита Владимирович¹

Максимов Иван Вадимович²

Кодермятов Радик Емирханович¹

Мазиков Сергей Валерьевич¹

Зимин Илья Александрович²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Научно-исследовательский институт кардиологии ФГБНУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»

Научный руководитель: Авдеева Диана Константиновна, д.т.н.

E-mail: guowenjia@mail.ru

Заболевания сердца являются основной причиной смерти во всем мире. Внезапная сердечная смерть (ВСС) особенно выделяется специалистами из всех причин смертей от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). ВСС в большинстве случаев является следствием инфаркта сердечной мышцы. Таким образом, отслеживая состояние сердца и активности его клеток можно прогнозировать возникновение угрожающих здоровью состояний. Обзор открытых данных показывает, что эффективность методов предотвращения ВСС за последние несколько десятков лет исследований качественно изменилась недостаточно [1,2]. Кроме того, в источниках приводятся разные данные о прогностическом значении методов, а также часть из них подвергаются сомнению [3]. Описанное положение показывает, что необходим качественный переход в методах диагностики ССЗ. Одним из перспективных и эффективных методов диагностики является метод ЭКГ картирования. Применение данного метода позволяет увеличить количество информации о состоянии сердечно-сосудистой системы человека по сравнению со стандартным ЭКГ исследованием [4]. Метод ЭКГ картирования применяется достаточно долгое время. Вместе с тем, в данной методике применяются стандартные электроды для снятия биопотенциалов человека.

Сотрудники лаборатории медицинской инженерии ТПУ создали наносенсоры, обладающие уникальными метрологическими характеристиками и позволяющие неинвазивно измерять микропотенциалы сердца человека. Были проведены сравнительные исследования стандартных электродов AgCl электрода (FIAB Spa, Италия) и разработанных наносенсоров в полосе частот от 0 до 10000 Гц для целей дальнейшего использования в ЭКГ картировании. Результаты проведенных экспериментов показали, что в разработанных наносенсорах помеха в несколько раз меньше по уровню, чем в стандартных электродах. Таким образом, использование разработанных наносенсоров в рассматриваемом методе позволит качественно улучшить информацию, получаемую данным методом, что позволит существенно повысить диагностические возможности метода ЭКГ картирования.

Список литературы:

[1] Golukhova E. Z., Gromova O. I., Bulaeva N. I., Bokeria L. A. *Sudden Cardiac Death in Patients With Ischemic Heart Disease: From Mechanisms to Clinical Practice //Kardiologiya*. 2017. № 57. Pp. 73-81

- [2] Spirito P., Maron B. J. Relation between extent of left ventricular hypertrophy and occurrence of sudden cardiac death in hypertrophic cardiomyopathy // *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990. № 15. Pp. 1521-6
- [3] Malik M. Risk of Arrhythmia and Sudden Death // London: BMJ. 2001.
- [4] Trobec R., Tomašić I., Rashkovska A., Depolli M., Avbelj V. Body sensors and electrocardiography // Cham: Springer. 2018.

Ёмкостные электроды для персональной электрокардиографии

Лежнина Инна Алексеевна

Бояхчян Арман Артурович

Павленко Борис Николаевич.

Моренец Артем Игоревич

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

E-mail: Lezhnina@tpu.ru

Ёмкостные датчики измерения биопотенциалов, и в частности электрокардиограммы, являются наиболее перспективной технологией для развития портативной и персональной кардиографии. Их применение позволяет отстроиться от качества электрического контакта с кожей, а также проводить измерение ЭКГ через одежду.

Однако, техническая сложность реализации до сих пор не позволяет массово внедрить их в практику. Для обнаружения ишемии нужно достоверно различать изменения амплитудой от 100мкВ. Существующие модели не обеспечивают стабильной работы с указанной точностью, поскольку подвержены существенному недостатку, мешающему их свободному применению - чрезвычайная чувствительность датчиков к механическим колебаниям. В результате в сигнал вносятся неустраняемые искажения.

Другим недостатком серийных моделей является высокая цена, единственный в мире серийный производитель, Plessey Semiconductors, выпускает датчики, оптовая цена которых не опускается ниже 2500р. На данный момент их ввоз запрещен в Россию.

Команда Томского политехнического университета разрабатывает новое поколение ёмкостных электродов для персональной электрокардиографии с отстройкой от влияния емкости кожно-электродного контакта. Работа ведется при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00535.

Проведены аналитические исследования влияния внешних воздействий на ёмкостной электрод. В ходе данного исследования использовались ёмкостные электроды компании Plessey Semiconductors - PS25255 (EPIC Ultra High Impedance ECG Sensor). Электроды были встроены в портативный кардиограф «ЭКГ- Экспресс» [1-2], который уже проходил апробацию на доклинических испытаниях в НИИ Кардиологии г. Томска, где получил положительные отзывы от опытных врачей-кардиологов. Эксперименты проводились с целью выяснить, какие внешние воздействия влияют на качество регистрации ЭКГ. Было выявлено, что при различной силе нажатия на электрод сильно меняется полученный результат. Для стабилизации получаемого сигнала в электрокардиографе «ЭКГ-Экспресс» была разработана демпфирующая система для датчиков. В качестве демпфера, который снижает негативные колебания, влияющие на результат можно использовать обычный губчатый материал или силиконовые «ножки».

Проведены экспериментальные исследования по влиянию межслойного материала (между электродом и кожей человека) на результат ЭКГ.

Данные ЭКГ получались через различные материалы такие как бумага, различные ткани, а также оценивалась электрокардиограмма, полученная с грудной клетки людей с различной степенью наличия волосяного покрова [3].

[1] Lezhnina I. A. et al. The experience of using the personal electrocardiograph «ECG-Express» // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 881 (2017) 012008

[2] Бекмачев А. Датчики Epic от Plessey Semiconductors – прорыв сенсорных технологиях // *Компоненты и технологии*. 2013. № 1. С. 130-133

[3] Lezhnina I. A., Boyakhchyan A. A., Ivanov M. A., Samolutchenko M. I. The influence of skin-electrode contact on the quality of ECG recording for personal telemedicine systems // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 516(1). 2019. 012048

Study of the effect of ultrasound scanner settings on the level of radiation intensity by the reciprocity method

Julia Sergeevna Gulyaeva
 Olga Pavlovna Bogdan
 Olga Vladimirovna Muravieva
 Angelica Denisovna Shirobokova
 Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 E-mail: pmkk@istu.ru

Ultrasonic (US) studies are the most common in medical diagnostics; and, the issues of safety of ultrasound diagnostics devices, their certification and periodic calibration are relevant. One of the main parameters determining the safety of ultrasonic radiation is the peak-spatial time-averaged intensity of I_{SPTA} . According to the recommendations of the Russian Standard GOST IEC 61157, the I_{SPTA} intensity limit is $100 \text{ W} / \text{cm}^2$. Changing the scanner settings by the doctor during the diagnostic process to achieve a better picture may lead to a change in intensity. Existing intensity measurement methods are hardly applicable for ultrasound scanners due to insufficient sensitivity and pulse operation. The aim of the work is to estimate the intensity of ultrasound radiation by the reciprocity method by varying various settings of the ultrasound diagnostic scanner. To measure the intensity of ultrasound radiation, the reciprocity method is used, based on receiving signals from the radiating surface of an ultrasonic sensor of a diagnostic scanner using a point hydrophone, calibrated for sensitivity in a wide frequency range using a vibration velocity simulator. Studies of the effect of ultrasound scanner settings on the level of radiation intensity were carried out for a B-mode convex sensor of an EDAN U50 medical scanner by varying the following settings: ultrasound frequency — 3.5 MHz and 4.5 MHz; number of focuses — 1, 2, 3, 4, the number of focus positions - 0, 7, 15. The type of time sweep of the received signal is shown in Figure 1a. According to Fig. 1a, the calculation of peak-spatial time-averaged intensity is determined by the formula $I_{SPTA} = 6U^2\tau\tau_p / ST_rT_{pps}$, where U - is the pulse amplitude, B , τ - is the duration of a single pulse, μs , T_r - is the pulse repetition period in the emitted wave packet of pulses, μs , τ_p - is the duration of the wave pulse packet, ms , T_{pps} - is the repetition period of wave packets per scan line, ms , S - is the sensitivity of a point hydrophone, $\text{V}^2 / (\text{W} / \text{cm}^2)$ (at a frequency of $f = 3.5 \text{ MHz}$, $S = 100 \text{ V}^2 / (\text{W} / \text{cm}^2)$).

It was found experimentally (Fig. 1b) that changing the settings of the scanner significantly changes the temporal parameters of the emitted bursts of pulses, which affects the result of averaging of the intensity over time. Studies have shown that the intensity value exceeds the allowable values with almost any settings of the ultrasound scanner. An increase in the radiation frequency from 3.5 to 4.5 MHz leads to an increase in the intensity of more than 2 times. An increase in the number of focus positions and a decrease in the number of focuses leads to a significant increase in intensity.

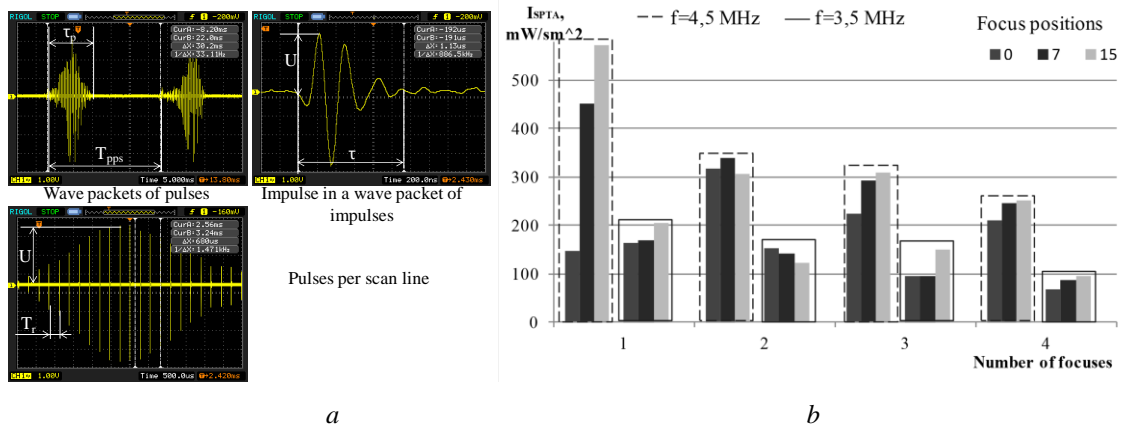


Fig.1 Results of I_{SPTA} intensity measurement on the surface of the ultrasonic scanner's convex sensor

Thus, changing the scanner settings during the research process can lead to a significant increase in the intensity of ultrasound radiation, which can cause thermal and mechanical effects associated with the safety of ultrasound diagnostics. It should be noted that the intensity in the volume of the irradiated medium may be significantly higher in comparison with that measured on the sensor surface, due to the effects of focusing.

The work was performed in the framework of the terms of reference for the research work on the grant for scientists Kalashnikov ISTU №12.06.01/18MOV.

Обнаружение неоднородностей в биологических тканях с помощью радиоволновой томографии

Еремеев Александр Иванович

Васильева Мария Александровна, Васин Василий Витальевич

Томский государственный университет

Научный руководитель: Шупилов Сергей Эдуардович, д.ф.-м.н.

E-mail: aleksandr_ermeev_93@mail.ru

Рак молочной железы – злокачественное новообразование в области груди занимает первое место в структуре онкологической заболеваемости у женщин. По данным Всемирной организации здравоохранения, он является самым распространенным раковым заболеванием среди женщин во всем мире – на него приходится 16% всех случаев заболевания раком среди женщин. В борьбе против рака молочной железы крайне важна его ранняя диагностика (I-II стадия). В настоящее время для обнаружения новообразований в биологических тканях чаще всего применяются ультразвуковые и рентгеновские методы. Каждый из методов не является абсолютными и достаточными и имеют свои недостатки. Так, например, при проведении маммографии рентгеновскими методами, всегда существует небольшая вероятность развития рака вследствие чрезмерного облучения. Ситуация усложняется если пациентка беременна. Также маммография является дорогим видом скрининга и рекомендуется для стран с надлежащей инфраструктурой здравоохранения. Ультразвуковое зондирование на ранней стадии часто неэффективно, поскольку плотность злокачественных новообразований почти не отличается от плотности фоновой среды. Отсюда следует вывод, что на сегодняшний день необходимы методы обнаружения новообразований, которые улучшат диагностику рака молочной железы и позволят начать лечение как можно раньше, тем самым существенно повысив шансы на выздоровление. Новыми и перспективными неинвазивными методами поиска новообразований в биологических тканях являются радиоволновые методы, за счет своей чувствительности даже к малым изменениям электрофизических параметров среды и в сравнении с рентгеновским исследованием имеющими меньшую среднюю мощность излучения и соответственно безопасны для пациентов.

В данной работе для решения задачи радиоволновой томографии неоднородностей в биологических средах применяется метод радиоволнового томосинтеза. Для его применения необходимо знать диэлектрическую проницаемость среды. С помощью разработанных на кафедре радиофизики Томского государственного университета методики и коаксиальной измерительной ячейки возможно по измеренным в широком частотном диапазоне рассчитать диэлектрическую проницаемость биологического материала. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами известными из литературы.

Проводился эксперимент по томографии неоднородностей в биоматериале. Использовалась капсула, заполненная биоматериалом. В капсулу помещались тестовые объекты в виде 2-х пластиковых шариков, запаянных физ. раствором. Данные шарики по электрофизическим свойствам очень схожи с новообразованиями, т.е. они имитировали опухоли. Капсула помещалась на сканер работающий в сферической системе координат. Измерения проводились в диапазоне частот 2-8 ГГц. На рисунке 1 а приведены точки сканирования в которых записывался сигнал и координаты неоднородностей. Полученные данные обрабатывались с помощью метода радиоволнового томосинтеза. На рисунке 1 б представлена рассчитанная по данным эксперимента радиотомограмма тестовых объектов.

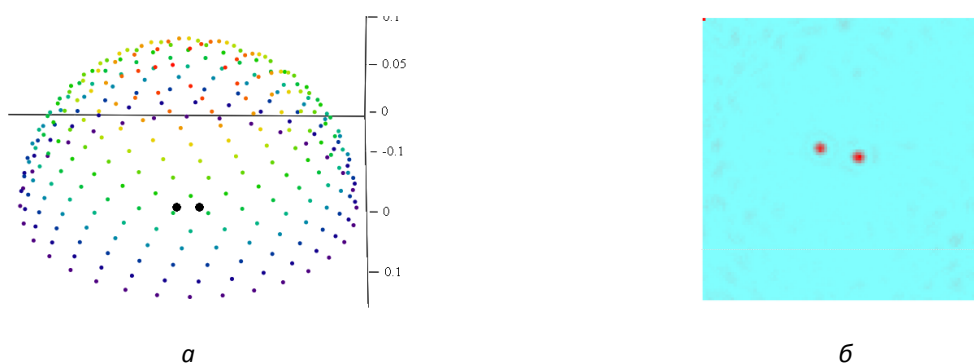


Рис. 1 Точки сканирования и радиотомограмма неоднородностей в биологической ткани

Эксперименты подтвердили принципиальную возможность получения радиоизображений неоднородностей в биологической среде с разрешением не хуже 1 см.

Исследование влияния концентрации сахара на волновое сопротивление магнитной катушки

Махманазаров Р.М.

Якубов Владимир Петрович

Клоков Андрей Владимирович

Запасной Андрей Сергеевич

Завьялова Ксения Владимировна

Мироньчев Александр Сергеевич

Томский государственный университет

Научный руководитель: Якубов Владимир Петрович, д.ф.-м.н.

E-mail: yvlp@mail.tsu.ru

Работа посвящена разработке технологии неинвазивного измерения глюкозы в крови человека. Современные глюкометры являются дискретными приборами, которые не полностью предоставляют картину уровня глюкозы в крови. В данной работе исследуется влияние концентрации глюкозы в организме человека на комплексное сопротивление катушки индуктивности, с помещенным в нее пальцем испытуемого человека. В данном случае, катушка, является одновременно и источником и приёмником магнитного поля (рис. 1). Измеряемая величина комплексное сопротивление – импеданс, который должен отзываться на появление пальца внутри катушки.



Рис.1 Измерительная катушка в режиме измерений

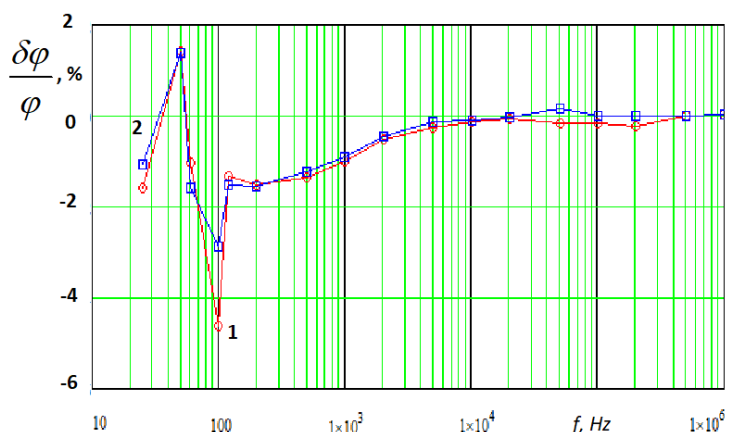


Рис.2 Изменение фазы комплексного сопротивления измерительной катушки при внесении пальца при различных уровнях сахара в крови: 1- уровень сахара 8.1 ммоль/л и 2 - уровень сахара 5.7 ммоль/л

Была рассчитана и намотана катушка индуктивности с диаметром намотки так чтобы можно разместить в нее любой палец руки среднестатистического человека. Испытуемые помещали пальцы внутрь катушки и ожидали в среднем 170 секунд пока прибор производил измерения (10 сек на каждую частоту). Переменное магнитное поле создает в теле пальца изменяющийся магнитный поток, который пронизывает кровеносные сосуды тела пальца. В результате в наиболее крупных сосудах наводятся вихревые токи, которые развиваются в поперечном сечении кровеносных сосудов. Кровь, содержащая определенное количество свободных носителей зарядов, начинает реагировать, отбирая при этом энергию из «будоражающего» его внешнего магнитного поля. Подвижность зарядов зависит от содержания растворенного в крови сахара. В результате это взаимодействие отражается на комплексном сопротивлении крови. Здесь особенно важно, что это взаимодействие носит реактивный характер, так как вихревые токи реактивные. Как следствие будет возрастать реактивная составляющая комплексного сопротивления катушки. Это означает, что наиболее информативным будет фаза измеряемого комплексного сопротивления катушки. В подтверждение приведенных рассуждений на рис. 2 показаны обнаруженные относительные изменения фазы полного сопротивления катушки, которые выделены относительно пустой катушки на каждой из использованных частот. Здесь φ - аргумент (фаза) сопротивления пустой катушки, а $\delta\varphi$ - наблюдаемое изменение.

Исследования поддержаны грантом Российского научного фонда № 18-75-10101.

Список публикаций:

[1] Klonoff D. Noninvasive blood glucose monitoring // *Diabetes Care* 1997. 20. Pp. 433-443.

[2] The official site of the World Health Organization Media Center: [Electronic resource]. // access mode: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/> Address date: 10/09/2018.

Постоянно носимый аппаратно-программный комплекс на наносенсорах для динамического наблюдения за состоянием сердца человека

Кодермятов Радик Эмирханович¹

*Иванов Максим Леонидович*¹

*Еньшин Степан Игоревич*¹

*Авдеева Диана Константиновна*¹

*Южаков Михаил Михайлович*¹

*Цой Екатерина Игоревна*²

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

²*Научно-исследовательский институт кардиологии ФГБНУ «Томский национальный исследовательский
медицинский центр Российской академии наук»*

Научный руководитель: Авдеева Диана Константиновна, д.т.н.

E-mail: kodermyatovra@mail.ru

В настоящее время актуально непрерывное динамическое наблюдение за состоянием сердечно-сосудистой системы человека для повышения качества диагностики заболеваний сердца. Существующая аппаратура для постоянного динамического наблюдения за состоянием сердца человека функционирует в стандартных частотных диапазонах, имеет низкую разрешающую способность, содержит фильтры, ограничивающие сигналы как в области нижних, так и верхних частот [1,2,3]. Разработка носимых технических средств и методов высокого разрешения для динамического наблюдения за состоянием сердца человека, регистрирующих сигналы в диапазоне от 0 до 3500 Гц без фильтрации и усреднения, является актуальной задачей и позволит получать новую информацию о работе предсердий и желудочков сердца и обнаруживать отклонения в работе сердца на ранней стадии заболевания. Разработан постоянно носимый аппаратно-программный комплекс (АПК) на наносенсорах, проведены технические испытания АПК, разработана конструкция наносенсора, удобная для установки на грудной клетке человека, разработана конструкция АПК для удобного длительного ношения пациентом.

Разработан алгоритм и программа, позволяющие детектировать микропотенциалы на всей длительности ЭКГ сигнала с исключением зубцов кардиоимпульсов и резких всплесков в процессе обработки сигнала. Осуществляется построение гистограмм для количественной оценки микропотенциалов и производится вычисление суммарной энергии анализируемых микропотенциалов. Разработана программа и методика предварительных исследований постоянно носимого АПК на добровольцах.

Проведены предварительные медицинские исследования на добровольцах, которые показали:

1. Постоянно носимый АПК позволяет одновременно следить за ритмом сердца и дыханием.

2. Исследование спонтанной активности клеток миокарда в реальном времени по результатам регистрации микропотенциалов сердца возможно при любых отклонениях формы электрокардиограммы от стандартной, при наличии аритмии и нестабильности формы ЭКГ за время наблюдения в отличие от широко применяемого за рубежом метода Симсона для обнаружения поздних потенциалов желудочков и предсердий, который основан на усреднении кардиоциклов.

Список литературы:

[1] *A Smarter Ambulatory ECG Monitor // CardioSTAT URL: <https://www.cardiostat.com/ambulatory-ecg-monitor> (дата обращения: 14.05.2018).*

[2] *Crawford M. [u др.]. ACC/AHA Guidelines for Ambulatory Electrocardiography: Executive Summary and Recommendations // Circulation. 1999. № 8 (100). Pp. 886–893.*

[3] *Trobec R., Tomašić I., Rashkovska A., Depolli M., Avbelj V. Body Sensors and Electrocardiography // Cham: Springer International Publishing. 2018. P. 131.*

CRYO. Система для изучения биоимпедансных свойств биологической ткани и жидкости во время проведения криохирургических операций

Королюк Евгений Сергеевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Бразовский Константин Станиславович, доктор технических наук

E-mail: esk13@tpu.ru

Криохирургией называют метод использования сверхнизких температур, для разрушения и удаления нездоровых тканей с различными доброкачественными либо злокачественными образованиями. Метод широко распространен и используется во многих медицинских сферах, начиная от удаления бородавок, заканчивая проведением абляций внутренних тканей, например, таких как абляция почки. Одна из основных проблем применения холода в медицине является трудность в определении границ и глубины криовоздействия. Данная проблема возникает вследствие индивидуальных особенностей ткани, различной скорости охлаждения и высоких градиентов температур во время заморозки [1]. Для повышения точности в определении границ и глубины криовоздействия были разработана система CRYO для изучения импедансных свойств исследуемых объектов [2]. На основе полученных данных от разработанной системы, были проанализированы биоимпедансные спектры мышечной ткани при температуре от минус 18 до плюс 10 градусов Цельсия в частотном диапазоне от 1 до 100 кГц.

Измерение импеданса мышечной ткани проводили в диапазоне от 2кГц до 100кГц. В качестве исследуемого образца, была использованная мышечная ткань свиньи. Температура исследуемого объекта изменялась в диапазоне от минус 20 до плюс 10 градусов Цельсия.

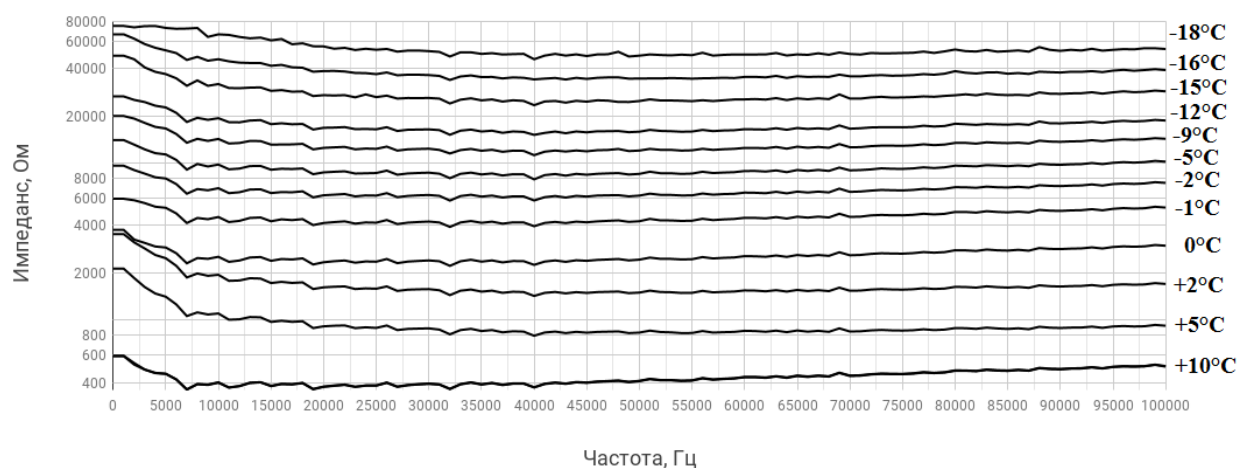


Рис.1 Биоимпедансный спектр мышечной ткани. Ось Y – импеданс в логарифмической шкале в Омах, ось X – частота в Герцах

С повышением температуры в замороженной мышечной ткани начинает резко уменьшаться импеданс. Спустя 10 минут после начала эксперимента поверхностный слой мышечной ткани начинает таять, температура возрастает до минус 2 градусов. После начала процесса таяния уменьшение импеданса происходит уже не так интенсивно. На 40 минуте после начала эксперимента исследуемый образец растаивает, на 60 минуте нагревается до плюс 10 градусов.

Проведение эксперимента можно разделить на несколько стадий: 1. Начальная фаза. Нагрев еще не начался. Импеданс имеет максимальное значение. 2. Нагрев льда, между контактами электрод-лед образуется тонкий слой жидкости, что приводит к резкому уменьшению импеданса. 3. Фаза активное таяние льда. Температура становится близкой к температуре таяния. Для мышечной ткани импеданс уменьшается до 1 кОм. 4. Фазовый переход льда в жидкое состояние. Для мышечной ткани импеданс уменьшается до 300 Ом.

Список публикаций:

[1] Королюк Е. С., Ханахмедова Г. Б. Повышение эффективности определения степени криовоздействия с помощью импедансной томографии // Инженерия для освоения космоса: сборник научных трудов V Международного молодежного форума, г. Томск, 18-20 апреля 2017. Томск. 2017. С. 84-87.

[2] Korolyuk E., Brazovskii K. S. Improved system for identifying biological tissue temperature using electrical impedance tomography // MATEC Web of Conferences. Vol. 158: Space Engineering. Les Ulis, 2018. EDP Sciences, 2018. Vol. 158. P. 1019.

Исследование спектральных характеристик раствора хлорида натрия с разным содержанием декстрозы

Запасной Андрей Сергеевич

Мироньчев Александр Сергеевич

Клоков Андрей Владимирович,

Якубов Владимир Петрович

Завьялова Ксения Владимировна

Штилов Сергей Эдуардович

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: mironchev42@mail.ru

Исследование биологических сред с использованием сверхширокополосного излучения является актуальной проблемой. Большое внимание уделяется способам изучения биологических жидкостей. Термин «биологические жидкости» включает в себя не только телесные жидкости, кровь, лимфа, моча и прочие жидкости организма, но и искусственно созданные модели жидкостей [1, 2, 3].

Данная работа посвящена разработке технологии неинвазивного измерения глюкозы в крови человека. В качестве экспериментального объекта исследования выбран раствор хлорида натрия (физ. раствор) с различным содержанием в нём декстрозы. Данная жидкость является одним из самых простых способов создания модели биологической жидкости. Для исследования была создана экспериментальная установка которая включает в себя следующие основные элементы: анализатор цепей PNA-L Network Analyzer (N5230C) компании Agilent Technologies, полоса рабочих частот которого составляет 10 МГц – 40 ГГц; коаксиальная линия переменного сечения, выполненная в виде коаксиального конического рупора (рисунок 1). На открытом конце коаксиального зонда располагалась пластиковая кювета, наполненная исследуемой жидкостью.

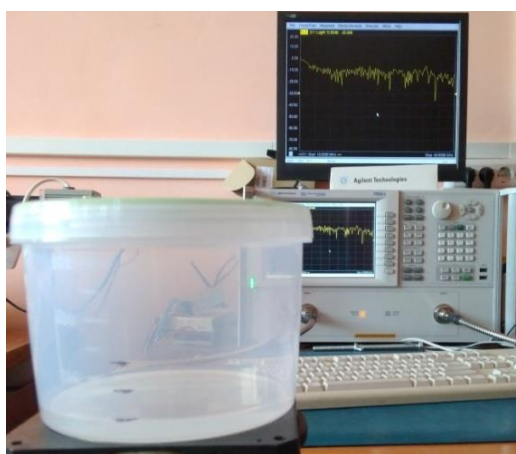


Рис. 1 Экспериментальная установка

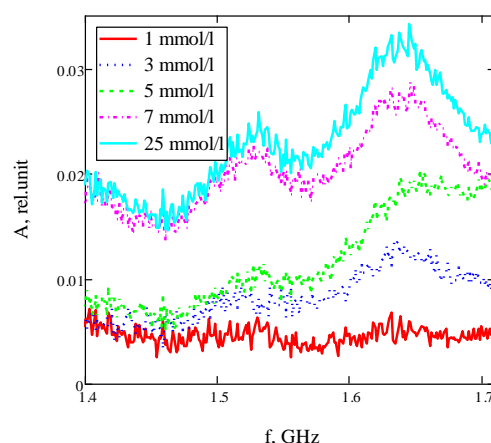


Рис. 2 Модуль комплексного коэффициента отражения для разных концентраций декстрозы

В данном эксперименте снимались зависимости комплексного коэффициента отражения от частоты излучения. Для удобства восприятия сигналы, полученные от растворов с содержанием декстрозы нормировались на сигнал, полученный в случае измерения чистого физ. раствора. Спектральные характеристики параметра S_{11} исследовались в диапазоне 0,1–20 ГГц. На рисунке 2 представлены зависимости в диапазоне от 1.4–1.7 ГГц. В данном диапазоне частот амплитуды выстроились согласно концентрациям, сигнал полученный от раствора с наименьшей концентрацией – 1 ммоль/л декстрозы имеет меньший модуль комплексного коэффициента отражения. С ростом концентрации декстрозы в растворе увеличивается и уровень сигнала в диапазоне 1.4–1.7 ГГц.

Представленный результат свидетельствует о том, что с ростом концентрации декстрозы в растворе хлорида натрия увеличивается диэлектрическая проницаемость данного раствора. Данный факт подтвержден исследованиями проведенными другими научными группами [4]. Кроме этого, продемонстрирована возможность зондирования растворов ближними полями с целью определения концентрации декстрозы в них.

Исследования поддержаны грантом Российского научного фонда № 18-75-10101.

Список публикаций:

- [1] Кривов Ю. И., Торгунаков А. П., Рудаев В. И., Красильников Г. П., Володин В. В. Переливание крови, её компонентов и препаратов. Под ред. д.м.н. проф. А. П. Торгунакова // Кемерово: КемГМА. 2007. С. 32.
- [2] Klonoff, D., 1997. Noninvasive blood glucose monitoring // *Diabetes Care*. 20. Pp. 433-443.
- [3] Добрынина О.С., Зон Б.А., Козинец Г.И., Лихолет А.Н., Пахомов Г.В., Погорелов В.М., Двуреченский В.И. Электрофизические параметры экспериментальных моделей биологических жидкостей // *Конденсированные среды и межфазные границы*. 2013. Т. 15. № 3. С. 272.
- [4] Benjamin Freer Feasibility of a non-invasive wireless blood glucose monitor 2011

Метод расчёта диагностических признаков по результатам денситометрии шаровидных образований лёгких

Молодкин Иван Васильевич

Якунин Алексей Григорьевич

Алтайский государственный университет

Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Научный руководитель: Шайдук Александр Михайлович, д. ф-м. н.

E-mail: tian.08@mail.ru

Описательные характеристики томографического изображения часто используются врачами как источник информации о возможном диагнозе. При этом, в основном, врач опирается на свой врачебный опыт, к тому же и характеристики томографического изображения обычно качественные и не определены строгой количественной процедурой. В настоящей работе сделана попытка ввести некоторые однозначно определяемые количественные характеристики томографического изображения и установить, какие из них в самом деле несут статистическую информацию о типе патологии и поэтому могут служить объективными диагностическими характеристиками в экспертных системах помощи врачу.

Конечно, все эти характеристики должны быть основаны на измеряемых томографом денситометрических показателях (числах Хаунсфилда) и количественная характеристика области патологии в томографическом изображении будет некоторой функцией от денситометрических показателей отдельных пикселей.

$$H = \frac{(\mu_T - \mu_{H_2O})}{\mu_{H_2O}} \cdot 100. \quad (1)$$

где μ_{H_2O} – коэффициент поглощения воды, μ_T – коэффициент поглощения биологической ткани в наблюдаемом пикселе. Так же стандартное отклонение этой величины:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{cp})^2}{n}}. \quad (2)$$

где n – количество пикселей в этой области

В настоящий момент современные компьютерные томографы способны вычислить денситометрический показатель для любой выделенной области и для отдельно взятого пиксела. Поэтому денситометрический показатель и связанные с ним характеристики (стандартное отклонение) можно отнести к классическим характеристикам медицинского изображения. Врач может с лёгкостью получить эту информацию, но в первоначальном виде она ему не поможет. Для проведения дифференциальной диагностики ему необходимы результаты статистического анализа на предмет подтверждённой зависимости денситометрического показателя исследуемых заболеваний от типа заболевания (рак и туберкулёз).

Для решения задачи поиска дополнительных параметров был применён фрактальный анализ. Если медицинское изображение обладает свойствами фрактала, то логарифм меры линейно зависит от логарифма масштаба ε по формуле:

$$\ln M = \ln A + (2 - D) \ln \varepsilon. \quad (3)$$

где D – фрактальная размерность. Однако, исследование показало, что поведение данной зависимости, если брать весь диапазон изменения масштаба, не является линейным.

Поэтому при обработке медицинских изображений будем использовать функцию, аппроксимирующую зависимость логарифма меры от логарифма масштаба в виде $y = a_1x + a_2x^2$, где за нелинейность будет отвечать коэффициент a_2 , а за фрактальное поведение a_1 . Параметр, отвечающую за

нелинейность зависимости, назовём «уклон».

Новый метод расчёта количественных параметров ШОЛ позволяет выделить два классических и два дополнительных параметра. Все описанные характеристики медицинских изображений рассчитывались автоматически программой для ЭВМ. Статистический анализ представленных выше количественных характеристик медицинских изображений позволяет утверждать:

1. Классические характеристики медицинских изображений, такие как денситометрическим показателем (H) и СКО (σ) статистически различны для рака и туберкулёза лёгких.
2. Среднее значение фрактальной размерности (D) области интереса различно для больных раком и туберкулёза лёгкого.
3. Среднее значение функции «уклон» (a_2) в области интереса совпадает для больных раком и туберкулёза лёгкого. Эта функция не является значимым диагностическим параметром.

Оптический метод диагностики системы гемостаза на основе оценки вязкоупругих свойств крови в процессе коагуляции

Носова Екатерина Владимировна

Аристов Александр Александрович

Навродская Екатерина Александровна

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Аристов Александр Александрович, к.т.н.

E-mail: zhogloev@gmail.com

В настоящее время разработка новых диагностически-информативных и легко реализуемых методов исследования системы гемостаза, на базе которых возможно создание приборов, работающих в режиме Point-of-care-testing (POCT) (анализ по месту оказания медицинской помощи), является актуальной задачей [1]. В связи с этим, нами предлагается новый подход экспресс-оценки системы гемостаза, в основе которого заложен разработанный нами оптический метод исследования изменения вязкоупругих свойств каплеобразного образца крови. Подробное описание устройства для исследования каплеобразных образцов представлено в работе [2].

В ходе анализа в каплеобразном образце создаются вертикальные сдвиговые колебания, и оценивается изменение геометрических характеристик капли, за счет чего происходит определение изменения вязкости образца. В случае исследования процесса свертывания крови кривая изменения амплитуды вибраций капли будет отражать процесс образования фибринового сгустка. Регистрация изменения геометрии капли производится фотометрическим путем. Для создания системы сдвиговых деформаций (колебательной платформы) был использован электромагнитный блок фокусировки, применяемый в оптических записывающих устройствах (CD-ROM, DVD-ROM). Частота колебаний кюветы составляла 30 Гц, амплитуда колебаний при этом - 1.5 – 2 мм. Растекания капли при этом не наблюдалось.

На рис.1 представлены фотометрические кривые, полученные в ходе проведения предварительных исследований влияния вертикальных механических колебаний на характер фотометрических кривых для каплеобразного образца крови.

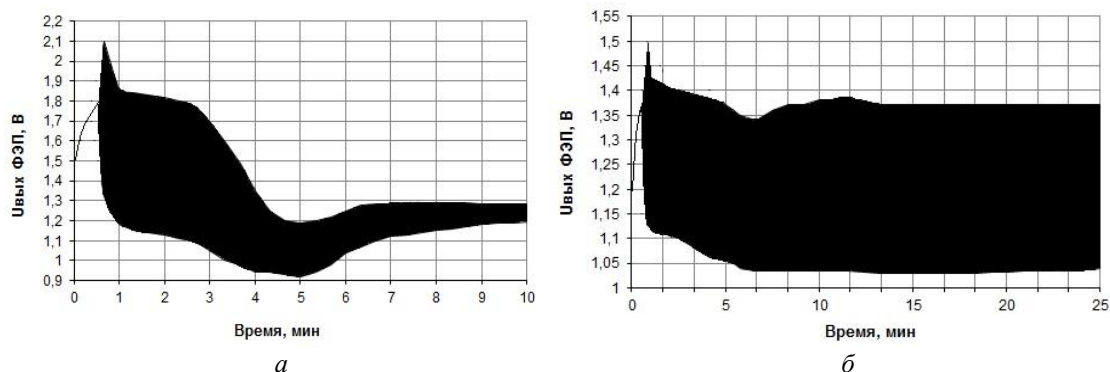


Рис.1. Фотометрические кривые для каплеобразных образцов крови при вертикальных колебаниях. а) для образца крови без добавления антикоагулянта(кровь сворачивается). б) для образца крови с антикоагулянтом(коагуляции не происходит).

При вертикальной вибрации капельный образец то вытягивается, то уплощается. Соответственно, нижняя граница значений амплитуды напряжения объясняется тем, что в момент вытягивания капли, свет от источника проходит больший путь через кровь, и соответственно светопоглощение образца максимально. Верхнее значение напряжения достигается в момент сплющивания капли – длина пути света через кровь уменьшается, следовательно, светопоглощение минимально. На графике на рис.1а в момент времени 5 минут наблюдается минимум фотометрической кривой, который можно объяснить наступлением момента свертывания образца крови. На графике на рис.1б видно, что амплитуда колебания выходного сигнала приёмника излучения в процессе всего исследования практически не меняется, что подтверждает наше предположение о влиянии вязкости образца на изменение амплитуды колебания выходного напряжения фотоприемника. Полученные результаты указывают на возможность применения метода для оценки состояния системы гемостаза.

Описанный метод имеет ряд существенных достоинств (малый объем крови, необходимой для анализа; время исследования 10-15 минут; простая техническая реализация; высокие физиологичность и информативность), которые позволяют перевести его в разряд РОСТ-методов оценки системы гемостаза.

Список публикаций:

- [1] Prisco D., Paniccia R. Point-of-Care Testing of Hemostasis in Cardiac Surgery // *Thrombosis Journal*. June 2003. Vol. 1.
[2] Rafalsky A. S., Aristov A. A., Evtushenko G. S., Zhoglo E. V. A device for studying the scattering properties of fluid droplet samples // *Instruments and Experimental Techniques*. March 2012. Vol. 55. № 2. Pp. 283-287.

Портативная радиометрическая система. Возможности и преимущества ее применения совместно с ОФЭКТ и МРТ при оценке функционального состояния

слезных и слюнных желез

Панкин Савва Викторович¹

Сюрдо Александр Иванович^{1,2}

Панкин Виктор Владимирович^{1,3}

*Сарычев Максим Николаевич*¹

*Зеленин Алексей Владимирович*⁴

*Агеев Артем Никифорович*⁵

*Ободов Виктор Алексеевич*⁶

¹ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

²Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

³Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия

⁴Областная детская клиническая больница №1, г. Екатеринбург, Россия

⁵Областная клиническая больница №1, г. Екатеринбург, Россия

⁶АО Екатеринбургский центр МНТК «Микрохирургия глаза», г. Екатеринбург, Россия

Научный руководитель: Сюрдо Александр Иванович, д.ф.-м.н.

E-mail: savva.pankin@urfu.ru

Pathology of the lacrimal glands is one of the most important factors complicating the work of the visual apparatus. Existing diagnostic methods have several disadvantages. The development of a portable radiometric system will improve them.

Патология слезных желез является одним из важнейших факторов, осложняющих работу зрительного аппарата [1]. Для диагностирования функционального состояния железистых структур может быть применено сцинтиграфическое исследование. Сцинтиграфия осложняется малыми размерами желез и накоплением сравнительно небольших объемов радиоактивного препарата относительно общего объема, вводимого в кровяное русло. Также на качество проведенных исследований влияет сложность оптимального позиционирования детекторов гамма-камеры вблизи объекта исследования.

Особенности анатомо-топографического строения слезной и слюнной железы, с учетом специфики возможностей диагностики исследуемого объекта посредством гамма-камеры, требуют применения многоканального радиометрического программируемого аппаратного комплекса для оптимизации позиционирования детекторов вблизи исследуемого объекта и повышения чувствительности радиометрии. Применение многоканального портативного радиометра в том числе позволяет снизить дозовую нагрузку на пациента.

В работе рассмотрены методы диагностики функционального состояния слезных желез с использованием разработанной портативной радиометрической системы с четырьмя детекторами гамма-излучения. Система может оценивать фармакокинетику в нескольких, представляющих диагностический интерес, точках. Сопоставление результатов различных видов томографических исследований железистых структур с оценкой их объема и функциональной активности позволяет получить максимум диагностической информации [2].

Список публикаций:

[1] Ободов В. А. *Травматические дакриоциститы и облитерации слезоотводящих путей: Практическое руководство* // М.: Изд-во «Офтальмология». 2015. С. 8-29.

[2] Pfann B., Lowicke G., Endert G. *Normal parotid gland function as determined by ^{99m}Tc scintigraphy* // *Medical Radiology*. 22(12). 38–42 (1977).

Научное издание

SibTest – 2019

Сборник тезисов докладов
V Международной конференции
по инновациям в неразрушающем контроле

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка *И.А. Лежнина*.

Зарегистрировано в Издательстве ТПУ

Размещено на корпоративном портале ТПУ



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ