



II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

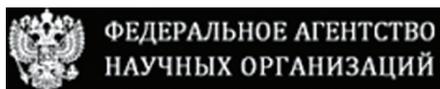
НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

современное состояние и перспективы развития

КАЗАНЬ • 2018

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

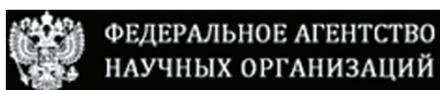


ЭЗАН

СПОНСОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН



А

ООО «Градиент МРТ»

II ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

современное состояние и перспективы развития

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

КАЗАНЬ, 4–7 ИЮНЯ 2018 ГОДА

ОРГАНИЗАТОРЫ

Федеральное агентство научных организаций России

Российская академия наук

Правительство Республики Татарстан

Совет по научному приборостроению при ФАНО России

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

Федеральное государственное унитарное предприятие «Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро Российской академии наук»

СПОНСОРЫ

Правительство Республики Татарстан

Федеральное агентство научных организаций России

Федеральное государственное унитарное предприятие
внешнеэкономическое объединение «АКАДЕМИНТОРГ»

Общество с ограниченной ответственностью «Градиент МРТ»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Медведев Алексей Михайлович, Первый заместитель руководителя ФАНО России

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ

Песошин Алексей Валерьевич, Премьер-министр Республики Татарстан

Балега Юрий Юрьевич, академик РАН, вице-президент РАН

Синяшин Олег Герольдович, академик РАН, директор ФИЦ КазНЦ РАН

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Чугуева Ирина Николаевна, ФАНО России

Веретенников Александр Владимирович, ФГУП ЭЗАН

ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Абрамов Владимир Валентинович, ФГУП СКБ ИРЭ РАН

Кадымов Дмитрий Сергеевич, ФАНО России

Калачёв Алексей Алексеевич, ФИЦ КазНЦ РАН

Комарова Елена Михайловна, ФГУП ЭЗАН

Коновалов Сергей Карпович, МГИ РАН

Курочкин Владимир Ефимович, ИАП РАН

Краснов Игорь Владимирович, ФГУП В/О «Академинторг»

Липанов Алексей Матвеевич, академик РАН

Новиков Алексей Владимирович, ФАНО России

Ожгихин Иван Владимирович, Холдинг «Швабе»

Пермяков Евгений Анатольевич, ИБП РАН

Сагдеев Ренад Зиннурович, МТЦ СО РАН

Сорокина Анна Юрьевна, ФАНО России

Суконкин Сергей Яковлевич, ФГУП ОКБ ОТ РАН

Фаттахов Яхъя Валиевич, ФИЦ КазНЦ РАН

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Бородин Владимир Алексеевич, ФГУП ЭЗАН

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Устинов Виктор Михайлович, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

Романовский Михаил Юрьевич, ФАНО России

ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

Алексеев Яков Игоревич, ВНИИСБ

Бородин Алексей Владимирович, ФГУП ЭЗАН

Булатов Марат Фатыхович, НТЦ УП РАН

Галль Николай Ростиславович, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

Глявин Михаил Юрьевич, ИПФ РАН

Дмитроченко Сергей Алексеевич, Холдинг «Швабе»

Иванов Владимир Константинович, ИОНХ им. Н. С. Курнакова РАН

Когновицкий Сергей Олегович, ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

Компанец Олег Николаевич, ИСАН

Корольков Виктор Павлович, ИАЭ СО РАН

Мотыжев Сергей Владимирович, МГИ РАН

Новиков Дмитрий Олегович, ФГУП ЭЗАН

ЛОКАЛЬНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

Синяшин Олег Герольдович, академик РАН, директор ФИЦ КазНЦ РАН

ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

Калачёв Алексей Алексеевич, руководитель КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Осипов Геннадий Тихонович, ФИЦ КазНЦ РАН

Фаттахов Яхья Валиевич, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

ЧЛЕНЫ ЛОКАЛЬНОГО ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Аникин Александр Николаевич, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Ахмин Сергей Михайлович, ФИЦ КазНЦ РАН

Баталов Рафаэль Ильясович, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Баязитов Альфис Альбертович, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Гаврилова Татьяна Павловна, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Гатина Роза Шамилевна, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Гиниятуллин Ришат Рашидович, ИММ ФИЦ КазНЦ РАН

Голенева Валентина Михайловна, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Губайдуллин Ильгис Бареевич, ФИЦ КазНЦ РАН

Зиганшина Суфия Асхатовна, ФИЦ КазНЦ РАН

Кешнер Татьяна Дмитриевна, ИОФХ ФИЦ КазНЦ РАН

Коновалов Дмитрий Александрович, ФИЦ КазНЦ РАН

Куприянова Ольга Олеговна, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Оладошкин Юрий Владимирович, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Фаррахов Булат Фасимович, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Хабипов Рамиль Шарипзянович, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН

Хлебников Игорь Святославович, ФИЦ КазНЦ РАН

Содержание

ПРИБОРЫ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИКИ (АО) Пустовойт В.И. НТЦ УП РАН	15
О ПРОГРАММЕ РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЯХ, ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ ФАНО РОССИИ НА 2018-2020 ГОДЫ Бородин А.В., Бородин В.А., Веретенников А.В., Кузьмин Д.Н., Новиков Д.О. ФГУП ЭЗАН.....	17
ПОРТАТИВНЫЕ БИОСЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ДНК-БИОДАТЧИКОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ И БИОТЕХНОЛОГИЯХ Евдокимов Ю. М., Компанец О.Н. Институт молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН, Институт спектроскопии РАН.....	20
РАЗРАБОТКИ ИАиЭ СО РАН ПО ТЕХНОЛОГИЯМ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ, ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ И ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ Корольков В.П. ИАиЭ СО РАН	22
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ Корольков В.А., Богушевич А.Я., Тельминов А.Е. ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН».....	24
РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ГЕОСФЕРНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ Долгих Г.И. ТОИ ДВО РАН.....	27
О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В УДМУРТСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ЦЕНТРЕ Альес М.Ю. ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН.....	30
РАЗРАБОТКИ КТИ НП СО РАН ДЛЯ НАУЧНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ Завьялов П.С., Верхогляд А.Г., Чугуй Ю.В. КТИ НП СО РАН, НГУ, НГТУ.....	33
ПРОЕКТЫ ПОЛНОГО ЦИКЛА В НАУЧНОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ. ПРИМЕРЫ. ПРОБЛЕМЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ Курочкин В.Е., Бородин В.А., Алексеев Я.И. ФГБУН ИАП РАН, ФГУП ЭЗАН, ООО «НПФ Синтол», ФГБНУ ВНИИСБ	36
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТОНКОСТЕННЫХ ОБРАЗЦОВ Якупов С.Н., Гиниятуллин Р.Р., Якупов Н.М. ИММ ФИЦ КазНЦ РАН.....	39
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ Агафонов О.С., Прудников С.М., Викторова Е.П. ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия»	42
КОМПАКТНОЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО СБОРА И ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ Алешин И.М., Гетманов В.Г., Груднев А.А., Добровольский М.Н., Иванов С.Д., Корягин В.Н., Красноперов Р.И., Кудин Д.В., Передерин Ф.В., Соловьев А.А., Холодков К.И. Геофизический центр РАН, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.....	45
СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	

Алешин С.В., Курицын А.В., Новиков Д.О., Луцевский С.С. ООО «НТП «Технософт-М», ФГУП ЭЗАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана	47
СКАНИРУЮЩИЙ СПЕКТРОМЕТР МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНФОКАЛЬНО-ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА Анисимов А.Н., Бабунц Р.А., Солтамов В.А., Баранов П.Г. ФТИ им. А.Ф. Иоффе	50
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЗОНДОВАЯ СТАНЦИЯ PROBESTATION ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ Сизов А., Анисимов Д.С., Труль А., Агина Е.В. ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, ООО «Технологии печатной электроники».....	53
ЛАБОРАТОРНАЯ ПЕЧЬ С КВАРЦЕВЫМ РЕАКТОРОМ Ахмедов И.Р., Гафуров М.М., Какагасанов М.Г. ДНЦ РАН.....	56
РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙКИ ЭПР/ОДМР СПЕКТРОМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА Бабунц Р.А., Бадалян А.Г., Баранов П.Г., Гурин А.С., Единач Е.В., Романов Н.Г., Успенская Ю.А. ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН	59
МОБИЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТР МПЛС-2 – ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ И ПРОВЕДЕНИЯ ТРАССЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ Галаяутдинов М.Ф., Герасимов К.И., Курбатова Н.В., Судаков В.А., Багманов И.И. КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, К(П)ФУ, НОЦ ТРИЗ	62
АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ АВИАКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ Барулина М.А., Голиков А.В., Маркелова О.В. Институт проблем точной механики и управления РАН.....	65
СОЗДАНИЕ ФОТОПРИЕМНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СЛОЕВ GE:SB И SI:TI НА ВИДИМУЮ И БЛИЖНЮЮ ИК-ОБЛАСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ Баталов Р.И., Баязитов Р.М., Файзрахманов И.А., Гумаров А.И. Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», Казанский федеральный университет	68
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ ДАТЧИКА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ Баязитов А.А., Фаттахов Я.В., Хундиряков В.Е. Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского– обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Федеральный исследовательский центр “Казанский научный центр Российской академии наук”, ФГФУВО Казанский (Приволжский) федеральный университет	70
СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЗНОВЫСОТНОСТИ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕССОРА В ПРОЦЕССЕ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ШЛИФОВКИ Боровик С.Ю., Секисов Ю.Н. ИПУСС РАН	73
ДАЛЬНЕПОЛЕВАЯ ТЕМНОПОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ ОДИНОЧНЫХ ПРОЗРАЧНЫХ НАНОБЪЕКТОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ Вайнер Ю.Г., Крашенинников В.Н., Зыбин А.В., Малек А.В. ФГБУН ИСАН, Leibniz Institute für Analytische Wissenschaften, ISAS, НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова	75
МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСИРОВКИ РЕЗОНАТОРА ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА ПО РАЗНОЧАСТОТНОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Вахлярский Д.С., Гуськов А.М., Басараб М.А., Романов А.В. АО «ОКБ «ГИДРОПРЕСС», МГТУ им. Н.Э. Баумана.....	77
ФАБРИКА БУДУЩЕГО ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВУ КАСТОМИЗИРОВАННОЙ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ НАУЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Бородин А.В., Бородин В.А., Веретенников А.В., Котов С.В., Кузьмин Д.Н., Новиков Д.О. ФГУП ЭЗАН.....	80

УСТАНОВКА ХЛОРИД-ГИДРИДНОЙ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛОЕВ НИТРИДА ГАЛЛИЯ Вороненков В.В., Бочкарева Н.И., Вирко М.В., Горбунов Р.И., Зубрилов А.С., Коготков В.С., Латышев Ф.Е., Леликов Ю.С., Леонидов А.А., Шретер Ю.Г. ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, АО «ТРИНИТРИ», ФГАОУ ВО СПбПУ	83
АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ Вошкин А.А., Заходяева Ю.А., Градов О.М. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук	85
РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРЫ: РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ Гайский В.А., Гайский П.В. Институт природно-технических систем (ИПТС), Центр автоматизации морских исследований (ЦАМИ)	87
ИЗМЕРИТЕЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ОСНОВЕ УФ СВЕТОДИОДОВ Гейко П.П., Петров Д.В. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Национальный исследовательский Томский государственный университет	90
ПОРТАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А Герасюк В.С., Поважный В.В., Пляка П.С., Юрасов Ю.И. Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт	93
РАЗВИТИЕ ЛИНЕЙКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПАНОРАМНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОТОКОВ В НАУЧНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ Гобызов О.А., Бильский А.В., Дулин В.М., Токарев М.П., Маркович Д.М. Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН	96
АППАРАТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА Кислов К.В., Гравиров В.В., Лиходеев Д.В., Котов А.Н. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)	99
ПРЕЦИЗИОННАЯ АВТОНОМНАЯ МОДУЛЬНАЯ 24-Х РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА СБОРА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ Гравиров В.В., Кислов К.В., Лиходеев Д.В., Нумалов А.С. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)	102
ПРЕЦИЗИОННЫЕ УЗКОДИАПАЗОННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ Лиходеев Д.В., Гравиров В.В., Кислов К.В., Долов С.М. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН)	105
КОМПАКТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ БИОСЕНСОРНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ Верещагин Ф.В., Гусев В.М., Компанец О.Н., Павлов М.А., Чулков Д.П., Евдокимов Ю.М., Скуридин С.Г. ФГБУН Институт спектроскопии РАН, ФГУП «РМП «Медтехника», ФГБУН Институт молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН	108
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВТМО ВИНТОВОГО ОБЖАТИЯ Маслов М. Л., Дементьев В.Б., Коршунов А.И., д.т.н. ФГУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».....	111
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР ДЛЯ ТОКСИКОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАСТ-1 Доманский В.Л., Собакин И.А., Кошелев С.М. ФГБУН Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН	114

АППАРАТ АМИС-8 ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОТ ВИРУСОВ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА САДОВЫХ КУЛЬТУР Донецких В.И., Упадышев М.Т. ФГБНУ ВСТИСП.....	116
ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ В ПОТОКАХ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ТРАССЕРОВ Душин Н.С., Михеев Н.И., Саушин И.И. ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН.....	119
ПРОСТОЙ ДАТЧИК МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ Завалишин В.А. ИФМ УрО РАН.....	122
СТРУКТУРОСКОПЫ И АНИЗОМЕТРЫ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ Захаров В.А., Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН.....	125
НОВЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ Кадиров М.К., Будникова Ю.Г., Карасик А.А., Синяшин О.Г. ИОФХ им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН.....	127
РЭМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ТОПОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СТРУКТУР С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМОЙ ДО 45 НМ Казмирук В.В., Курганов И.Г., Подкопаев А.А., Савицкая Т.Н., Бородин А.В., Веретенников А.В., Кузьмин М.Н. ФГБУН ИПТМ РАН, ФГУП ЭЗАН.....	130
ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ ДЛЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА Казначеев П. А., Камшилин А. Н. ИФЗ РАН.....	133
УНИКАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ УСТАНОВКИ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОФИЗИКИ УРО РАН Кайгородов А.С. Институт электрофизики УрО РАН.....	136
КАЛИБРОВКА (РЕГРЕССИЯ) СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРИГЛИЦЕРИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ПРОДУКТАХ И СЫВОРОТКЕ КРОВИ Калинин А. В., Титов В.Н. Институт спектроскопии РАН, Российский кардиологический научно-производственный комплекс Минздрава..	138
ПОРТАТИВНЫЙ ПРОТОННЫЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЛАКСОМЕТР В СОСТАВЕ ПРОТОЧНОГО ПРОТОННОГО МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО АНАЛИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ НЕФТИ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ Кашаев Р.С., Козелков О. В. Казанский государственный энергетический университет ФГБОУ ВО «КГЭУ»	141
СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ АППАРАТУРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН Киргизов Д.И. ООО «ТНГ-Групп»	144
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА Кобзев А.А., Корольков В. А., Кураков С.А., Пустовалов К.Н., Тельминов А. Е., Тихомиров А. А. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН	147
ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ОСАДКОМЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И МИКРОСТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ Кальчихин В.В., Кобзев А.А., Корольков В.А. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН	150
ПРИЕМНИКИ С ТОЧНОЙ ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ULF / ELF / VLF ДИАПАЗОНАХ Козелов Б. В., Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Филатов М. В., Лебедь О. М., Федоренко Ю.В. ФГБНУ «Полярный геофизический институт»	153
ПРИБОРЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПОЛЯРНОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ	

Козелов Б. В., Ролдугин А. В., Пильгаев С. В. ФГБНУ «Полярный геофизический институт»	155
РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ В АТМОСФЕРЕ, ВЫБРАСЫВАЕМОЙ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЯТЦ Колотков Г.А. Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.....	157
ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ РЕГИСТРАТОРОВ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ Колясев В.А., Молин С.М. ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН.....	160
ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ Воробьев Н.С., Горностаев П.Б., Заровский А.И., Комельков А.С., Мешков О.И., Смирнов А.В., Шашков Е.В. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН	163
МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТОВОЛОКНО ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРФОРАЦИИ БИОТКАНЕЙ Кортунов В.Н., Дмитриев А.К., Коновалов А.Н., Ульянов В.А. ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН	165
ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ ПРИЁМНЫЙ МОДУЛЬ СО ВСТРОЕННОЙ АНТЕННОЙ НА ДИАПАЗОН ЧАСТОТ 66-67 ГГц ДЛЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ 5G Крапухин Д.В.; Гнатюк Д.Л.; Зуев А.В., Мальцев П.П., Матвеев О.С., Федоров Ю.В. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН), ООО «Новэлком»	168
МОЩНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С. Институт климатических и экологических систем СО РАН / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники	171
СОДАРЫ ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ Красненко Н.П. Институт климатических и экологических систем СО РАН, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники	174
ОПТОВОЛОКОННЫЙ СПЕКТРОГРАФ ВЫСОКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ Валявин Г.Г., Кудрявцев Д.О. САО РАН.....	177
РАЗРАБОТКА МАСС-СПЕКТРОМЕТРА МТИ-350ТМ – ПРИМЕР СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Кузьмин Д.Н., Галль Л.Н., Малеев А.Б., Сапрыгин А.В. ФГУП ЭЗАН, Институт аналитического приборостроения РАН, ООО "АНК-сервис"	180
ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ «ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, СТРОЕНИЕ, СТРУКТУРА – ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ» Ломовской В.А. ИФХЭ РАН.....	183
ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «АТМОСФЕРА» Белан Б.Д., Пташник И. В., Панченко М. В., Землянов А. А., Бобровников С. М., Пономарев Ю. Н., Луговской А.А. ЦКП «Атмосфера», ИОА СО РАН.....	186
РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ В СХЕМЕ ПОЛНОГО ВНЕШНЕГО ОТРАЖЕНИЯ С ВОЛНОВОДОМ – РЕЗОНАТОРОМ (РФА ПВОВР). ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ Лукьянченко Е.М., Егоров В.К., Руденко В.Н., Егоров Е.В., Когновицкий С.О., Фурсей Г.Н., Самонин В.В., Архипов М.В. ООО «Полюс», ИПТМ РАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе, СПбУТК им. М.А.Бонч – Бруевича, СПбГТИ(ТУ), ФГБНУ АФИ	188
РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ АТОМНО-ЗОНДОВОЙ ТОМОГРАФИИ В ИТЭФ Лукьянчук А. А., Разницын О. А., Шутов А. С., Алеев А. А., Никитин А. А., Рогожкин С. В. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».....	191

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ УЧРЕЖДЕНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ: АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ СЕКТОРА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
Лущекина Е.В.	
Институт проблем развития науки российской академии наук	194
ЛАЗЕРНОЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПЕРИКАРДИАЛЬНОЙ ТКАНИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРДИОПРОТЕЗОВ	
Майоров А.П., Гончаренко А.М., Бордзиловский Д.С., Журавлева И.Ю., Кузнецова Е.В.	
ИЛФ СО РАН, ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России	197
ПОРТАТИВНЫЙ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА ВЫДЫХАЕМОГО ЧЕЛОВЕКОМ ВОЗДУХА	
Балдин М.Н., Грузнов В.М., Малышева А.О., Науменко И.И.	
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирский государственный технический университет.....	200
ТАНДЕМНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ МАСС – РЕФЛЕКТРОН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ	
Медакин П. О., Шеин А. Г., Потапов А. М.	
Волгоградский государственный технический университет, Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН	203
ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДИССЕТОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУЧКОВ ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ	
Воробьев Н.С., Горностаев П.Б., Заровский А.И., Комельков А.С., Мешков О.И., Смирнов А.В., Шашков Е.В., Дорохов В. Л., Решетов Д. Ф., Борин В. М.	
Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН	205
РАЗРАБОТКА ДОПЛЕРОВСКОГО СТЕРЕОМОНИТОРА ПЛОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО КРОВОТОКА	
Миловидов Г.Д., Казанцев А.П., Сенин А.А.	
ФГБУН Институт биологического приборостроения с опытным производством РАН, ФГБОУ ВО Пущинский государственный естественно-научный институт	207
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ	
Минаев И.С., Казанцев А.П., Сенин А.А., Минаев Н.С., Субботина Л.М.	
ФГБУН Институт биологического приборостроения с опытным производством РАН, ФГБОУ ВО Пущинский государственный естественно-научный институт	210
КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ В МИТОХОНДРИЯХ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК	
Моисеева С. П., Котельников Г. В., Грабельных О.И., Побежимова Т. П., Войников В.К.	
ИБП РАН, СИФИБР СО РАН.....	213
ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА УДМФИЦ УРО РАН	
Молин С.М.	
ФГБУН УдмФИЦ Уро РАН.....	216
СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОМЕТЕОДАНЫХ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ И РЕКЕ ДОН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА	
Московец А.Ю., Валов Г.В., Висягина Е.В., Юрасов Ю.И.	
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Институт наук о земле ЮФУ	219
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА	
Мохаммед Кхалиль Султан Абдулла	
КНИТУ им. А.Н. Туполева	222
ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА	
Никитин А.К., Герасимов В.В., Хасанов И.Ш.	
Научно-технологический центр уникального приборостроения (НТИЦ УП) РАН, Институт ядерной физики им.Г.И. Будкера СО РАН	225
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМПАНИИ «СКАЛАР», КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО	

ПРОИЗВОДСТВА, АГРОХИМИЧЕСКИХ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ Носиков В.В., Литвинский В.А. Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова	228
ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ В ИНТЕРЕСАХ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК Олейников А.М., Усачев В.В. Институт природно-технических систем РАН, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» ...	230
МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПОГРУЖАЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ И ОТЛАДКИ НОВЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ Оленин А.Л. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.....	233
ИТТЕРБИЕВЫЙ БОРТОВОЙ ИОННЫЙ СТАНДАРТ (ПРОЕКТ «ИБИС») Пахомов А.Ю., Хабарова К.Ю., Семериков И.А., Колачевский Н.Н. ФГБУН ФИАН	235
ГАЗОАНАЛИЗАТОР ОСНОВАННЫЙ НА СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯННОГО СВЕТА Петров Д.В., Матросов И.И., Зарипов А.Р. ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.....	237
АВТОНОМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ Пляка П. С., Валов Г. В., Герасюк В.С. ЮНЦ РАН	240
СОВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ НТЦ УП РАН Балашов А.А., Булатов М.Ф., Пожар В.Э. Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН)	243
ЦИФРОВОЙ ПОЛЯРИМЕТР-САХАРИМЕТР АП-05М Пеньковский А.И., Путилина Е. Ю., Верещагин В.И. АО «Швабе – Технологическая лаборатория».....	246
ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ НА АТОМНО-ЗОНДОВОМ ТОМОГРАФЕ ПАЗЛ-3D Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В. Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»	249
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ <i>IN VIVO</i> Разницына И.А., Тарасов А.П., Рогаткин Д.А. НИЯУ МИФИ, Московский Областной Научно-Исследовательский Клинический Институт	251
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ МАСС-СПЕКТРОВ ВЫДЫХАЕМЫХ ГАЗОВ Манойлов В.В., Самсонова Н.С., Кузьмин А.Г., Титов Ю.А., Заруцкий И.В., Курбонов Ф.С. ИАП РАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Университет ИТМО	254
КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА, В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДАМИ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ Сараев Ю.Н., Лунев А.Г., Киселев А.С., Гордынец А.С., Тригуб М.В. Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Национальный исследовательский Томский политехнический институт, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.....	257
ОПТИЧЕСКИЕ И РЕНТГЕНОВСКИЕ ПРИБОРЫ ПРОИЗВОДСТВА АО «НАУЧНЫЕ ПРИБОРЫ» Елохин В.А., Готлиб В.А., Николаев В.И., Сатаров А.Г. АО «Научные приборы»	260
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЙ ДАТЧИК КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ Светличный Д.А., Пляка П.С., Саяпин Ю.А. Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук	262
МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ НАЗЕМНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАЗРЫВОМ ПЛАСТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	

Хисамов Р. С., Селезнев В. С., Лисейкин А. В. ПАО «Татнефть», ФИЦ ЕГС РАН, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН	265
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ НА РЕКАХ Селезнев В.С, Соловьев В.М., Лисейкин А.В., Бабушкин С.М. ФИЦ ЕГС РАН, АСФ ФИЦ ЕГС РАН, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН.....	268
ПРОТОТИП ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ С МАГНИТНЫМ ПОВОРОТОМ ПУЧКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Алякринский О.Н., Батазова М.А., Болховитянов Д.Ю., Косачев М.Ю., Логачев П.В., Медведев А.М., Семенов Ю.И., Сизов М.М., Старостенко А.А., Цыганов А.С. ФГБУН ИЯФ СО РАН, ФГАОУВО НГУ	271
ПРОТОТИП ИСТОЧНИКА ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ С ЛАЗЕРНЫМ ПОДОГРЕВОМ КАТОДА Алякринский О.Н., Губин К.В., Косачев М.Ю., Купер Э.А., Логачев П.В., Медведев А.М., Овчар В.К., Репков В.В., Семенов Ю.И., Сизов М.М., Старостенко А.А., Цыганов А.С., Федотов М.Г. ФГБУН ИЯФ СО РАН, ФГАОУВО НГУ, ФГБУН ИЛФ СО РАН.....	274
СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ НА ЛИНЕЙНЫХ ПЗС И СПЕКТРОМЕТРЫ С ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Силькис Э.Г., Станкевич А.С., Крашенинников В.Н. Институт спектроскопии РАН (ИСАН), ООО «МОРС»	277
МИКРОЧИПОВЫЙ СИНТЕЗАТОР ДНК Синяков А.Н., Бессмельцев В.П., Камаев Г.С. Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Институт автоматки и электрометрии СО РАН, Институт физики полупроводников СО РАН.....	280
ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ «СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР БИОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА» ДЛЯ ОЦЕНКИ АДАПТАбельНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ Шабанов Г.А., Рыбченко А.А., Лебедев Ю.А., Припатинская Е.А., Смоленский Е. В., Короченцев В.И., Крыжановский С.П., Фейгин С.А., Мищенко В.В., Журавель Г.М. Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет, Медицинское объединение ДВО РАН, Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И.Кулакова.....	283
МОБИЛЬНЫЙ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ Сташков А.Н., Ничипурук А.П., Щапова Е.А. Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина	286
ПЛАНШЕТНЫЙ СКАНЕР МАГНИТНОГО ПОЛЯ С НЕПОДВИЖНЫМ СЕНСОРОМ Темников А. Н. Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет	289
ОПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И НАГРЕВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ СВЕТОВОМ ОТЖИГЕ Фаррахов Б.Ф., Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф. КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН	292
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЁМНОЙ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ Фахрутдинов А.Р., Фаттахов Я.В., Шагалов В.А., Хабилов Р.Ш., Баязитов А.А. КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН	295
ЭКСПРЕССНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ДИСПЕРСИИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ Пеньковский А.И., Фаттахова М.В. АО «Швабе – Технологическая лаборатория»	297
СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ПОРТАТИВНОГО ПРИБОРА-АНАЛИЗАТОРА МОЧЕВИНЫ И/ИЛИ КРЕАТИНИНА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО ФЕРМЕНТНОГО БИОЧИПА ДЛЯ АНАЛИЗОВ КРОВИ И МОЧИ Фомкина М.Г. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук	300
ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР С ЛАЗЕРНЫМ МОДУЛЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕАКЦИОННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ВЭЖХ	

Хабаров В.Б., Львов А.И., Хабаров М.В., Буряк А.К. Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, НИОКО «Биоэкомониторинг»	303
РАТАН-600: РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИЕМНИКИ ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ Цыбулёв П. Г., Нижельский Н.А. Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз	306
КОМПЕНСАЦИОННЫЙ СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ ЭФФЕКТА КЕРРА НА ОСНОВЕ МОДУЛИРУЮЩЕЙ ЯЧЕЙКИ ФАРАДЕЯ Чирков В.В., Гумаров Г.Г., Коновалов Д.А., Петухов В.Ю., Матухин В.Л. КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, ФГБОУ ВО «КГЭУ»	309
РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ЭПИТЕЛИО-МЕЗЕНХИМАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КЛЕТОК <i>IN VITRO</i> В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СИГНАЛА Шкурников М. Ю., Киндеева О.В., Полозников А.А., Алексеев Б.Я. МНИОИ им. П. А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)», ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России	312
РАЗВИТИЕ И АДАПТАЦИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ АТОМНО-ЗОНДОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО В ИТЭФ ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ ПАЗЛ-3Д Шутов А. С., Лукьянчук А.А., Разницын О.А., Алеев А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»	315
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТЕПЛООВОГО УЗЛА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ САПФИРА И РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЕГО ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ Бородин А.В., Юдин М.В., Белов Д.Ю., Искоростинская В.Е., Мошаров Т.А. ФГУП ЭЗАН	318
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Юрасов Ю.И., Назаренко А.В. Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, Научно-исследовательский институт физики ЮФУ	321
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТРАСТНЫХ АГЕНТОВ В НИЗКОПОЛЕВОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОМ ТОМОГРАФЕ «ТМР-0.06-КФТИ» Залялютдинова Л.Н., Фаттахов Я.В., Фазлиахметова Д.А., Баязитов А.А., Крылатых Н.А., Иманаева А.Я., Петрова А.А. Казанский ГМУ, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, РККВД, АО «Татхимфармпрепараты», ГАУЗ МКДЦ	324
ОБЛАЧНАЯ БАЗА ДАННЫХ ХРАНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ Хабилов Р.Ш. Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН	326
РАЗРАБОТКА АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ И КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ Латыпов И.З., Шкалик А.В., Воронов В.И., Турайханов Д.А., Акатьев Д.О., Калачев А.А. КФТИ им. Е.К. Завойского, ФИЦ КазНЦ РАН, КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева	329
СКВАЖИННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА Коновалов Д.А., Фаттахов Я.В., Фахрутдинов А.Р., Шагалов В.А., Хабилов Р.Ш., Аникин А.Н. ФИЦ КазНЦ РАН, КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН	331

ПРИБОРЫ НА ОСНОВЕ АКУСТООПТИКИ (АО)

*Пустовойт В.И., академик РАН, научный руководитель НТЦ УП РАН
117342 Москва, ул. Бутлерова, 15
(495)333 61-02, np@ntcup.ru, http://www.ntcup.ru*

INSTRUMENTS BASED ON ACOUSTO-OPTICS (AO)

Pustovoi V.I.

Аннотация

Рассмотрены физические основы АО приборов, их преимущества по сравнению с традиционными, проведено сравнение достигнутого уровня АО приборостроения в России и в мире, указаны наиболее значимые области применения и обсуждены пути развития этого направления в России. Особый интерес представляют разработки по созданию адаптивных АО систем видения и распознавания объектов, не имеющих аналогов (кроме живой природы). Сформулированы направления развития АО приборостроения на базе достигнутого уровня, отмечены проблемы и указаны пути их преодоления.

Ключевые слова

Акустооптика, спектрометры, приборы, адаптивные системы видения.

1. В основе АО приборов лежит явление дифракции светового излучения на акустических волнах, распространяющихся в кристалле, которые изменяют показатель преломления среды. У истоков этого направления были многие советские ученые, но наибольшее развитие - это направление получило после создания лазеров и исследования явлений дифракции света на акустических волнах в анизотропных кристаллах. Понимание физики явления и создание технологии эффективного возбуждения звуковых волн в кристаллах позволило перейти к созданию большого семейства АО приборов различного назначения[1].

2. Сегодня АО приборы способны: измерить спектральное распределение оптического излучения, осуществить пространственное управление направлением распространения лазерного луча, изменить частоту лазерного сигнала, переадресовать (переключить) информационный поток в волокне с одного направления на произвольно выбранный другой, сжать во времени частотно модулированный световой импульс, получить изображение цветного объекта в произвольно выбранном спектральном интервале, осуществить адаптивные режимы спектральных измерений источников, рассеивателей излучения или цветных объектов, причем, и это важно, алгоритмы измерений или выборки могут меняться в самом процессе измерений. АО приборы и устройства сегодня могут работать в весьма жестких условиях космоса, при высоких температурах, больших уровнях вибрации и т.п. Созданные специализированные портативные спектрометры, измеряющие, рамановское рассеяние от возбуждающего среду лазерного излучения, позволяют определить структуру и качество кристалла (например, алмаза), а некоторых случаях, даже изотопный состав. Последнее оказывается весьма важным для ряда применений[1,2].

Оптический диапазон АО приборов охватывает область длин волн от ультрафиолетового излучения до ИК, а с развитием технологии метаматериалов, может достигнуть области терра герц.

3. АО приборы по сравнению с существующими, основанных на традиционных оптических принципах, обладают целым рядом преимуществ: большой светосилой и высоким отношением сигнал/шум, отсутствием механически движущихся частей, у них малые габариты и небольшие массы. Среди созданных приборов на основе АО необходимо отметить следующие.

3.1. Космические поляризационные спектрометры «Трассер» и «Трассер-0» видимого диапазона для исследования подстилающей поверхности Земли, которые с 1987 по 1992гг. эксплуатировались на КА «Космос-1500» и «Океан-0» и пока не имеет аналогов. Одновременно были созданы их авиационные и судовые аналоги, которые обеспечивали методики подспутниковых измерений и получение независимой информации о загрязнении различных водных акваторий и отработки методики учета влияния атмосферы на измерения. В испытаниях активно участвовали также ученые Морского Гидрофизического института города Севастополя. (Авторы разработки: Ф.Л.Визен, В.Н.Жогун, Ю.К.Калинников, М.М.Мазур, В.И.Пустовойт, В.Н.Шорин, ВНИИФТРИ). Эти работы не оказались незамеченными за рубежом[3].

3.2. Лабораторные АО спектрометры ультрафиолетового, видимого и ближнего ИК диапазонов на основе кристаллов кварца, парателлурита, молибдата свинца. Основное назначение этих приборов – это проведение научных исследований, многие спектрометры были переданы в институты РАН и др. учреждения. Существенно, что при создании этих приборов одновременно были решены и отработаны многие инженерно-технические вопросы: модульный подход к разработке всей электроники, созданы алгоритмы управления и измерения, созданы программы и способы отображения информации. Это семейство АО спектрометров были разработаны и созданы совместно учеными НТЦ УП РАН и ВНИИФТРИ (В.Н.Жогун, М.М.Мазур, В.И.Пустовойт, В.Н.Шорин), см. [4-6].

3.3. Спектрометры с резкой фазовой модуляцией звуковой волны. Это оригинальная идея, положенная в основу алгоритма измерений спектрального распределения излучения объекта, позволила значительно поднять точность спектральных измерений для объектов, имеющих малые изменения спектральной яркости. На основе этого метода измерений

разрабатываются в настоящее время новые, более точные алгоритмы спектральных измерений. (Разработчики: М.М. Мазур, В.И. Пустовойт, В.Н. Тимошенко, В.Н. Шорин [7]).

3.4. Портативные спектрометры для измерения рамановского рассеяния [2]. Для исследования кристаллов и биологических объектов весьма востребованными оказались именно портативные рамановские спектрометры, позволяющие по характеру рассеяния судить о структуре исследуемого образца его фонных спектров возбуждения, затухание колебаний, изотопного состава (для легких ядер с атомным номером до 14 а.е.). Важно, что этого типа АО спектрометров по результатам исследований были предложены двух кристальные схемы АО фильтрации рассеянного излучения, которые обладают значительно большим контрастом, т.е. степенью подавлением интенсивности излучения за пределами полосы пропускания АО фильтра. (Разработчики: М.М. Мазур, В.И. Пустовойт, В.Н. Шорин).

3.5. Оригинальные двухкристальные АО системы видения [6-8], обладающие значительно сниженными пространственными и хроматическими абберациями были использованы при создании АО микровидеоисследователя. Система позволяет анализировать изображение микрообъекта, освещаемого белым светом, выделив изображение в произвольно выбранном спектральном интервале 20-50 Ангстрем, а затем произвести анализ одного или нескольких изображений предмета, с использованием определенного алгоритма. Это позволяет увидеть и выделить определенные особенности объекта, несущих нужную информацию. (Разработчики: М.М. Мазур, В.И. Пустовойт, Ю.А. Судденко, В.Н. Шорин).

4. Направления исследований, которые, по мнению автора, представляют интерес для развития АО приборостроения, это следующие.

4.1. Создание технологии получения метаматериалов с высокими акустооптическими свойствами [9]. Известно, что имеется большой выбор метаматериалов типа керамик, которые обладают большим значением диэлектрической проницаемости. Это свойство широко используется при производстве компактных конденсаторов большой емкости. Очевидно, что подобные материалы должны обладать свойством изменения диэлектрической проницаемости под действием упругой деформации, именно это и означает, что у них большое акустооптическое качество. Поиск и исследование таких материалов может существенно продвинуть АО приборы в область терагерцовой техники.

4.2. Разработка новых программируемых и адаптивных алгоритмов измерений, использующих в полной мере возможности акустооптики: электронного управления инструментальной функцией АО устройства, в частности, новых методов модуляции, повышающих точность измерений и улучшающих отношение сигнал/шум [10,11].

4.3. Исследование явлений дифракции «назад» на высокочастотной звуковой волне для создания зеркал с высоким коэффициентом отражения. Это сильно востребованное направление в лазерной технике [10-13].

Для развития АО приборостроения очень важно, чтобы появилась востребованность в этих приборах, и, конечно, как это делается во многих странах мира, государственная поддержка. Тогда есть надежда, что в будущем будет создана АО подотрасль промышленности.

Литература

1. В.И. Пустовойт. Избранные труды, изд. «Наука» 2014г. Раздел III.
2. Neelam Gupta, Vladislav Pustovoyt . "Portable Acousto-Optical Spectrometers", Патент US20070041075A1 from 18 August 2005.
3. H.J. Kramer. "Observation of the Earth and Its Environments: Survey of Missions and Sensor", 4th edition, Springer, 2002.,p.1233.
4. V.I. Pustovoyt. "Special case of light collinear diffraction on sound waves in crystals", *Optical Memory and Neuron Networks*. **13**, 4, (2004).
5. V.I. Pustovoyt, V.V. Tymoshenko. "Acoustooptical filter with controlled bandwidth". *Radioengineering and electronics*, , v.43, issue 4, p .461-468. (1998)
6. М.М. Мазур, Ю.А. Судденко, В.Н. Шорин. "Двойной акустооптический монохроматор изображений с перестраиваемой шириной аппаратной функции". *Письма в ЖТФ*, том 40, вып. 4 от 26 февраля 2014
7. М.М. Мазур, Л.И. Мазур, В.И. Пустовойт, Ю.А. Судденко, В.Н. Шорин. "High-speed two-crystal acoustooptic monochromator". *JTF*, 2017, v.87, issue.9, p.1399-1402
8. Мазур М.М., Пустовойт В.И. «Неколлинеарный акустооптический Фильтр», Патент на изобретение № 2388030 от 27 апреля 2010 г.
9. V.I. Pustovoyt. "Acousto-optical properties of metamaterials" , *Quantum Electronics*, 46, N 2 ,155-158. (2016):
10. V.I. Pustovoyt. "Theory of acoustooptical filter with controlled bandwidth", *Физические основы приборостроения*. (в печати), 2018.
11. М.М. Мазур, В.И. Пустовойт, Ю. Судденко, В.Н. Шорин. "Акустооптический монохроматор с управляемой шириной аппаратной функции", *Физические основы приборостроения*. (в печати) 2018.
12. А.М. Афанасьев, Ю.В. Гуляев, В.И. Пустовойт. "Destructive macrointerference as a method of increasing the spectral resolution of diffraction filters". *Radioengineering and electronics*, 2004, v.49, №12, p.1526-
13. N.I. Petrov, V.I. Pustovoyt. "Acousto-optical resonator with ultra-narrow bandwidth", *Laser Physics Letters*, v. 14, 115702, 2017.

**О ПРОГРАММЕ РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЯХ,
ПОДВЕДОМСТВЕННЫХ ФАНО РОССИИ НА 2018-2020 ГОДЫ**

*Бородин А.В., д.т.н., руководитель Проектного офиса ФГУП ЭЗАН при ФАНО России,
Бородин В.А., чл.-корр. РАН, зам. председателя Совета по научному приборостроению ФАНО России,
Веретенников А.В., к.ф.-м.н. руководитель инженерингового центра,
Кузьмин Д.Н., к.т.н., нач. КБ аналитического приборостроения,
Новиков Д.О., к.т.н. нач. Бюро перспективных проектов.
ФГУП ЭЗАН, <http://www.ezan.ac.ru/>, 142432, Московская область, г. Черноголовка,
проспект Академика Семенова, д. 9. Тел. (495) 993-61-20, e-mail: bor@ezan.ac.ru*

**THE PROGRAM OF DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS AND EQUIPMENT
INFEDERAL AGENCY FOR SCIENTIFIC ORGANIZATIONS FOR THE PERIOD OF 2018-2020**

Borodin A.V., Borodin V.A., Veretennikov A.V., Kuzmin D.N., Novikov D.O.

Annotation

The article presents the main characteristics of the Program of development of scientific instruments and equipment in FASO for the period of 2018-2020.

The projects included in the Program on the basis of the decision of the experts, are grouped into six main application fields of scientific instruments and are aimed at design instrument and equipment prototypes, as well as organization of small-scale or serial production. The Program includes 295 projects from 84 organizations.

Keywords

Scientific instrumentation design and production, goals and objectives of the Program, performance indicators, import substitution, prototypes of instruments and equipment, small-scale and serial production.

Аннотация

В статье представлены основные характеристики Программы развития научного приборостроения, в организациях подведомственных ФАНО России, на 2018-2020 годы. Проекты, вошедшие в программу на основании решения экспертов рабочих групп, систематизированы по шести основным направлениям научного приборостроения, и ставят своей целью создание опытных образцов приборов и оборудования, организации их мелкосерийного или серийного производства. Программа содержит 295 проектов от 84 организаций.

Ключевые слова

Научное приборостроение, цели и задачи Программы, показатели эффективности, импортозамещение, опытные образцы приборов и оборудования, мелкосерийное и серийное производство.

Введение

Программа подготовлена по решению научно-практической конференции «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития», проходившей 15-16 ноября 2016 г. в Москве. Основной целью Программы является создание и производство конкурентоспособных приборов, оборудования для проведения фундаментальных и прикладных исследований, для промышленности, медицины и сельского хозяйства; создание и производство новых приборов и оборудования, соответствующих передовым достижениям мирового научного приборостроения. Основными задачами Программы являются импортозамещение приборов и оборудования, необходимых для выполнения работ по приоритетным научным направлениям; увеличение доли приборов, оборудования и услуг, которые поставляют и оказывают друг другу институты и организации, подведомственные ФАНО России; увеличение продаж приборов, оборудования, программного обеспечения и услуг на внутреннем и внешнем рынках; реализация проектов в рамках Национальной технологической инициативы (НТИ). В настоящей статье рассматриваются принципы построения Программы, ее основные показатели и дается оценка состояния приборостроительного комплекса ФАНО России.

Принципы отбора проектов Программы и механизмы ее реализации

Программа разрабатывалась на общественных началах согласно следующим принципам: добровольное участие организаций в Программе, отсутствие целевого финансирования Программы, требование конкретных результатов предлагаемых проектов (создание как минимум опытного образца конкретного прибора, оборудования, технологии или программного обеспечения), самостоятельное определение потребности и источников финансовых ресурсов. Принцип добровольного участия с одной стороны не позволяет охватить в Программе всю деятельность организаций в области научного приборостроения, а с другой – вместе с принципом самофинансирования представленных проектов отражает нацеленность большинства проектов на конечный результат. При подготовке Программы особое внимание уделялось научно-техническому заданию рассматриваемого проекта, компетенции исполнителей, наличию действующего макетного образца. В Программу включены проекты, которые ставили своей целью создание опытного образца прибора или оборудования, либо организацию мелкосерийного и серийного выпуска приборов и оборудования, а также разработку технологии/методики /программного обеспечения для прибора или оборудования. Для этого применялись следующие критерии:

- востребованность продукта рынком и научными организациями, его конкурентоспособность или уникальные качества, необходимые для решения важных научных и технических задач (например, уникальные стенды, уникальные системы измерения и контроля);
- возможность заявителя и его партнеров реализовать проект, достичь указанных характеристик в рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) или подготовить продукт для мелкосерийного и серийного производства;
- возможность использования результатов разработки для последующего тиражирования и продаж;
- создание принципиально новой продукции, потенциально способной создать новую нишу на рынке.

В итоге Программа сформирована как совокупность конкретных проектов, по которым уже имеется научно-технический задел и которые сгруппированы по шести крупным направлениям научного приборостроения:

1. Оборудование для процессов обработки и превращения веществ и материалов;
2. Приборы и оборудование для изучения и измерения свойств веществ и материалов;
3. Приборы и оборудование для исследования структуры и состава веществ и материалов;
4. Оборудование специализированное и уникальное;
5. Аппаратура и программное обеспечение для информационных технологий;
6. Приборы и оборудование для наук о жизни.

Члены Совета по научному приборостроению и Проектный офис осуществляют контроль реализации проектов Программы, содействуют решению научных, технических и организационных проблем, способствуют коммерциализации результатов проектов. Предполагается взаимодействие ФАНО России с Министерством образования и науки, Министерством промышленности и торговли, институтами развития для дополнительной поддержки наиболее перспективных проектов. В таблице 1 по каждому направлению представлено количество принятых в Программу проектов, их общий и средний объем финансирования. Всего в Программу было направлено 357 проектов. Из них членами Совета были отобраны и вошли в Программу 295 проектов от 84 организаций. При этом 79 организаций имеют организационно-правовую форму федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН), одна организация – федерального унитарного государственного предприятия (ФГУП). Четыре юридических лица, предложившие свои проекты, не являются организациями, подведомственными ФАНО России, однако, они выразили желание быть участниками Программы.

Общий объем финансирования Программы, необходимый для ее реализации в течение 3-х лет, определен как сумма необходимого финансирования по всем входящим в Программу проектами составляет более 9 млрд. рублей. Финансирование, необходимое для выполнения проекта, является декларативным, его оценку выполняли авторы. Следует отметить, что по целому ряду больших проектов уже имеется или намечается финансирование – это собственные средства организаций, средства институтов развития, Минпромторга России, Минобрнауки России и предприятий-партнеров, планирующих мелкосерийный и серийный выпуск разрабатываемой продукции.

Таблица 1.

Направление	Количество проектов, шт.	Необходимое финансирование, тыс. рублей	Среднее финансирование на проект, тыс. рублей
Оборудование для процессов обработки и превращения веществ и материалов	39 /86	2505750	64250
Приборы и оборудование для изучения и измерения свойств веществ и материалов	75	1434000	19120
Приборы и оборудование для исследования структуры и состава веществ и материалов	52	1791000	34447
Оборудование специализированное и уникальное	80	2520700	31509
Аппаратура и программное обеспечение для информационных технологий	15	152600	10173
Приборы и оборудование для наук о жизни	34	817145	24038
Итого:	295	9221195	

В таблице 2 представлены данные по количеству проектов и объему их финансирования, представленных организациями, сгруппированными по территориальным отделениям РАН.

Таблица 2.

Отделение	Количество проектов, шт.	Общее финансирование, тыс.руб.	Среднее финансирование на проект, тыс. руб.
РАН	183	6206867	33885
СО РАН	90	2728900	30321
ДвО РАН	14	135800	9700
УрО РАН	7	149850	21407

Наибольшее количество проектов представили организации, указанные в таблице 3.

Таблица 3.

Организация	Количество проектов
Институт автоматики и электрометрии СО РАН (ИАиЭ СО РАН)	15
Институт медико-биологических проблем РАН (ГНЦ РФ ИМБП РАН)	13
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН)	12
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН (ФИЦ ИПФ РАН)	12
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН)	12
Институт природно-технических систем РАН (ИПТС РАН)	11
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН)	10
Институт аналитического приборостроения РАН (ИАП РАН)	10
Институт спектроскопии РАН (ИСАН)	8
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГСО РАН)	6
Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро РАН	6
Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН (ИНЭПХФРАН)	5

Следует отметить, что в качестве организации-производителя приборов и оборудования авторы проектов назвали 112 внешних организаций, не подведомственных ФАНО России. В более чем 40 проектах отмечено, что производителем разрабатываемой продукции будет Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро РАН (ФГУП ЭЗАН) – единственная коммерческая организация участник Программы, подведомственная ФАНО России. Проекты, представленные в Программе, имеют достаточно высокую степень защиты интеллектуальной собственности, из 295 проектов 185 защищены патентами.

Эффективность Программы определяется 11 показателями:

- количество проектов, по которым привлечены внебюджетные средства;
- количество проектов, по которым привлечены субсидии или гранты;
- объем привлеченных внебюджетных средств, субсидий и грантов;
- количество проектов, завершившихся созданием опытного образца прибора или оборудования;
- количество проектов, завершившихся созданием технологии, методики и программного обеспечения;
- количество проектов, завершившихся организацией мелкосерийного производства;
- количество проектов, завершившихся организацией серийного производства;
- объем продаж приборов, оборудования, технологий, методик и программного обеспечения;
- объем экспорта приборов, оборудования, технологий, методик и программного обеспечения;
- число патентов и объектов «ноу-хау», оформленных по результатам разработок;
- число публикаций по результатам разработок в научных журналах (Web of Science).

В частности, предполагается, что в 2020 г. в результате реализации проектов Программы объем продаж оборудования, приборов и технологий увеличится до 7 млрд. рублей в год, число привлеченных субсидий и грантов в 2020 году составит 1,8 млрд. рублей. За три года будут освоены в мелкосерийном производстве 78 типов приборов и оборудования, 18 типов будет освоено в серийном производстве. Анализ тематик проектов Программы показывает, что деятельность организаций в области научного приборостроения направлена в основном на удовлетворение сложившихся потребностей российского рынка и на существующий платежеспособный спрос. Подавляющая часть проводимых разработок нацелена на сбыт продукта потребителям, которые не относятся к академическим организациям, является следствием скудного финансирования закупок новых приборов и оборудования для институтов РАН. Явно невелико число проектов по созданию сложного аналитического оборудования. Ограниченность этого сегмента обусловлена требованием Программы по созданию как минимум опытного образца прибора с возможностью последующего выхода на его производство, что требует серьезной конструкторской проработки и соответствующих затрат. Вместе с тем, целый ряд проектов (20-25%) основаны на глубоком научно-техническом заделе, и в случае их реализации, представят продукцию, конкурентоспособную по отношению к лучшим мировым образцам в соответствующем сегменте рынка.

ПОРТАТИВНЫЕ БИОСЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ДНК-БИОДАТЧИКОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ И БИОТЕХНОЛОГИЯХ

Евдокимов Ю. М.¹, д.х.н., гл. н. с., *Компанец О. Н.*², д.ф.-м.н., гл. н. с.,

1 - Институт молекулярной биологии им.В.А.Энгельгардта РАН, <http://www.eimb.ru/>
119991, г. Москва, ул. Вавилова, 32; тел. 8(499)135-97-20, E-mail: yevdokim@eimb.ru

2 - Институт спектроскопии РАН, <http://www.isan.troitsk.ru>,
108840, Москва, г. Троицк, ул. Физическая, д.5, тел: +7(495)850-70-24;
E-mail: onkomp@isan.troitsk.ru

PORTABLE BIOSENSORS ON THE BASE OF DNA BIOSENSING UNITS FOR APPLICATION IN MEDICINE AND BIOTECHNOLOGIES

Yevdokimov Yu.M.¹, *Kompanets O.N.*²

Annotation

The developments of biosensor analytical systems based on double-stranded DNA nanoconstructions as biosensing units and a portable dichrometer are presented. Such systems can be used for high sensitive detection of different biologically active and toxic compounds in liquids. The properties of particles of DNA nanoconstructions and different dichrometer constructions are described, mainly, from the point of view using such biosensors in medicine and biotechnologies.

Keywords

Biosensor, nanoconstructions DNA, circular dichroism, biologically active substances.

Аннотация

Представлены разработки биосенсорных аналитических систем на основе наноконструкций двухцепочечной ДНК (биодатчик) и портативного дихрометра. Такие системы могут быть успешно использованы для высокочувствительного детектирования в жидкости биологически активных и токсичных соединений. Свойства частиц наноконструкций ДНК и различные конструкции дихрометров рассмотрены, преимущественно, с точки зрения использования таких биосенсоров в медицине и биотехнологиях.

Ключевые слова

Биосенсор, наноконструкции ДНК, круговой дихроизм, биологически активное вещество.

В 2018 г. научная общественность отмечает 65-летие исключительно важного для науки события - раскрытия структуры ДНК Дж. Уатсоном и Ф. Криком. Представленное сообщение дает пример того, как результаты фундаментальной науки трансформируются в новые технологии и приборы.

Основная направленность сообщения – охрана здоровья человека, конкретная цель – высокочувствительное (на генетически значимых уровнях) определение в жидкости *биологически активных и токсичных соединений* (БАТС). К ним можно отнести антибиотики, противоопухолевые и другие лекарственные препараты, тяжелые металлы, белки, биологически активные добавки, диоксины, пестициды, отравляющие вещества, депрессанты, наркотики и т.д. Исследуемые *жидкости* – кровь, плазма крови, моча, вода, различные физиологические и технологические растворы и т.п.

В качестве *биодатчиков* используются разработанные в ИМБ РАН «жидкие» наночастицы холестерической жидкокристаллической дисперсии ДНК, наноконструкции (НаК) ДНК, в которых молекулы ДНК упорядочены и сшиты между собой различными наномостиками, иммобилизованные в геле НаК ДНК и т.п. [1, 2]. Для таких биодатчиков характерна не только аномальная оптическая активность, проявляемая в виде интенсивной полосы в спектре КД в области поглощения азотистых оснований ДНК на длине волны ~270 нм, но и дополнительная аномальная оптическая активность в области поглощения элементов наномостиков, «сшивающих» НаК ДНК, в частности, хромофоров антибиотиков в области длин волн 450-650 нм, например, дауномицина в области 505-525 нм.

Для определения наличия и концентрации БАТС кювету (гидрогель или пленку) с исследуемой пробой помещают в дихрометр и через нее пропускают циркулярно поляризованное излучение с противоположно направленными векторами поляризации. Регистрируется изменение оптического сигнала кругового дихроизма ΔA на двух длинах волн, одна из которых находится в полосе поглощения хромофоров ДНК на длине волны 270 нм (*реперный сигнал*), другая - в области поглощения БАТС. О концентрации БАТС судят по величине отношения полученных сигналов ΔA , предварительно прокалибровав дихрометр и выстроив с его помощью аналитическую кривую зависимости сигнала КД от концентрации БАТС.

Оперативное определение наличия и концентрации в жидкости биологически активных веществ, являющихся своего рода *маркерами*, характеризующими состояние организма или технологического процесса, качество сырья,

пищевых продуктов, загрязнение окружающей среды генотоксикантами и т.д., необходимо для постановки точного диагноза и/или своевременного принятия управленческого решения. Поэтому основные области возможного применения оптических биосенсоров – медицинская клиническая диагностика, биохимический анализ, фармакология, биотехнологическая и пищевая промышленность, экологический контроль, научные исследования, учебные лаборатории.

Литература:

1. Ю.М.Евдокимов, В.И.Салянов, С.Г.Скуридин. Наноструктуры и наноконструкции на основе ДНК (под ред. Ю.М.Евдокимова). – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2010, 256 с.
2. О.Н.Компанец, Ю.М.Евдокимов. Оптические биосенсоры генотоксикантов на основе наноконструкций ДНК и портативных дихрометров.- Успехи физических наук, 2009, т. 179, №3, с. 329-334.

РАЗРАБОТКИ ИАиЭ СО РАН ПО ТЕХНОЛОГИЯМ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ, ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ И ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

*Корольков В.П., д.т.н., заместитель директора по научной работе
ИАиЭ СО РАН, <https://www.iae.nsk.su/ru>, 630090, Новосибирск, Проспект академика Коптюга, дом 1
тел. (383)-3333-091, e-mail: victork@iae.nsk.su*

DEVELOPMENTS OF IA&E SB RAS ON TECHNOLOGIES OF CONTROLLING OF INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS, PRODUCTION AND TECHNOLOGICAL COMPLEXES AND TRANSPORTATION

Korolkov V.P.

Annotation

The report is devoted to the key developments of the IAE SB RAS in the field of architecture development, system solutions and software and algorithmic support of information and measurement systems for perception, analysis, information display and control systems for complex dynamic processes, including production and technological complexes and transportation.

Keywords

Architecture development, information and measurement systems, controlling systems for technological complexes and transportation, multifunctional interactive system.

Аннотация

Доклад посвящен ключевым разработкам ИАиЭ СО РАН в области разработки архитектуры, системных решений и программно-алгоритмического обеспечения информационно-измерительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами, в том числе в производственно-технологическими комплексами и транспортными средствами.

Ключевые слова

Развитие архитектуры, информационно-измерительные системы, системы управления технологическими комплексами и транспортными средствами, многофункциональная интерактивная система.

Целью доклада является обсуждение достижений Института автоматизации и электрометрии СО РАН в области разработки архитектуры, системных решений и программно-алгоритмического обеспечения информационно-измерительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами, в том числе в производственно-технологическими комплексами и транспортными средствами. Институт является в этих областях ведущей организацией в СО РАН.

Для управления технологическими процессами как в обычных условиях, так и на объектах повышенной опасности (транспорт, энергетика, химическая и атомная промышленность) разработана автоматизированная система диспетчерского управления. Основными достоинствами системы, помимо высокой надежности, является обеспечение многоуровневого анализа безопасности действий оператора, повышенной живучести системы и восстановления рабочего состояния в случае выхода из строя ее составляющих. Примером внедрения разработки служит созданная на ее основе автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена, находящаяся в постоянной эксплуатации с 2005 г.

Разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматического управления летательными аппаратами и исследования их динамических характеристик. Комплекс позволяет не только снизить расходы при создании новой авиационной техники, но и проводить летные испытания, не подвергая опасности жизнь пилота. Созданный комплекс использован в работах по исследованию динамически подобных моделей при наземных и летных испытаниях образцов перспективных летательных аппаратов.

Еще один программно-аппаратный комплекс создан для разработки и отладки систем управления беспилотными аппаратами колесного, гусеничного и мультикоптерного типов в задачах управления траекторным движением, группового децентрализованного управления, определения местоположения в пространстве и обхода препятствий в условиях неопределенности. Использование комплекса позволяет значительно уменьшить затраты, связанные с разработкой, реализацией и тестированием систем управления как единичными, так и группами роботов.

Для управления устройствами солнечного телескопа оперативных прогнозов разработано АСУ СТОП. Телескоп СТОП предназначен для получения количественных данных о крупномасштабных магнитных полях (КМП) Солнца. Основное назначение АСУ - полная автоматизация процесса получения данных для расчета магнитограммы диска Солнца за время не более 30 минут. Для этого в автоматическом режиме осуществляются: управление зеркалами телескопа, обеспечивающими часовое ведение и гидирование изображения солнца; перестройка оптической схемы измерений (ввод/вывод различных транспарантов); управление электрооптическим модулятором, получение и регистрация спектров.

Система отображения и регистрации информации тренажерно-обучающих комплексов для подготовки космонавтов является новым подходом к созданию тренажерно-моделирующих комплексов и базируется на основе

оригинальных алгоритмических решений с реализацией на унифицированных программных модулях и использованием стандартных программно-аппаратных средств современного уровня. Функциональные возможности системы обеспечивают в реальном масштабе времени эффективное решение задач информационного обеспечения, контроля и анализа тренировочного процесса подготовки космонавтов. Образец системы (см. фотографии) в настоящее время проходит опытную эксплуатацию на тренажёре «Дон-Союз-ТМА» в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Разработана многофункциональная интерактивная система обучения и презентаций на базе технологии интегрированной виртуальной реальности (ИВР) – интеграции изображений тематической виртуальной среды и реального персонажа (лектора), непосредственно взаимодействующего в реальном времени с моделями объектов этой среды. Интерактивное «присутствие» лектора в предметной виртуальной среде является фактором повышенного интереса к излагаемому материалу, лучшего понимания и усвоения его слушателями. Главное преимущество метода – возможность формирования и визуализации высококачественного интегрированного изображения в различных съёмочных условиях.

Выполненные в ИАиЭ СО РАН разработки демонстрируют возможности организации для решения прикладных проблем, связанных с созданием высоконадежных систем управления сложными дорогостоящими объектами научной инфраструктуры, в том числе и вновь создаваемых установок класса MegaScience, обсуждение которых активно ведется в настоящее время. Разработка обучающих информационных систем чрезвычайно важна не только для задач высшего образования, но и для подготовки высококвалифицированных специалистов, обслуживающих уникальные научные установки, в том числе и орбитального базирования.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

Корольков В.А. , д.т.н., заместитель директора по научной работе, г.н.с.

Богушевич А.Я. , к.ф.-м.н., с.н.с., Тельминов А.Е. , к.ф.-м.н., с.н.с.

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН»

http://www.imces.ru, 634055, г. Томск, пр. Академический 10/3, 8-3822-492-265, post@imces.ru

MEASURING COMPLEXES FOR MONITORING OF METEOROLOGICAL AND TURBULENT PARAMETERS OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Korolkov V.A., Bogushevich A.Ya., Telminov A.E.

Annotation

A description of the instruments, automatic complexes and measuring systems created in the IMCES SB RAS for the measurement of the spatio-temporal structure of the fields of meteorological and turbulent parameters of the atmospheric boundary layer is given. Instruments are certified as measuring instruments of the Russian Federation and are produced jointly with the industrial partner of the Institute of LLC "Sibanalitpribor" (Tomsk) in the interests of various ministries and departments (RF Ministry of Defense, Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, MES RF, FANO, etc.).

Keywords

Ultrasonic weather station, atmospheric boundary layer, urbulent parameters, vertical profiles of meteoparameters.

Аннотация

Представлено описание созданных в ИМКЭС СО РАН приборов, автоматических комплексов и измерительных систем для исследований пространственно-временной структуры полей метеорологических и турбулентных параметров атмосферного пограничного слоя. Приборы сертифицированы как средства измерений РФ выпускаются совместно с промышленным партнером института ООО «Сибаналитприбор» (г. Томск) в интересах различных министерств и ведомств (МО РФ, МЧС РФ, МОН РФ, ФАНО и др.).

Ключевые слова

Ультразвуковая метеорологическая станция, атмосферный пограничный слой, турбулентные параметры, вертикальные профили метеопараметров.

Одним из направлений деятельности ИМКЭС СО РАН (г. Томск) является разработка и создание приборов для научных исследований в области метеорологического и экологического мониторинга, физики атмосферы, газоанализа.

На основе использования акустического метода измерений в институте разработана ультразвуковая автоматическая метеостанция (УАМС) АМК-03 (рис.1). Основными преимуществами УАМС являются:

- высокая чувствительность и малая инерционность измерений скорости ветра и температуры воздуха;
- возможность регистрации горизонтальной и вертикальной составляющей скорости ветра;
- отсутствие влияния солнечной радиации на измерение температуры воздуха;
- высокая эксплуатационная надежность вследствие отсутствия механически вращающихся элементов в датчике скорости ветра;
- малый вес и габариты, низкий уровень энергопотребления.

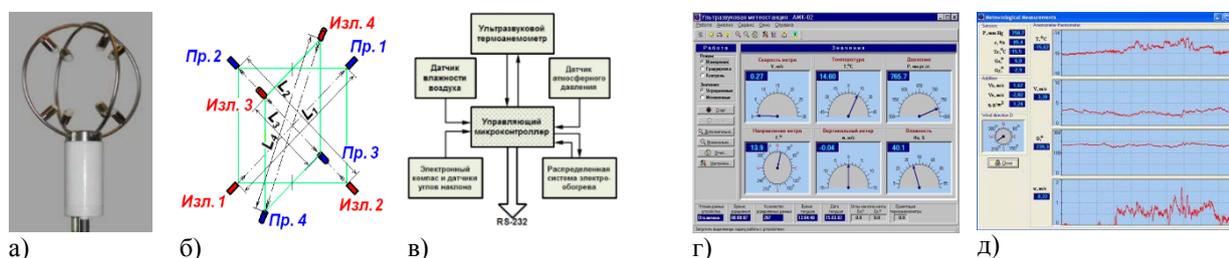


Рисунок 1 – УАМС АМК-03: а) конструкция термоанемометра; б) акустическая схема термоанемометра (изл. 1, 2, 3, 4 – излучатели акустических импульсов, пр.1, 2, 3, 4 – приемники акустических импульсов), в) блок-схема УАМС АМК-03; г) вид индикации средних значений метеопараметров, д) вид индикации мгновенных значений метеопараметров.

УАМС АМК-03 имеет сертификат типа средств измерения РФ и серийно выпускается промышленным партнером Института в различных модификациях гражданского и военного назначения (рис. 2).

Мобильные метеоконплексы 1Б65, 1Б65Б, АМК-Б приняты на снабжение Вооруженных сил РФ и используются для метеорологического обеспечения боевых действий в различных видах и родах войск, гражданские модификации АМК-03 используются на промышленных объектах, космодромах («Восточный» и «Байконур»), а также в НИИ СО РАН и университетах Сибирского региона для обеспечения научных исследований.



Рисунок 2 – Мобильные модификации УАМС АМК-03 военного назначения: а) переносной метеоконплекс 1Б65, б), в). г) – бортовые метеоконплексы 1Б65Б и АМК-Б в составе оборудования машины управления артиллерийским огнем, машины радиохимической и биологической разведки и мобильного конплекса метеобеспечения космодрома «Байконур».

Малая инерционность ультразвукового метода (время измерения $\chi \leq 10^{-2}$ с), высокая пороговая чувствительность ($\sigma_{\xi} \approx (1-2) \cdot 10^{-2}$ °С или м/с) и достаточно большая частота повторения измерений (до 80 Гц) позволяют посредством специализированного программного обеспечения определять в режиме реального времени большое число метеорологических и турбулентных характеристик атмосферы, неполный список которых приведен в таблице 1.

Таблица 1

Метеорологические и дополнительные параметры атмосферы, вычисляемые из данных АМК-03	Параметры атмосферной турбулентности, вычисляемые из данных АМК-03
1) $V_{мгн}, V_{ср.}, V_{min}, V_{max}$ – скорость горизонтального ветра (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), м/с; 2) $V_{мгн}, V_{ср.}, V_{min}, V_{max}$ – скорость вертикального ветра (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), м/с; 3) α – угол наклона к горизонту среднего вектора скорости ветра, град.; 4) $T_{мгн}, T_{ср.}, T_{min}, T_{max}$ – температура воздуха (мгновенные значения, средние, минимальные и максимальные значения за период), °С; 5) r – относительная влажность воздуха, %; 6) q – абсолютная влажность воздуха, г/м ³ ; 7) T_d – температура точки росы, °С; 8) e – упругость (давление) водяного пара, гПа; 9) P – атмосферное давление, мм. рт. ст.; 10) ρ – плотность воздуха, г/м ³ ; 11) $V_{звук}$ – скорость звука в воздухе, м/с	1) $E_V = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) / 2$ – полная энергия турбулентных движений; 2) $I_V = E_V / (V_m)^2$ – относительная интенсивность флуктуаций скорости ветра; 3) $E_t = \sigma_t^2 / 2$ – энергия температурных флуктуаций; 4) $\langle u' \cdot w' \rangle$ – момент потока импульса; 5) $\langle T' \cdot w' \rangle$ – момент потока тепла; 6) $\tau = -\rho \langle u' \cdot w' \rangle$ – вертикальный поток импульса; 7) $H = c_p \rho \langle T' \cdot w' \rangle$ – вертикальный поток тепла; 8) $L^* = \langle T \rangle (v^*)^2 / (\chi \cdot g \cdot T^*)$ – масштаб Монина-Обухова; 9) $C_T^2 = \langle [T'(t + \Delta t) - T'(t)]^2 \rangle / (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3}$ – структурная постоянная температурных флуктуаций; 10) $C_V^2 = \langle [u'(t + \Delta t) - u'(t)]^2 \rangle / (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3}$ – структурная постоянная ветровых флуктуаций; 11) $C_{па}^2 = C_T^2 / (2 \langle T_k \rangle)^2 + C_V^2 / \langle c \rangle^2$ – структурная постоянная флуктуаций акустического показателя преломления; 12) $C_{по}^2 = \{ 8 \cdot 10^{-5} \langle P \rangle / \langle T_k \rangle \}^2 C_T^2$ – структурная постоянная флуктуаций оптического показателя преломления

На основе УАМС АМК-03 созданы специализированные модификации для градиентных измерений метеорологических и турбулентных параметров приземного слоя атмосферы.

Трехуровневая УАМС АМК-03/3у обеспечивает синхронные измерения метеорологических и турбулентных параметров в трех разнесенных по высоте точках (например, 2, 10 и 30 метров), что позволяет определять их вертикальные профили и градиенты в приземном слое атмосферы (рис.3).

Аппаратно-программный конплекс АМК-03-4 позволяет измерять турбулентные флуктуации компонент скорости ветра и температуры одновременно в четырех пространственных областях, расположенных во взаимно ортогональных плоскостях (пространственные области имеют сферическую форму диаметром 7 см, расстояния между ними составляют 35 – 42 см). Конплекс позволяет оценивать не только параметры атмосферной

турбулентности в каждой из локальных областей измерений, но и статистические характеристики пространственных производных турбулентных пульсаций температуры и ортогональных компонент скорости ветра вдоль каждой из осей декартовой системы координат, что создает принципиально новые возможности для исследований пространственно-временной структуры атмосферной турбулентности (рис.4).

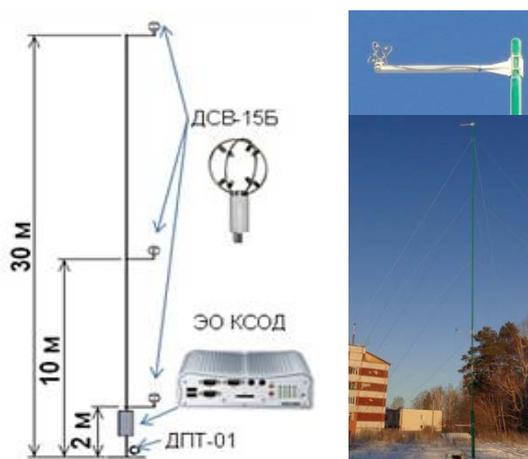


Рисунок 3 – Трехуровневая УАМС АМК-03/3у: ДСВ-15 – ультразвуковой 3D-термоанемометр, ЭО КСОД – блок сбора и обработки данных, ДПТ-01 – датчик температуры подстилающей поверхности.

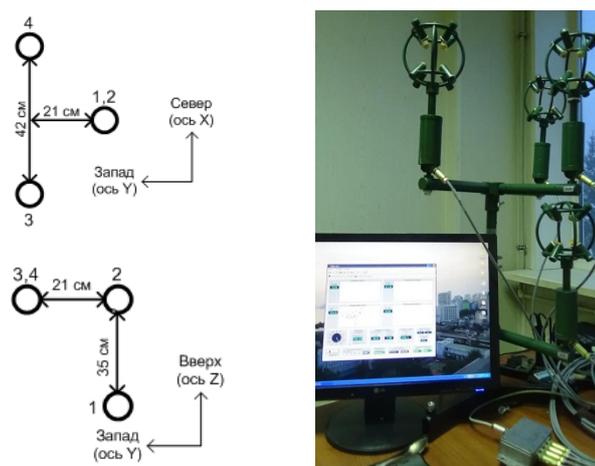


Рисунок 4 – Аппаратно-программный комплекс АМК-03-4: 1, 2, 3, 4 – ультразвуковые 3D-термоанемометры (1, 2, 3 – жестко закреплены в одной (верхней) плоскости, 4 – может перемещаться по окружности в нижней плоскости).

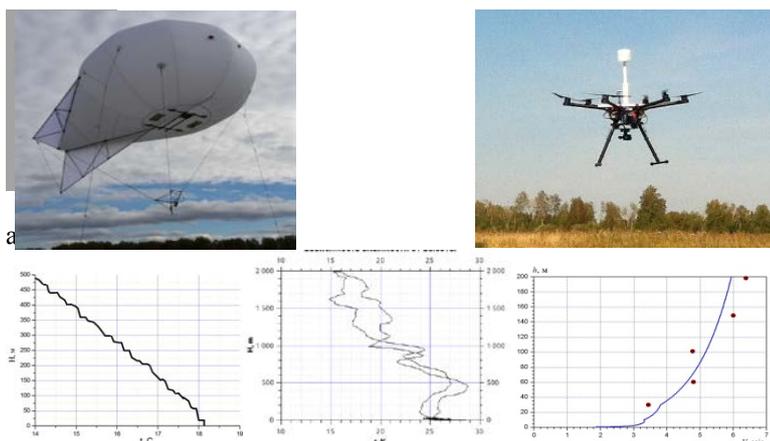


Рисунок 5 – УАМС АМК-03 на борту привязного аэростата (а) и гексакоптера (б) и пример измерения с их помощью вертикальных профилей метеорологических параметров, температура влажность скорость ветра.

Для измерения вертикальных профилей метеорологических и турбулентных параметров в атмосферном пограничном слое на высотах до 1000 метров разработаны и созданы измерительные комплексы, представляющие собой портативные автоматические метеостанции, установленные на борту беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (рис. 5). Портативная метеостанция, устанавливаемая на борту гексакоптера, позволяет выполнять оперативные измерения высотных профилей метеорологических характеристик последовательно в разных точках местности. УАМС, устанавливаемая на борту привязного аэростата, обеспечивает долговременные (в течении нескольких суток) измерения высотных профилей метеорологических и турбулентных характеристик АПС в выбранной точке

местности.

Разработанные в ИМКЭС СО РАН измерительные приборы и аппаратно-программные комплексы превосходят по своим характеристикам большинство зарубежных аналогов и создают принципиально новые возможности для исследований пространственно-временной структуры полей метеорологических и турбулентных параметров атмосферы. Данное оборудование может быть использовано в исследованиях в области физики атмосферы, экологии, климатологии и метеорологии, а также для решения задач валидации и верификации дистанционных бесконтактных методов зондирования атмосферы (лидары, содары, радиолокаторы). Кроме того, оно может быть использовано для долговременных рутинных измерений метеорологических параметров атмосферы в составе автоматических постов сети мониторинга, в качестве судовых метеостанций и пр.

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ
ГЕОСФЕРНЫХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Долгих Г.И., д.ф.-м.н., зав. отд., ТОИ ДВО РАН, <https://www.poi.dvo.ru/drupal/>,
690041, Владивосток, Ул. Балтийская, 43, +7 4232312352, dolgikh@poi.dvo.ru*

**DEVELOPMENT AND CREATION OF NEW GENERATION
LASER-INTERFERENCE GEOSPHERE SYSTEMS**

Dolgikh G.I.

Annotation

The principles of development and creation of laser strainmeters, laser nanobarographs, laser measuring instruments of hydrosphere pressure variations are considered, and also the principles of creating spatially-separated laser-interference systems of a new generation, aimed at studying the occurrence and development of natural and technogenic processes and phenomena of infrasonic and low-frequency sound ranges, the study of occurrence physics of ultra-small signals of terrestrial and extraterrestrial origin.

Keywords

Laser strainmeters, laser nanobarographs, laser-measuring instruments of hydrosphere pressure variations, spatially separated laser-interference systems of a new generation.

Аннотация

Рассмотрены принципы разработки и создания лазерных деформографов, лазерных нанобарографов, лазерных измерителей вариаций гидросферного давления, а также принципы создания пространственно-разнесённых лазерно-интерференционных систем нового поколения, направленных на исследования природы возникновения и развития природных и техногенных процессов и явлений инфразвукового и низкочастотного звукового диапазонов, исследования физики возникновения сверхмалых сигналов земного и внеземного происхождения.

Ключевые слова

Лазерные деформографы, лазерные нанобарографы, лазерные измерители вариаций давления гидросферы, пространственно-разнесённые лазерно-интерференционные системы нового поколения.

В настоящее время для измерения различных величин применяются лазерно-интерференционные методы, которые по сравнению с другими методами измерения дают лучшие результаты, обеспечивающие высокую точность, широкий частотный и динамический диапазоны. На этом принципе построены измерители LIGO, точность которых в лучшем частотном диапазоне достигла двадцать третьего знака [1], что позволило зарегистрировать гравитационные волны, образованные в результате взаимодействия двух чёрных дыр [2]. Сверхчувствительные установки LIGO созданы по схеме интерферометра Майкельсона. На основе интерферометра Майкельсона разработаны и созданы различные лазерные деформографы, в том числе и в ТОИ ДВО РАН [3-5]. Всего было создано семь лазерных деформографов, из которых в настоящее время в постоянном режиме функционирует четыре. Один лазерный деформограф используется в мобильном варианте, а остальные – в стационарном состоянии. Применяемые методы интерферометрии позволяют измерять смещения устоев деформографов с точностью 0.1 нм в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц. Лазерные деформографы имеют длины измерительных плеч в диапазоне от 8 до 52.5 м, что при применяемых методах интерферометрии позволяет измерять деформацию с точностью в одиннадцатом-двенадцатом знаке. Для обеспечения такой точности необходимо применение частотно-стабилизированных лазеров, имеющих стабильность частоты в таком же знаке. В настоящее время в наших измерительных системах (лазерные деформографы, лазерные нанобарографы и лазерные измерители вариаций давления гидросферы) используются частотно-стабилизированные гелий-неоновые лазеры, имеющие долговременную стабильность частоты в десятом-двенадцатом знаке.

На основе интерферометра Майкельсона разработаны и созданы лазерные нанобарографы, предназначенные для измерения вариаций атмосферного давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с точностью 1 мПа [6]. Лазерные нанобарографы установлены в местах расположения стационарных лазерных деформографов и предназначены для регистрации вариаций атмосферного давления в низкочастотном звуковом и инфразвуковом диапазонах с целью изучения физики взаимодействия атмосферных и литосферных процессов.

На основе интерферометра Майкельсона разработаны и созданы лазерные измерители вариаций давления гидросферы, предназначенные для измерения вариаций гидросферного давления в частотном диапазоне от 0 (условно) до 1000 Гц с точностью 1 мПа [7, 8]. Лазерные измерители вариаций давления гидросферы устанавливаются эпизодически на шельфе Охотского и Японского морей вблизи мест расположения стационарных лазерных деформографов и предназначены для регистрации вариаций гидросферного давления в низкочастотном звуковом и инфразвуковом диапазонах с целью изучения физики взаимодействия атмосферных, гидросферных и литосферных процессов.

Созданы лазерно-интерференционные комплексы, состоящие из лазерных деформографов, лазерных нанобарографов, лазерных измерителей вариаций давления гидросферы, систем точного времени, программно-

вычислительных систем, предназначенные для изучения природы возникновения и развития низкочастотных звуковых и инфразвуковых процессов геосфер с определением их первоисточника [9, 10].

В настоящее время на основе лазерных деформографов маятникового типа [5] разрабатываются лазерно-интерференционные сверхчувствительные деформационные антенны, предназначенные для измерения сверхтонких процессов и явлений земного и внеземного происхождения. По чувствительности и частотному диапазону данная деформационная антенна должна быть лучше системы LIGO. В качестве основного узла измерительной системы предполагается использовать лазерный деформограф маятникового типа. При создании нашей измерительной системы используем отличительные особенности амплитудно-частотной характеристики лазерного деформографа маятникового типа от амплитудно-частотной характеристики лазерного деформографа классического типа, позволяющие проводить абсолютные измерения смещений в высокочастотной области спектра. Так, при создании лазерного деформографа с измерительным плечом длиной 1000 м и маятниковой системы с резонансной частотой порядка 0.3 Гц можно уже говорить об измерении абсолютных смещений, начиная с 3 Гц до высоких частот, определяемых быстродействием электронно-оптических элементов деформографов. Уменьшая длину измерительного плеча мы повышаем частоту, с которой можно говорить об абсолютных измерениях, но, уменьшая резонансную частоту маятниковой системы, мы уменьшаем частоту, с которой можно говорить об абсолютных измерениях. В качестве пробной массы, на которую действует гравитационная волна, будем рассматривать гранитный блок, на котором смонтирована оптическая скамья основной части лазерного деформографа маятникового типа. При жёстком соединении оптической скамьи с гранитным блоком можно рассматривать данный блок в качестве пробной массы (относительно длины гравитационной волны, имеющей скорость порядка 300000 км/с). Таким образом, можно утверждать, что в лазерном деформографе маятникового типа используется одна пробная масса.

Располагая два лазерных деформографа маятникового типа на большом удалении друг от друга можно измерить изменение расстояния между двумя гранитными блоками (пробными массами) каждого лазерного деформографа, вызванного различными процессами, в том числе гравитационными волнами. Для правильного решения поставленной задачи (регистрации гравитационных волн) необходимо использовать три разнесённые на большие расстояния лазерные деформографы маятникового типа с образованием равностороннего треугольника, но расположенные в пределах одной длины гравитационной волны. В каждой точке необходимо применение системы точного времени, обеспечивающей точность 1 мкс, что на современном уровне не является сложной задачей. Определим минимальные расстояния, на которые мы должны разнести лазерные деформографы, чтобы обеспечить чувствительность системы в двадцать третьем знаке для регистрации гравитационной волны, т.е.

$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = 1 \times 10^{-23}$, где L – расстояние между лазерными деформографами. В каждом лазерном деформографе предполагается использование частотно-стабилизированных лазеров, обеспечивающих кратковременную

стабильность частоты в четырнадцатом знаке $\varepsilon_1 = \frac{\Delta \nu}{\nu} = 1 \times 10^{-14}$, где ν – частота лазера. Для конкретного

лазерного деформографа это обеспечивает чувствительность $\varepsilon_2 = \frac{\Delta l}{l} = 1 \times 10^{-14}$, где l – длина плеча лазерного

деформографа, т.е. в нашем случае 1000 м. Расчёты проводим для граничной частоты 3 Гц. Если принять во внимание, что скорость гравитационного возмущения составляет 300000 км/с, то при частоте, например, 3 Гц, длина данной волны будет равна 100000 км. Применение часов точного времени, синхронизирующих измерительные комплексы, разнесённые на расстояние L , с точностью 1 мкс, позволит отслеживать изменение

фазы гравитационной волны с точностью $\frac{10^8}{L} \times 10^{-6}$. Беря во внимание последнее выражение и выражение для

ε_2 можно написать уравнение для определения L с целью достижения заданной чувствительности в двадцать

третьем знаке: $\frac{\varepsilon_2}{L} \times \frac{10^8}{L} \times 10^{-6} = 1 \times 10^{-23}$. Из этого уравнения следует, что $L \approx 316\,000$ м ($L \approx 316$ км). При

уменьшении частоты регистрируемых колебаний чувствительность падает, а при увеличении частоты регистрируемых колебаний – возрастает. Рассчитаем предельную частоту, для которой длина гравитационной волны не превышает максимального расстояния между опорными точками. Для нашего случая она примерно равна 950 Гц.

Отдельно каждый лазерный деформограф маятникового типа не годится для регистрации гравитационных волн, так как их чувствительность ограничена стабильностью частоты лазера (четырнадцатый порядок). Если принять за достоверность информации о регистрации гравитационных волн установками LIGO (особенно с учётом того, что основным авторам присудили в 2017 году Нобелевскую премию), то лазерным деформографам маятникового типа не хватает 8-9 порядков. Весь смысл в применении системы пространственно разнесённых лазерных деформографов маятникового типа и методики проведения эксперимента. Главное условие: если мы считаем, что гравитационные волны есть и их скорость равна скорости света, то пространственно разнесённые приборы должны измерять сигнал, находящийся в пределах двух пи, или в терминах длины волны – расстояние между двумя деформографами должно быть не больше длины гравитационной волны. При таком условии мы

будем измерять смещения на деформографах, находящихся в пределах одной длины волны. В каждой установке мы считаем, что уровень всех шумов меньше шумов, вызванных нестабильностью частоты рабочего лазера. Изменение фазы волны отслеживается с применением систем точного времени, использующихся в установках, и синхронизированных между собой. Применение систем точного времени, обеспечивающих измерение временного интервала с точностью 1 мкс, позволяет на несколько порядков поднять чувствительность системы, состоящей из двух пространственно разнесённых лазерных деформографов маятникового типа. При регистрации гравитационных волн, допустим, имеющих частоту 160 Гц, мы будем двумя лазерными деформографами прописывать амплитудно-частотные вариации гравитационных сигналов. Невозможно придумать сигналы в этом частотном диапазоне (сейсмические и т.п.), которые имели бы такие длины волн, которые позволяли бы проводить их измерения в одной фазе. Дальнейший анализ экспериментальных данных, полученных на системе из трёх лазерных деформографов, находящихся в сторонах равностороннего треугольника должен проводиться с учётом следующих условий и по следующей схеме: 1) создание моделей различных гравитационных сигналов и моделей их проявления на записях системы из трёх пространственно разнесённых маятниковых лазерных деформографов с учётом их поляризационных свойств; 2) считаем, что скорость распространения данных сигналов равна около 300000 км/с; 3) считаем, что шумовые сигналы земного происхождения в рассматриваемом диапазоне частот (3-950 Гц) для каждой установки свои и не связаны друг с другом, хотя это и не обязательное условие; 4) главное условие заключается в том, что скорость распространения данных шумовых сигналов значительно меньше скорости распространения гравитационных волн; 5) проводим свёртку созданных моделей гравитационных сигналов с полученными записями системы, состоящей из трёх пространственно разнесённых маятниковых лазерных деформографов, т.е. «прогоняем» модели по записи системы; 6) при совпадении модели с сигналом, даже сильно зашумлённым, свёртка даст резкое увеличение амплитуды на записи в месте их совпадения, что и будет доказательством регистрации гравитационного сигнала модельного вида. Результат свёртки может поднять чувствительность системы ещё на 6-7 порядков. При этом надо учесть, что таких записей будет три (по сторонам треугольника), а с учётом поляризационных свойств гравитационной волны мы точно определим направление на источник данного сигнала. При желании на Земле можно построить несколько таких измерительных систем по аналогии с проектом LIGO.

Литература

1. Abbott B.P., Abbot R., Adhikari R. et al. LIGO: the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory // *Rep. Prog. Phys.* 2009. V. 72. P.076901.
2. Abbott B.P., Abbot R., Adhikari R. et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger // *Phys. Rev. Lett.* 2016. V. 116. P. 061102.
3. Долгих Г.И., Ковалёв С.Н., Корень И.А., Овчаренко В.В. Двухкоординатный лазерный деформограф // *Физика Земли.* 1998. №11. С. 76-81.
4. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Овчаренко В.В. и др. // *Приборы и техника эксперимента.* 2013. №2. С. 138.
5. Dolgikh G.I. Pendulum-type laser strainmeter // *Earthquake Science.* 2015. V. 28. N4. P. 311-317.
6. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалёв С.Н. и др. Лазерный нанобарограф и его применение при изучении баро-деформационного взаимодействия // *Физика Земли.* 2004. №8. С. 82-90.
7. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Ковалев С.Н. и др., Швец В.А., Чупин В.А., Яковенко С.В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // *Приборы и техника эксперимента.* 2005. №6. С. 137-138.
8. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Kovalyov S.N. et al. Super-low-frequency laser instrument for measuring hydrosphere pressure variations // *Journal of Marine Science and Technology.* 2009. V. 14. N4.
9. Dolgikh G.I., Batyushin G.N., Valentin D.I. et al. Seismoacoustichydrophysical complex for monitoring the atmosphere-hydrosphere-lithosphere system // *Instruments and Experimental Techniques.* 2002. V. 45. № 3. P.401-403.
10. Dolgikh G.I., Budrin S.S., Dolgikh S.G. et al. A complex spatially dispersed polygon in the Far East for Earth observations // *Measurement techniques.* 2016. V. 59. N3. P. 252-255.

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В УДМУРТСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ЦЕНТРЕ

*Альес М.Ю., д.ф.-м.н., директор Удмуртского федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук
ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, <http://udman.ru/426067>, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т.Барамзиной, д. 34,
тел.(3412)508-200, факс(3412)507-959, e-mail: udnc@udman.ru*

ABOUT THE STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF INSTRUMENT-MAKING IN UDMURT FEDERAL RESEARCH CENTER

Alies M.Yu.

Annotation

The paper presents a retrospective, current state and prospects for the development of instrument-making competences at the Udmurt Federal Research Center in the context of the current tasks of the development of science in the Udmurt Republic, the expansion of interaction between scientific institutions and enterprises of the real economy sector and taking into account the tasks of the scientific and technological development of the Russian Federation. Problems in the development of instrument engineering in a scientific institution in the current conditions of management.

Keywords

Instrument-making competences, scientific and technological development, current tasks of science development in the region.

Аннотация

В работе представлена ретроспектива, текущее состояние и перспектива развития приборостроительных компетенций в Удмуртском федеральном исследовательском центре в контексте текущих задач развития науки в Удмуртской Республике, расширения взаимодействия научных учреждений с предприятиями сектора реальной экономики и с учётом задач научно-технологического развития Российской Федерации, представлен обзор основных проблем в развитии приборостроения в научном учреждении в современных условиях.

Ключевые слова

Приборостроительные компетенции, научно-технологическое развитие, текущие задачи развития науки в регионе.

Введение

Создание в последние годы сети федеральных исследовательских центров в регионах Российской Федерации привело к концентрации в рамках одного хозяйствующего субъекта самых разных направлений научных исследований и появлению перспективы повышения не только эффективности исследований в отдельных научных направлениях, но и возможности получения междисциплинарного синергетического эффекта. Приборостроение вообще и научное приборостроение в частности являются площадками для объединения компетенций учёных и инженеров самых разных специальностей. Самые неожиданные результаты могут быть получены от взаимодействия биологов с физиками, химиков с аграриями и историков с математиками. И все эти области междисциплинарного взаимодействия как на стадии изучения явлений и разработки принципов, так и на стадии создания на этой базе инновационной продукции требуют активного участия, а в последней фазе и доминирующей роли, инженеров-приборостроителей. Именно эта когорта сотрудников научно-исследовательских учреждений, обеспечивая в первую очередь процесс научных исследований, является важнейшим звеном в процессе коммерциализации результатов научных исследований и вовлечения их в продвижение этих результатов по линии «идея – новый продукт». Вместе с тем необходимо отметить, что процесс создания инновационной приборостроительной продукции был бы не столь продуктивным, если бы научные сотрудники и инженеры не работали сообща.

Между тем, в настоящее время есть ряд проблем в оптимальной организации работы инженеров-приборостроителей и поддержании необходимого уровня компетенций в современных условиях хозяйствования, требуется принятие ряда неотложных мер по совершенствованию системы кадрового обеспечения инженерного состава научных учреждений. Все эти вопросы не могут остаться без внимания руководителей научно-исследовательских организаций и требуют самого тщательного и профессионального обсуждения.

Ретроспектива приборостроительных разработок институтов УдмФИЦ

Для обеспечения непрерывности и результативности научных исследований в научно-исследовательском институте, помимо квалифицированных научных кадров, требуется мощное инженерное обеспечение. В организациях УдмФИЦ в исторической ретроспективе высококвалифицированные инженеры всегда активно участвовали не только в работах по поддержанию работоспособности и текущему обслуживанию сложного научного оборудования, но и самое непосредственное участие принимали в модернизации научных приборов и разработке новых образцов. Эта деятельность всегда делилась на два больших сегмента: приборостроение,

направленное на интенсификацию процесса научных исследований – именно его мы называем научным приборостроением, – и приборостроение, направленное на решение конкретных задач предприятий реального сектора экономики - его мы условно называем технологическим. Оба эти направления развития приборостроения в институтах УдмФИЦ самым тесным образом переплетались в деятельности научных коллективов, плавно переходя одно в другое и находя соответствующее место в планах работы институтов как в рамках заданий государства, так и в рамках внебюджетной хозяйственной деятельности.

Основные вехи научного приборостроения в институтах УдмФИЦ:

1983-2000 – магнитные и электронные спектрометры, 1983-1998 – приборы неразрушающего контроля на базе электромагнитно-акустического преобразования, 1998-2001 – приборы для испытаний космических аппаратов, 1998–2017 – приборы для испытаний изделий ОПК, 2000–2014 – приборы для вибродиагностики железнодорожного транспорта, 1995-2017 – работы по распознаванию результатов многозональной космической съёмки, 2003-2017 – сканирующая туннельная микроскопия, 2012-2017 – работы по медицинской тематике, 2010-2017 – экологическая безопасность, 1995-2017 – работы по исследованию и обеспечению сохранности объектов историко-культурного наследия. Существенным является тот факт, что большинство разработанных приборов было изготовлено, передано на место эксплуатации и прошло все процедуры сертификации в Госстандарте Российской Федерации.

Из приведённых примеров видно, что набор приборостроительных компетенций в подразделениях УдмФИЦ достаточно обширен, квалификация инженерного корпуса является весьма высокой, широк круг приложения усилий инженерных талантов для решения текущих и перспективных задач обеспечения научных исследований и технологических задач современного производства.

Текущее состояние научного и технологического приборостроения в УдмФИЦ

В силу неизбежного течения времени и разнообразия процессов, происходящих в стране и мире, часть прежних направлений приборостроения потеряла свою актуальность, часть была прекращена в связи с утратой некоторых компетенций. В предшествующий период времени в приборостроительной деятельности институтов УдмФИЦ соблюдался определённый баланс между научным и технологическим приборостроением: оба эти направления были представлены достаточно основательно. С течением времени актуальность деятельности в направлении научного приборостроения стала снижаться в силу ряда объективных и субъективных причин, и сейчас можно констатировать преобладающее значение технологического приборостроения с развитием его также в направлении решения актуальных задач в области обеспечения экологической безопасности и наук о жизни.

В настоящее время приборостроение в УдмФИЦ представлено обслуживающим инженерным корпусом, нацеленным на сопровождение экспериментальных научных исследований, и инженерами ряда научных подразделений, основной задачей которых является не только проведение научных исследований в области своей компетенции, но и работа по адаптации полученных результатов к потребностям промышленности и других отраслей народного хозяйства, созданию на этой основе самых передовых приборов и доведение их до стадии реального использования. Поскольку решение некоторых масштабных задач требует привлечения дополнительного количества работников, значительная часть инженеров привлекается на основе срочных трудовых отношений при выполнении отдельных проектов. Этим обеспечивается взаимообогащение знаниями и обмен опытом разных поколений инженеров.

Основными направлениями приложения сил инженерного состава и научных сотрудников УдмФИЦ в настоящее время являются следующие сегменты. В области научного приборостроения это разработка аппаратурных и методических решений по созданию нового поколения сканирующих туннельных микроскопов для обеспечения сканирования наноструктурированных поверхностей с разработкой новых алгоритмов идентификации и построения изображений [1,2]. Взаимодействие с предприятиями оборонно-промышленного комплекса позволило создать ряд приборов прорывного уровня [3,4], отмеченных стипендиями Президента Российской Федерации. Направление медицинского приборостроения представлено разработками в области стоматологии [5] и кардиохирургии [6,7]. Работы в области вибродиагностики проведены для подвижного состава железнодорожного транспорта [8,9]. Есть ряд разработок для сельского хозяйства и экологического мониторинга [10,11]. Отдельно можно отметить важную работу по обеспечению сохранения историко-культурного наследия народов, населяющих территорию Удмуртской Республики [12]. Приборы для решения технологических задач машиностроительных и металлургических предприятий представлены рядом сканирующих и приставных приборов на основе методов магнитного [13,14] и акустического [15] контроля.

Перспективы развития приборостроительных компетенций УдмФИЦ

В силу особенностей существующей системы финансирования научных исследований региональному научно-исследовательскому учреждению по-прежнему следует уделять внимание сегменту научного приборостроения, поскольку парк исследовательского оборудования постоянно стареет и быстрая замена его невозможна. Поэтому можно предположить развитие в будущем поддерживающих и модернизационных приборостроительных компетенций. Несомненно, останется в строю и инновационный сегмент научного приборостроения, поскольку ряд компетенций этого уровня в УдмФИЦ сохранён и продолжает развиваться. В первую очередь это касается создания новых приборов для сканирующей туннельной микроскопии.

В последние годы всё шире развивается взаимодействие институтов УдмФИЦ с предприятиями оборонно-промышленного комплекса, которые испытывают потребности в новых приборах как для обеспечения технологических процессов, так и для контрольно-измерительных процедур. В этом направлении можно ожидать

прорывов в области аппаратурно-методического обеспечения испытаний образцов новой техники, а также в области обеспечения контрольно-измерительных процедур готовых изделий.

Многолетнее сотрудничество с ОАО «Российские железные дороги» позволяет прогнозировать активное развитие этого направления в части научного обоснования и создания новых акустических и магнитных методов неразрушающего контроля, что неизбежно потребует и создания новых приборов для реализации этих методов.

Актуальным и востребованным также является создание новых образцов приборов для вибрационной диагностики подвижного состава железнодорожного транспорта.

Особое значение приобретает в настоящее время приборостроительная деятельность, направленная на решение социальных и экологических проблем, создание комфортной среды обитания. В этом отношении предстоит развить такие направления как медицинское приборостроение в области стоматологии и кардиохирургии.

Существуют предпосылки для решения ряда задач на базе методик и аппаратуры для дистанционного зондирования поверхности Земли. В первую очередь это мониторинг состояния сельскохозяйственных объектов, мониторинг экологического состояния городских и сельских районов проживания населения, мониторинг загрязняющих выбросов промышленных предприятий региона. Важнейшей отраслью приложения приборостроительных компетенций остаются вопросы изучения археологических памятников и сохранения историко-культурного наследия, что особенно важно для такого многоконфессионального и многонационального региона каким является Удмуртская Республика.

Заключение

В заключение можно отметить, что Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, как правопреемник сети академических институтов на территории Удмуртской Республики, обладает в настоящее время широким набором актуальных приборостроительных компетенций, и планирует активно развивать это направление своей деятельности в соответствии с текущими и перспективными задачами научно-технологического развития Российской Федерации и её регионов.

Список литературы

1. Шелковников Е.Ю. Помехозащищённый туннельный микроскоп для идентификации изображений наноструктуры поверхности / Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков, П.В. Гуляев, и др. // Ползуновский вестник. – 2011. – №3. – С. 166–170.
2. Шелковников Е.Ю. Гибридный туннельный микроскоп с интегрированным биопотенциостатом для изучения наночастиц / Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков, П.В. Гуляев, и др. // Химическая физика и мезоскопия. – 2011. – т.13. – №3. – С. 448–451.
3. Шелковников, Ю. К. Исследование оптико-электронных регистраторов точки прицеливания стрелковых тренажёров / Шелковников Ю. К., Егоров С. Ф., Осипов Н. И. и др. // Проблемы механики и материаловедения. Труды Института механики УрО РАН. – Институт механики УрО РАН. – 2017. – С. 227–248.
4. Молин С.М. Комплекс аппаратуры «Сигма-Парус» для регистрации ударных сигналов / Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. и др. // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 9. – С.54 – 58.
5. Кириллов А. И. Анализ метрологических характеристик электродиагностических аппаратов для диагностики твёрдых тканей зубов / А.И. Кириллов, Е.Ю. Шелковников, С.Р. Кизнерцев // Ползуновский альманах. — 2015. – № 1. – С. 111–114.
6. Захаров В.А. Устройство для анулопластики анатомических отверстий / Захаров В.А., Ладьянов В.И., Молин С.М. и др. // Патент РФ на полезную модель №153073, 27.06.2015.
7. Захаров В.А. Устройство для анулопластики клапана сердца / Захаров В.А., Ладьянов В.И., Молин С.М. и др. // Патент РФ на полезную модель №153549, 27.07.2015.
8. Молин С.М. Двухканальная система регистрации и обработки виброакустических и ударных сигналов ДАРС / Молин С.М., Карелин А.В., Леньков С.В. и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 1. – С. 46–48.
9. Молин С.М. Мобильная система вибродиагностики подвижного тягового состава железнодорожного транспорта / Молин С.М., Карелин А.В., Леньков С.В. и др. // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 11. – С. 15 – 21.
10. Петров В.Г. Переработка и обезвреживание промышленных отходов в Удмуртской Республике // Наука Удмуртии. – 2017. – № 4(82). – С. 133–148.
11. Ханнанов Д. А. Переработка использованных химических источников тока / Д.А. Ханнанов, Я.А. Балицкий, В.Г. Петров // Наука Удмуртии. – 2017. – № 4(82). – С. 174–179.
12. Журбин И.В. Комплексное применение низковысотной аэрофотосъёмки и геофизических методов в археологических исследованиях / И.В. Журбин, В.Н. Милич, А.И. Назмутдинова и др. // Инженерная физика. – 2016. – №12. – С. 74–81.
13. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В. // Патент РФ на полезную модель № 166304, 20.11.2016.
14. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. // Патент РФ на полезную модель № 173646, 04.09.2017.
15. Муравьев В.В. Способ определения коэффициента акустоупругой связи / Муравьев В.В., Муравьева О.В., Леньков С.В., Молин С.М. // Патент РФ на изобретение № 2556331, 10.07.2015.

РАЗРАБОТКИ КТИ НП СО РАН ДЛЯ НАУЧНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Завьялов П.С.¹, кандидат технических наук, директор, Верхогляд А.Г.¹, зав. лабораторией

Чугуй Ю.В.^{1,2,3}, доктор технических наук, научный руководитель

1 – КТИ НП СО РАН, Россия, 630058, г. Новосибирск, ул. Русская, д. 41,

тел.: (383) 306-58-95, e-mail: info@tdisie.nsc.ru, http://www.tdisie.nsc.ru

2 – НГУ, Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2, (383) 363-43-33, http://www.nsu.ru

3 – НГТУ, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, (383) 346 08 43, http://www.nstu.ru/

DEVELOPMENTS OF TDI SIE SB RAS FOR SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL APPLICATIONS

Zavyalov P.S.¹, Verkhoglyad A.G.¹, Chugui Yu.V.^{1,2,3}

Annotation

The results of the last 5 years of the Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences (TDI SIE SB RAS) works on the development and production of systems for various purposes for applications in science and industry are presented. The technical characteristics of the devices and systems created, as well as the results of their testing at the industrial enterprises and at the Institutes of SB RAS are shown.

Keywords

Optical measuring technologies, laser technologies, fuel pellets inspection, imitation of weightlessness.

Аннотация

Представлены результаты работ последних 5 лет Конструкторско-технологического института научного приборостроения Сибирского отделения Российской академии наук (КТИ НП СО РАН) по разработке и созданию систем различного назначения для применений в науке и промышленности. Приводятся технические характеристики созданных приборов и систем, а также результаты их испытаний на промышленных предприятиях.

Ключевые слова

Оптические измерительные технологии, лазерные технологии, контроль топливных таблеток, обезвешивание.

3D лазерный генератор изображений нового поколения с повышенными точностными и эксплуатационными характеристиками. Разработан и создан (при участии ИАиЭ СО РАН) круговой 3D лазерный генератор изображений (ЛГИ) нового поколения [1, 2] с повышенными точностными и эксплуатационными характеристиками, предназначенный для синтеза микроструктур произвольной топологии в пленках фоторезиста, нанесенных на подложку (рис. 1). Радикальное повышение точности достигнуто благодаря применению в ЛГИ малогабаритного полупроводникового УФ-лазера и непрерывной коррекции в режиме реального времени влияния внешних условий на систему регистрации перемещений. Оригинальная двухконтурная система управления вертикальными перемещениями исполнительного элемента и прецизионная система управления мощностью лазерного излучения обеспечивают формирование микроструктур на криволинейных поверхностях в вертикальном направлении с погрешностью не более нескольких нанометров. Экспериментально показано, что ЛГИ нового поколения позволяет в обычных лабораторных условиях производить синтез дифракционных оптических элементов с погрешностью формирования волнового фронта менее $\lambda/100$ (рис. 2). ЛГИ поставлены в Харбинский институт технологий (КНР), АО «УОМЗ», Самарский аэрокосмический университет, АО «Швабе – Оборона и Защита».



Рисунок 1 – Круговой 3D лазерный генератор изображений нового поколения.

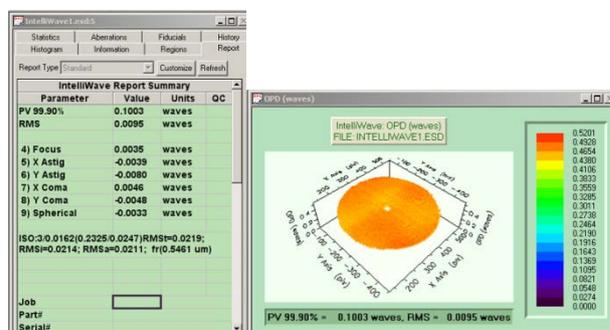


Рисунок 2 – Интерферограмма волнового фронта дифракционного оптического элемента, изготовленного на ЛГИ. Ошибка волнового фронта менее $\lambda/100$.

Основные технические характеристики ЛГИ: погрешность по радиусу $\pm 0,1$ мкм, погрешность по углу ± 2 угл. с, максимальный диаметр рабочего поля 285 мм, пространственное разрешение 1000 лин./мм (по Релею), погрешность автофокусировки $\pm 0,5$ мкм.

Системы контроля внешнего вида топливных таблеток «Дефект-М»

Топливные таблетки (ТТ) из УО являются одной из основных частей тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) атомных реакторов. В связи с этим к качеству таблеток предъявляются жесткие требования. В число критериев их качества входит внешний вид. На поверхности таблеток, имеющих цилиндрическую форму, в процессе изготовления могут возникать различные дефекты. До последнего времени контроль внешнего вида ТТ осуществлялся визуально контролёрами. Такой контроль неэффективен в плане надежности и производительности, а также затратен с экономической точки зрения.

В результате проведенного полного цикла НИОКР в КТИ НП СО РАН (совместно с «НЗХК-Инжиниринг») разработан комплекс контроля внешнего вида ТТ «Дефект-М» в составе производственной линии ПАО «НЗХК» с производительностью 6 ТТ/с [3-5].

Комплекс «Дефект-М» представляет собой последовательно расположенные на транспортном конвейере позиции контроля: блок предварительного контроля, позиция контроля торцов и позиция контроля образующей. После каждой позиции контроля установлены для удаления бракованных изделий пневматические разбраковщики.

Надежность контроля ТТ достигается при использовании схем получения изображений, в которых освещение поверхностей и регистрация изображений производились под равными углами по отношению к нормали к контролируемой поверхности. На рис. 3 представлена схема контроля («на горке») торцов ТТ. Запуск съёмки торцов осуществляется по сигналам оптопар. Для получения резких изображений используется импульсное освещение сверхяркими светодиодами. За 20 – 30 мс кадр передается в компьютер и обрабатывается (до подлета таблетки к разбраковщику).

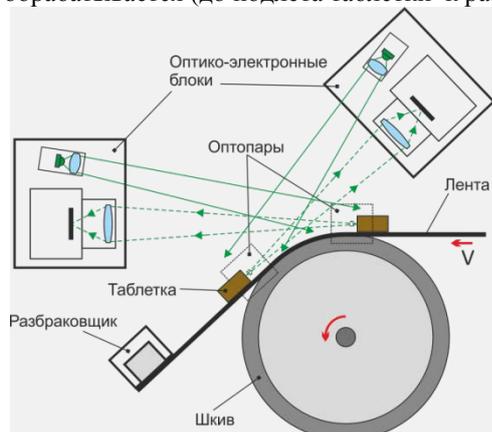


Рисунок 3 – Контроль торцов ТТ «на горке».

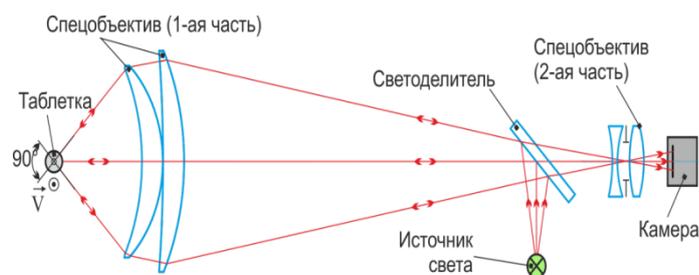


Рисунок 4 – Контроль образующей поверхности ТТ.

При контроле образующей поверхности ТТ для получения высококонтрастных изображений также необходимо было обеспечить их регистрацию в отраженном свете. Для этого была разработана специализированная оптическая система (рис. 4). Оптическая система построена таким образом, что освещение и наблюдение цилиндрической поверхности ТТ производится по нормали к поверхности. При контроле ТТ движется вдоль своей оси. Изображение поверхности формируется с помощью специального объектива, состоящего из конденсора и корректора. Регистрация изображения проводится линейной камерой, освещение объекта — через полупрозрачное зеркало. Для получения полного изображения развертки ТТ в позиции контроля установлено четыре таких оптических канала.

В настоящее время разработано и введено в эксплуатацию в ПАО «Новосибирский завод химконцентратов» (НЗХК) два комплекса систем «Дефект-М», что позволило полностью автоматизировать контроль внешнего вида ТТ на предприятии, устранив ручной труд контролёров на вредном для здоровья производстве.

Программно-аппаратный комплекс обезвешивания крупногабаритных трансформируемых конструкций космических аппаратов

Разработаны научно-технические основы построения и функционирования автоматизированных систем обезвешивания крупногабаритных трансформируемых конструкций космических аппаратов (КТС КА) в процессе их трансформаций [6,7]. По результатам исследования в интересах АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева» создан и принят в эксплуатацию уникальный комплекс обезвешивания, предназначенный для наземной отработки раскрытия КТС КА и определения параметров систем раскрытия таких конструкций в условиях, максимально приближенных к отсутствию влияния силы тяжести на их работу. Комплекс состоит из двух рабочих мест: система обезвешивания крупногабаритных рефлекторов (рис. 5) и система обезвешивания солнечных батарей (рис. 6) и обладает уникальными

характеристиками: потери энергетике системы раскрытия на компенсацию влияния силы тяжести менее 0.1%, при раскрытии солнечных батарей данная величина равнялась 5%.



Рисунок 5 – Внешний вид системы обезвешивания с закрепленным рефлектором.



Рисунок 6 – Внешний вид системы обезвешивания солнечной батареей.

Список литературы

1. Y .V. Chugui, A. G.Verkhoglyad, P. S. Zavyalov, E. V. Sysoev, R. V. Kulikov, I. A.Vykhrystyuk, M. A. Zavyalova, A. G. Poleshchuk, V. P. Korolkov. Optical Measuring and Laser Technologies for Scientific and Industrial Applications. Int. J. of Automation Technology. Vol.9. – № 5, 2015, p. 515–524.
2. Круговая лазерная записывающая система для формирования фазовых и амплитудных микроструктур на сферических поверхностях. А.Г. Верхогляд, М.А. Завьялова, А.Е. Каличкин, С.А. Кокарев, В.П. Корольков. Датчики и системы. – 2015. – № 9-10. – С. 45-52.
3. Многоканальный высокопроизводительный оптико-электронный контроль качества поверхности топливных таблеток. Автометрия, Том 46, № 4, 2010, стр.121-129. А.В. Белобородов, Е.В. Власов, П.С. Завьялов, Л.В. Финогенов.
4. Завьялов П.С., Финогенов Л.В., Власов Е.В. Разработка специализированных объективов для оптико-электронного контроля 3d-объектов// Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015»: сб. материалов в 3 т. Т. 2. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 69-75.
5. P. S. Zav'yalov, L. V. Finogenov, and E. V. Vlasov. A Dedicated Optical System for the Quality Inspection of Cylindrical Surfaces. Russian journal of nondestructive testing, Volume 52, No. 7, 2016. P. 415 -420.
6. Автоматизированная система обезвешивания для наземной отработки солнечных батарей космических аппаратов / А.Г. Верхогляд, В.А. Куклин, С.Н. Макаров, В.М. Михалкин, В.И. Халиманович // Решетневские чтения : XX юбилейн. междунар. науч.-практич. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева (Красноярск, 09-12 нояб. 2016 г.) : матер. : в 2 ч. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 89-91.
7. Автоматизированная система обезвешивания крупногабаритных трансформируемых рефлекторов / А.Г. Верхогляд, В.А. Куклин, С.Н. Макаров, В.М. Михалкин, В.И. Халиманович // Решетневские чтения : XX юбилейн. междунар. науч.-практич. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет.-космич. систем акад. М.Ф. Решетнева (Красноярск, 09-12 нояб. 2016 г.) : матер. : в 2 ч. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 91-93.

ПРОЕКТЫ ПОЛНОГО ЦИКЛА В НАУЧНОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ. ПРИМЕРЫ. ПРОБЛЕМЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ

*Курочкин В.Е.¹, д.т.н., директор ФГБУН Института аналитического приборостроения РАН,
Бородин В.А.², чл.-корр. РАН, генеральный директор ФГУП ЭЗАН*

*Алексеев Я.И.^{3,4}, к.б.н., научный директор ООО «НПФ Синтол», зав. лаб. ФГБНУ ВНИИСБ
1 – ФГБУН ИАП РАН, <http://www.iairas.ru/>, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных
д. 31-33, лит А., тел. (812) 363-07-19, e-mail: lavrovas@yandex.ru*

*2 - ФГУП ЭЗАН, <http://www.ezan.ac.ru/>, 142432, Московская область, Ногинский район, г. Черноголовка
проспект Академика Семенова, д. 9, тел. (495) 993-61-20, e-mail: bor@ezan.ac.ru*

3 – ООО «НПФ Синтол», <http://www.syntol.ru/>, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.42, e-mail: jalex@syntol.ru

4 – ФГБНУ ВНИИСБ, <http://www.vniisb.ru/>, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д.42, e-mail: jalex@iab.ac.ru

PROJECTS OF THE FULL CYCLE IN SCIENTIFIC INSTRUMENTATION. EXAMPLES. PROBLEMS. PERSPECTIVES

Kurochkin V.E.¹, Borodin V.A.², Alekseev Y.I.^{3,4}

Annotation

The paper outlines the main stages of market-oriented full-cycle projects in scientific instrumentation, the main problems arising in their implementation, and the perspectives for implementing full-cycle projects in the field of genomic research and genetic technologies. As an example, the development of the domestic genetic analyzer Nanophor 05 is taken. The mechanisms of interaction between the developers of IAP RAS (hardware and software) and LLC Syntol (necessary for the operation of the device reagents) are shown with EZAN RAS and LLC Syntol, which provide serial production, promotion to the market, technical and service maintenance of the developed equipment from consumers.

Keywords

Full cycle project, scientific instrumentation, conjuncture of the market, genetic analysis, DNA sequencing.

Аннотация

В работе сформулированы основные этапы рыночно-ориентированных проектов полного цикла в научном приборостроении, основные проблемы, возникающие при их реализации, а также перспективы реализации проектов полного цикла в области геномных исследований и генетических технологий. В качестве примера взята разработка отечественного генетического анализатора «Нанофор 05». Показаны механизмы взаимодействия разработчиков ИАП РАН (аппаратно-программное обеспечение) и ООО «Синтол» (необходимые для обеспечения работы прибора реагенты) с ФГУП ЭЗАН и ООО «НПФ Синтол», которые обеспечивают серийный выпуск, продвижение на рынок, техническое и сервисное обслуживание разработанного оборудования у потребителей.

Ключевые слова

Проект полного цикла, научное приборостроение, конъюнктура рынка, генетический анализ, секвенирование ДНК.

Введение

Для эффективной реализации проекта полного цикла в области научного приборостроения необходимо, чтобы разрабатываемое научное оборудование соответствовало определенным условиям, а именно было востребовано на рынке, являлось конкурентоспособным по техническим и пользовательским характеристикам, имело эффективную сервисную поддержку, обладало экспортным потенциалом.

Совокупность генетической информации, определяющей особенности организма, сосредоточена в его геноме в виде последовательностей нуклеотидов в составе информационных молекул (ДНК или РНК). В медицине данные о геноме позволяют точно идентифицировать возбудителей инфекционных заболеваний, уточнять их биологические особенности, а также определять тактику лечения и профилактики (например, устанавливать чувствительность к определенным лекарственным препаратам), выявлять наследственные и приобретенные генетические заболевания, в том числе на самых ранних этапах развития организма. Приборы для автоматизированного прочтения последовательностей нуклеотидов в исследуемой ДНК, а также анализа отдельных фрагментов ДНК называются генетическими анализаторами или секвенаторами ДНК. Секвенирование ДНК является на сегодняшний день «золотым стандартом» при идентификации любого живого организма.

В период с 2011 по 2014 годы в Российской Федерации при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ был разработан первый отечественный генетический анализатор «Нанофор 05» [1], не уступающий по своим техническим и пользовательским характеристикам лучшему мировому аналогу – генетическому анализатору Genetic Analyzer ABI PRISM 3500 (США). Всего с 2015 года по настоящее время выпущено и реализовано в Российской Федерации и за рубежом более 30 приборов «Нанофор 05». Экономия от замещения импорта составила более 250 млн. рублей без учета экономии на существенно меньшей цене владения отечественным генетическим анализатором, по сравнению с импортным аналогом. В конце 2015 года на прибор получено Регистрационное удостоверение на медицинское изделие Росздравнадзора. В ходе разработки «Нанофора 05» специально был разработан первый отечественный твердотельный лазер на 488 нм мощностью до

200 мВт, что позволило снизить себестоимость прибора. Разработаны и постоянно совершенствуются программное обеспечение прибора, реагенты и расходные материалы, необходимые для его эффективной эксплуатации.

В докладе суммирован опыт, полученный коллективами института-разработчика, завода-производителя и компании индустриального партнера при реализации проекта полного цикла по разработке, передаче на серийное производство и выводу на рынок отечественной высокотехнологичной инновационной продукции.

Основные этапы рыночно-ориентированного проекта полного цикла.

Основными этапами разработки и внедрения конкурентоспособного научного оборудования являются:

1. постановка задачи с учетом требований рынка (техническое задание, технико-экономический анализ стоимости проекта, обоснование востребованности предлагаемого к разработке оборудования путем маркетинговых исследований);
2. создание коллектива исполнителей разработки в кооперации с заводом-производителем, индустриальным партнером (заказчиком разработки) и определением финансово-экономических отношений между ними;
3. осуществление этапов разработки в соответствии с ГОСТ Р 15.201-2000 [2] в режиме взаимодействия в реальном времени между коллективами разработчика оборудования и конструкторского бюро завода-изготовителя;
4. проведение необходимых технических и клинических испытаний (для медицинских изделий);
5. проведение клинических испытаний (1-1,5 года) с одновременной технологической подготовкой производства на заводе-изготовителе и выпуском установочной партии изделий;
6. рекламирование разрабатываемого оборудования в течение всего срока разработки;
7. размещение оборудования на апробацию в лидирующие в предметной области организации, имеющие возможность проведения сравнительных испытаний с лучшими на текущий момент мировыми аналогами, публикацией полученных результатов и постоянной обратной связью с разработчиками;
8. обеспечение сервисного обслуживания разработанного оборудования;
9. постоянное совершенствование программного обеспечения, реагентов и разработанного оборудования в режиме обратной связи с пользователями.

Основные проблемы при реализации проекта полного цикла.

1. Поиск индустриального партнера, готового со-финансировать разработку и заинтересованного в продвижении разработанного оборудования на внутренний и внешний рынки.
2. Срок реализации опытно-конструкторской работы не должен превышать 2-3 года.
3. Постановка разработанного оборудования на серийное производство сопряжена с затратами на подготовку производства и закупку комплектующих изделий и материалов.
4. Достижение конкурентоспособной стоимости и увеличение объема реализованной продукции требует уменьшения себестоимости оборудования.
5. Необходимость использования (разработки) отечественной элементной базы, используемой в разрабатываемом приборе.
6. Соблюдение законодательства в отношении распределения прав на результаты интеллектуальной деятельности.
7. Конъюнктура рынка, связанная с вытеснением разработанного оборудования новым, созданным на основе новейших технологий, в данном случае, генетических анализаторов на основе полногеномных технологий (NGS – next generation sequencing) [3,4], а также технологий одномолекулярного нанопорового полногеномного секвенирования [5].

Перспективы реализации новых проектов полного цикла.

1. Обеспечение конкурентоспособности за счет выпуска новых моделей оборудования, обладающих большей производительностью и меньшей себестоимостью.
2. Разработка нового типа оборудования на основе превосходящих технологий, в частности, технологий полногеномного секвенирования.

Заключение

Известно, что геномы эукариотов, населяющих нашу планету изучены менее, чем на 0.1%. В связи с необходимостью получения фундаментальных знаний о биоразнообразии населяющих нашу планету живых организмов в этом году анонсирован крупномасштабный 10-летний проект БиоГеном Земли [6]. Бюджет проекта составляет 4.7 миллиарда долларов США, финансирует проект компания Амазон. Согласно прогнозу Inkwood Research объемы роста мирового рынка генетических исследований возрастут с 5 миллиардов долларов США в 2017 году до 12 миллиардов долларов США в 2026 году [7]. Совокупный среднегодовой темп роста рынка геномных исследований составляет по разным данным от 9.65% в период с 2014 по 2019 годы [8] до 11.76% в период с 2017 по 2022 годы [9].

В последние годы в Российской Федерации актуальным является вопрос замещения импорта, особенно в ключевых, жизненно-важных для государства областях деятельности. Одной из таких областей является область масштабных геномных исследований и разработки высокопроизводительных и, одновременно, доступных по цене генетических технологий. Планы дальнейшего развития наиболее перспективных проектов полного цикла в области геномных исследований связаны с выполнением поручения Президента Российской Федерации В.В. Путина № Пр-656 от 18 апреля 2018 года Правительству Российской Федерации [10]. В п.1 пп. а) поручения

сказано: «в целях реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации разработать совместно с президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию и утвердить Программу развития передовых геномных исследований и генетических технологий в Российской Федерации».

Работа выполнена в ИАП РАН в рамках НИР «Научно-методическое обеспечение разработок аналитических систем для нанобиотехнологии и диагностики социально значимых заболеваний и особо опасных инфекций на основе генетических, иммунных и физико-химических методов» по государственному заказу ФАНО 0074-2014-0010, государственный регистрационный номер: АААА-А16-116041310008-3.

Список литературы

1. Я.И. Алексеев, Ю. В. Белов, О. П. Малюченко, Ю. А. Монахова, А. Н. Натыров, В. А. Орехов, С. В. Коновалов, В. Е. Курочкин, А. И. Петров. Генетический анализатор для фрагментного анализа ДНК, Научное приборостроение, 2012. Т. 22, №4, с. 86-92.
2. ГОСТ Р 15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство.
3. <https://www.illumina.com/systems/sequencing-platforms.html>
4. <https://www.thermofisher.com/ru/ru/home/life-science/sequencing/next-generation-sequencing.html>
5. <https://nanoporetech.com/>
6. Harris A.Lewin et al. Earth BioGenome Project: Sequencing life for the future of life. PNAS Latest Articles, 2018, 1-9. doi:10/1073/pnas.1720115115
7. <https://www.inkwoodresearch.com/reports/global-genetic-testing-market-forecast-2018-2026/>
8. <http://www.reportsnreports.com/reports/405109-global-genetic-testing-market-2015-2019.html>
9. https://www.researchandmarkets.com/research/725d6d/genetic_testing
10. <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/57300>.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТОНКОСТЕННЫХ ОБРАЗЦОВ

Якупов С.Н., к.т.н., старший научный сотрудник, tamas_86@mail.ru

Гиниятуллин Р.Р., к.т.н., научный сотрудник, true_way@mail.ru

Якупов Н.М., д.т.н., главный научный сотрудник, yzsrr@kfti.knc.ru

ИММ ФИЦ КазНЦ РАН; 420111, Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

TESTING NODE OF RESEARCH OF CORROSIVE WEAR OF THIN-WALL SAMPLES

Yakupov S. N., Giniyatullin R. R., Yakupov N. M.

Annotation

A testing unit has been developed to investigate the degree of corrosive wear of thin-walled specimens in an aggressive environment under the influence of both mechanical loads and exposure to various physical fields. The test assembly includes a mechanical impact unit; block of magnetic field effect; block of exposure to ultraviolet radiation; a block for estimating the change in the stiffness characteristics of thin-walled samples. New results were obtained on the basis of the testing unit.

Keywords

Corrosion wear, thin-walled samples, medium, magnetic field, ultraviolet radiation, surface deformation, mechanical characteristics.

Аннотация

Разработан узел испытательный для исследования степени коррозионного износа тонкостенных образцов, находящихся в агрессивной среде, при воздействии как механических нагрузок, так и при воздействии различных физических полей. Испытательный узел включает блок механического воздействия; блок воздействия магнитным полем; блок воздействия ультрафиолетовым излучением; блок оценки изменения жесткостных характеристик тонкостенных образцов. На базе испытательного узла получены новые результаты.

Ключевые слова

Коррозионный износ, тонкостенные образцы, среда, магнитное поле, ультрафиолетовое излучение, деформация поверхности, механические характеристики.

Введение

Для обеспечения безаварийной работы конструкций и сооружений необходимо грамотно диагностировать состояния элементов конструкций, достоверно оценивать реальную несущую способность.

Для оценки степени коррозионного износа, как правило, используется гравиметрический метод, который не учитывает сложность структуры, изменение структуры материала и физико-механических характеристик поверхностных слоев, вызванное разрыхлением материала на некоторую глубину или на всю глубину для тонкостенных элементов, метод может дать большой разброс. Стандартный подход одноосного растяжения для оценки механических свойств тонкостенных элементов с коррозионными дефектами также малоэффективен.

Цель работы

Разработка испытательного узла для исследования степени коррозионного износа тонкостенных элементов, находящихся в агрессивной среде, при воздействии как механических нагрузок, так и при воздействии различных физических полей.

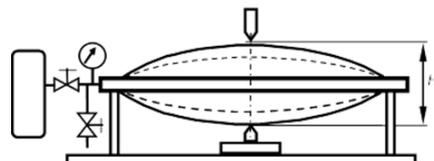
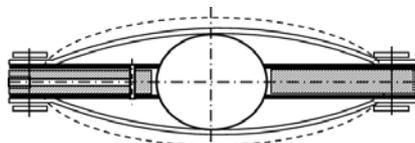
На поверхности металла, находящегося в агрессивной среде, образуется тонкий защитный (пассивирующий) слой, при разрушении которого начинается коррозия [1,2]. Для исследования влияния различных факторов на разрушение пассивирующего слоя разработан испытательный узел, который включает следующие блоки: блок механического воздействия; блок воздействия магнитным полем; блок воздействия ультрафиолетовым излучением; блок оценки изменения жесткостных характеристик тонкостенных образцов.

Блок механического воздействия

Одним из факторов, способствующих разрушению пассивирующей пленки при коррозионном износе, является механическая деформация. Очевидно, что при деформации элемента конструкций пассивирующая пленка также подвергается деформации, что снижает защитные свойства пленки. Работы по исследованию коррозии на нагруженных тонких образцах в двумерной постановке встречаются редко, несмотря на их практическую значимость. Влияние напряжений на процесс коррозии отмечается в [3]. Анализ некоторых работ, учитывающих влияние на коррозию механических напряжений, приведен в [4]. В [5] предложена модель влияния механических деформаций на толщину пассивирующего слоя.

Рассмотрены два варианта деформирования образцов. В первом варианте стягивают противоположные кромки прямоугольных образцов (рисунок 1). Размещают стянутые образцы в исследуемую среду, и выдерживают заданное время. Далее, используя экспериментально-теоретический метод (блок 4), определяют степень коррозии и изменение

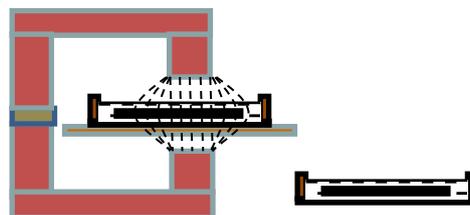
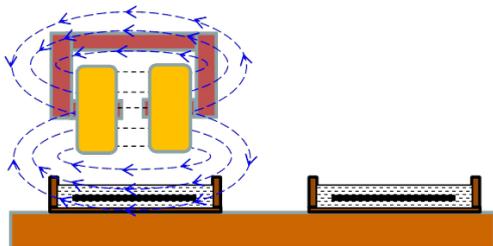
механических характеристик образцов. Во втором варианте два круглых образца, между которыми помещают нагрузочное тело (например, металлический шар), стягивают по контуру (рисунок 2). При стягивании по контуру образцы деформируются. Полученное устройство напоминает «летающую тарелку», которое может иметь различные типоразмеры. В корпусе устройства имеются каналы для соединения полости узла с источником давления (рисунок 2). Размещают «летающую тарелку» в исследуемой области, среде, поле и выдерживают заданное время. Замеряют геометрические параметры до и после испытаний (рисунок 3) и определяют механические свойства. Получены патенты РФ на изобретения [6,7] №№2437077, 2439537.



Создана установка для испытания образцов, разработан подход оценки коррозионного износа тонкостенных образцов в зависимости от степени и характера деформации поверхности. Изучены закономерности коррозии тонкостенных металлических элементов деформированных образцов на базе блоков 1 и 4 испытательного узла. На базе экспериментально - теоретического метода исследований [6] дан ответ на вопрос, на каких поверхностях интенсивнее идет процесс коррозионного износа: на растянутых или сжатых поверхностях? В частности установлено, что коррозионный износ на растянутых поверхностях идет быстрее, чем на сжатых поверхностях.

Блок воздействия магнитным полем

Среди факторов, влияющих на разрушение защитного (пассивирующего) слоя при коррозии, наряду с деформацией [8], можно отметить влияние физических полей, в частности, магнитного поля [10-12]. Для изучения влияния магнитного поля на процесс коррозионного износа тонкостенных элементов разработаны два варианта установки: с электромагнитом (рисунок 4) и с постоянным магнитом (рисунок 5).



Исследования, посвященные изучению влияния магнитного поля на процесс коррозионного износа, встречаются сравнительно мало. Тема новая и актуальная. Изучены закономерности коррозии тонкостенных металлических элементов при воздействии магнитного поля на базе блоков 2 и 4. Отмечено снижение коррозии при наличии магнитного поля [10-12]. Установлено, что большему износу подвержены образцы, поверхности которых параллельны силовым линиям магнитного поля Земли [13]. Эффект снижения коррозии при воздействии магнитного поля открывает новый подход защиты конструкций, в частности, получен базовый патент на изобретение №2547067 [14].

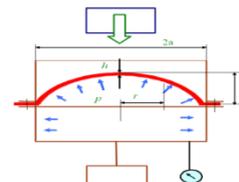
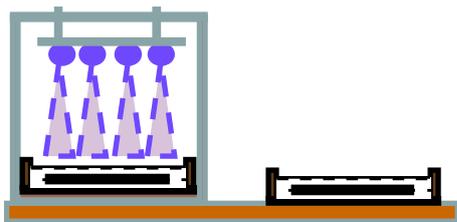
Блок воздействия ультрафиолетовым излучением

Среди факторов, влияющих на разрушение защитного (пассивирующего) слоя при коррозии, наряду с деформацией [6] и магнитным полем [7], можно отметить также ультрафиолетовое (УФ) излучение [15,16]. Разработана установка, позволяющая проводить исследования образцов, находящихся в агрессивной среде и подвергающихся воздействию ультрафиолетового излучения (рисунок 6). Изучены закономерности коррозии тонкостенных металлических элементов при воздействии ультрафиолетового излучения на базе блоков 3 и 4. Для сравнения, одновременно исследуются два одинаковых образца: один из образцов подвергается излучению, а другой нет. Выявлено, в частности, что в растворе соляной кислоты жесткость на растяжение тонкостенных стальных образцов при наличии ультрафиолетового излучения в прерывистом режиме воздействия снижается медленнее, чем при износе без излучения; т.е. ультрафиолетовое излучение в рассмотренном прерывистом режиме воздействия способствует снижению коррозионного износа.

Блок оценки изменения жесткостных характеристик тонкостенных образцов.

На двумерной основе разработан эффективный экспериментально - теоретический метод определения механических характеристик тонкостенных образцов [17-20]. Для испытаний разработана установка (рисунок 7), при обработке экспериментальных данных используются нелинейные соотношения теории оболочек. На способы испытаний получены патенты РФ на изобретение: №№2184361, 2310184, 2387973. Использование для анализа экспериментально - теоретического метода на базе соотношений нелинейной теории оболочек и использование цифровых индикаторов и манометров с заданной точностью, а также применение аппарата статистической обработки для фильтрации

экспериментальных данных позволяет получать достоверные результаты.



Заклучение

Разработанный испытательный узел, состоящий из блоков механического воздействия, воздействия магнитным полем и ультрафиолетовым излучением, а также блока экспериментально-теоретического метода, позволяет определять с высокой степенью точности степень коррозионного износа тонкостенных элементов, находящихся в агрессивной среде, при воздействии как механических нагрузок, так и при воздействии различных физических полей. На базе описанного испытательного узла получены новые результаты [8-17].

Литература

1. Frumkin A.N. // Phys. Chem. 1932. V.B44. №7. P.116.
2. Колотыркин Я.М., Фрумкин А.Н. // ДАН, 1941. Т.33, №7/8. С.451-454.
3. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. М.: Металлургия, 1981. 271с.
4. Локощенко А.М. Методы моделирования влияния окружающей среды на ползучесть и длительную прочность металлов // Успехи механики. 2002. №4. С.90-120.
5. Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Коррозия – союзник аварий и катастроф. Моногр. М.: Изд-во РУДН, 2002. 93с.
6. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Способ испытания тонкостенных образцов под напряжением. Патент на изобретение РФ №2439537.
7. Якупов Н.М., Велиюлин И.И., Антонов В.Г., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Способ испытания тонкостенных образцов под напряжением и устройство «Летающая тарелка» для его осуществления. Патент на изобретение РФ №2437077.
8. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние характера деформирования поверхности элементов конструкции на коррозионный износ // Проблемы прочности, 2012. №2. С.76-84.
9. Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. The influence of the character of deformation of structural element surfaces on the corrosive wear // Strength of Materials, 2012, pp.170-176
10. Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Influence of the magnetic field on corrosive wear // 19th European Conference on Fracture: Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety. Kazan, Russia, 26-31 August, 2012. 203_proceeding.pdf, 2012. 6 с.
11. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние магнитного поля на коррозионный износ // ДАН, 2012. Т.443, №2, с.173-175.
12. Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of a Magnetic Field on Corrosive Wear // ISSN 1028_3358, Doklady Physics, 2012, Vol.57, No.3, pp.104-106.
13. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние направления силовых линий магнитного поля Земли на коррозионный износ // ДАН, 2015. Т.463, №6. С.684-686.
14. Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of the Direction of the Earth's Magnetic Field Lines on Corrosive Wear // Doklady Physical Chemistry, 2015, Vol. 463, Part 2, pp. 188-190
15. Якупов Н.М., Велиюлин И.И., Якупов С.Н., Нуруллин Р.Г., Гиниятуллин Р.Р. Устройство для предотвращения коррозии. Патент №2547067. Опубл.10.04.2015. Бюл. №10. 10 с.
16. Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние ультрафиолетового излучения на коррозионный износ стальных образцов // ДАН, 2012. Т.446, №6, с.624-626.
17. Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of Ultraviolet Radiation on the Corrosive Wear of Steel Samples // Doklady Physics. 2012. Vol.57. No.10, pp.393-395.
18. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытания пленок и мембран в условиях равномерного распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. Т.74. №11, 2008. С.54-56.
19. Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик сферических пленок и мембран со сложной структуры // Механика твердого тела №3, 2011. С.58-66.
20. Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Методика анализа работы конструкций, подверженных коррозионному изнашиванию // Вестник машиностроения. №10. 2012. С.36-40.
21. Yakupov N.M., Nurgaliev A.R., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Operation of Structures with Corrosive Wear // Russian Engineering Research, 2013, Vol. 33, No.2, pp.69-73.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ

Агафонов О.С.¹ к.т.н., старший научный сотрудник

Прудников С.М.¹, д.т.н., заведующий отделом

Викторова Е.П.², д.т.н., профессор, главный научный сотрудник

1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», 350038, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17, <http://vniimk.ru>

2 – Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия», <http://kniihpsp.ru/>

IMPROVEMENT OF THE INTEGRATED SYSTEM OF INSTRUMENTAL DETERMINATION OF INDICATORS AS THE QUALITY OF OIL RAW MATERIALS

Agafonov O.S.¹, Prudnikov S.M.¹, Victorova E.P.²

Annotation

The article is devoted to the improvement of the integrated system for determining sunflower seeds quality indicators using the nuclear magnetic resonance (NMR) method on the example of sunflower seeds. The improvement consists in the development of an express method for determining the mass fraction of oleic acid in sunflower seed oil simultaneously with the determination of the mass fraction of oil and water in them.

Keywords

Nuclear magnetic resonance, express method, imitation samples, sunflower seeds, mass fraction, oleic acid.

Аннотация

Статья посвящена совершенствованию комплексной системы определения показателей качества масличных культур, с использованием метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР) на примере семян подсолнечника. Совершенствование заключается в разработке экспресс-способа определения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника одновременно с определением массовой долей масла и воды в них. Проведены исследования по созданию комплекта образцов-имитаторов, позволяющих воспроизводитьгибающие сигналов спинового эхо протонов масла семян подсолнечника с различным содержанием олеиновой кислоты.

Ключевые слова

Ядерный магнитный резонанс, экспресс-способ, образцы-имитаторы, семена подсолнечника, массовая доля, олеиновая кислота.

Всероссийским НИИ масличных культур им. В. С. Пустовойта (Краснодар) совместно с Уральским НИИ метрологии (Екатеринбург), Госстандартом России, и Всероссийским НИИ жиров (Санкт-Петербург) была разработана комплексная система обеспечивающая единство результатов измерений масличности и влажности семян масличных культур и продуктов их переработки методом ЯМР. Основными элементами комплексной системы являются: ЯМР-анализаторы АМВ-1006М, государственные стандартные образцы (ГСО) 3107 - 3112-84, а также методики градуировки, поверки и выполнения измерений масличности и влажности. Разработанная комплексная система единства измерений масличности и влажности активно эксплуатируется на большинстве предприятия России, которые занимаются селекцией, контролем качества, заготовкой и переработкой масличного сырья. Кроме того, ЯМР-анализаторы АМВ-1006М используются на предприятиях ряда стран СНГ. На сегодняшний день в эксплуатации находился более 300 ЯМР-анализаторов АМВ-1006М. Комплексная система постоянно совершенствуется за счет внедрения современных технических, методических и программных решений [1,2].

Современные тенденции пищевой промышленности, а также успехи ученых селекционеров способствуют появлению новых видов масличного сырья, таких как высокоолеиновый подсолнечник, массовая доля олеиновой кислоты, в масле которого может составлять до 92%. В свою очередь у предприятий, занимающихся селекцией, хранением и переработкой такого сырья остро встает вопрос о внедрении в свои технологические процессы экспресс-способов определения этого показателя качества.

В данной работе приведены результаты исследований, позволяющие расширить функциональные возможности ЯМР-анализаторов масличности и влажности масличных семян и продуктов их переработки АМВ-1006М, с целью определения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника, разработки образцов-имитаторов сигналов ЯМР протонов масла с различной массовой долей олеиновой кислоты в семенах подсолнечника.

Ранее в работах [3-7], были представлены результаты исследования ядерно-магнитных релаксационных характеристик протонов, содержащихся в масле семян подсолнечник с различной массовой долей олеиновой кислоты. По результатам исследований было выявлено наличие трех групп протонов триацилглицеринов,

отличающихся ЯМР-характеристиками. Проведенная статистическая и математическая обработка результатов исследований позволила выявить аналитическую зависимость между значениями времен спин-спиновой релаксации протонов, содержащихся в масле семян подсолнечника, и массовой долей олеиновой кислоты в масле семян. На основании данной корреляции были разработаны инструментальный способ и методика определения массовой доли олеиновой кислоты на основе метода ЯМР.

Следующим этапом исследований была разработка образцов, имитирующих огибающих сигналов спинового эхо протонов масла, содержащихся в семенах подсолнечника с различной массовой долей олеиновой кислоты. С этой целью были исследованы ЯМР-характеристики протонов первой компоненты содержащихся в масле семян подсолнечника, так как они наиболее зависят от массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника. В таблице 1 приведены данные характеризующие изменение времени спин-спиновой релаксации протонов первой компоненты содержащихся в масле семян подсолнечника с массовой долей олеиновой кислоты в диапазоне от 33 до 87%.

Таблица 1 - Время спин-спиновой релаксации протонов первой компоненты масла семян подсолнечника при температуре 23° С.

Образец	Массовая доля олеиновой кислоты, %	Время спин-спиновой релаксации протонов первой компоненты T ₂₁ , мс
1	30	197
2	33	201
3	42	177
4	49	172
5	58	166
6	77	163
7	87	157
8	91	151

Как видно из данных, представленных в таблице 1, наблюдается корреляция между массовой долей олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника и временем спин-спиновой релаксации протонов первой компоненты содержащихся в масле семян подсолнечника. Кроме того, можно сделать вывод, что время спин-спиновой релаксации протонов первой компоненты должно для образцов имитаторов должно соответствовать диапазону от 150 мс до 200 мс при температуре 23° С.

В дальнейшем были проведены исследования ЯМ-релаксационных характеристик протонов кремнийорганических жидкостей различных марок и различной вязкостью, которые показали возможность их использования при создании образцов-имитаторов, воспроизводящих сигналы ЯМР протонов масла с различной массовой долей олеиновой кислоты в семенах подсолнечника.

Выбор в качестве веществ-имитаторов кремнийорганических жидкостей обусловлен их физико-химическими свойствами. Кремнийорганические жидкости обладают высокой термической и химической стабильностью своих характеристик, не токсичны, обладают высокими диэлектрическими показателями, малой зависимостью вязкости от температуры и малой испаряемостью, а широкий ассортимент позволяет подобрать кремнийорганическую жидкость наиболее точно соответствующую заданным параметрам.

Установлено, что для создания комплекта образцов-имитаторов сигналов ЯМР протонов масла, содержащихся в семенах подсолнечника с различной массовой долей олеиновой кислоты в диапазоне от 30 до 90% возможно использовать две кремнийорганические жидкости, времена спин-спиновой релаксации протонов будет находиться в диапазоне 150 - 160 мс и 180 - 200 мс. В зависимости от имитируемого значения массовой доли олеиновой кислоты соотношение кремнийорганических жидкостей изменяется в диапазоне от 25,0 до 87,5% и от 75,0 до 12,5% соответственно. В таблице 2 представлены характеристики разработанного комплекта стандартных образцов-имитаторов массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника.

Таблица 2 - Соотношения полиметилсилоксановых жидкостей в образцах-имитаторах и имитируемое значение массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника

Образец	Имитируемое значение массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника, %	Соотношение полиметилсилоксановых жидкостей (время спин спиновой релаксации), %	
		Первая (180 - 200 мс)	Вторая (150 - 160 мс)
1	37	87,5	12,5
2	49	72,5	27,5
3	61	58,8	41,3

4	71	46,3	53,7
5	81	35,0	65,0
6	89	25,0	75,0

В дальнейшем было проведено обновление программного обеспечения ЯМР-анализаторов АМВ-1006М, которое позволило одновременно с определением масличности и влажности семян подсолнечника определять значения массовой доли олеиновой кислоты. Были проведены исследования по влиянию температуры на результаты измерения методом ЯМР массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника. По результату данных исследований была разработана способ автоматической коррекции результатов измерения массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника, в диапазоне от 20 до 28° С [9].

Таким образом, в ходе проведенных исследований удалось провести совершенствование инструментального экспресс-способа определения показателей качества семян подсолнечника и реализовать одновременное определение масличности, влажности и массовой доли олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника. Разработаны комплекты образцов-имитаторов, позволяющие проводить градуировку ЯМР-анализаторов. Разработанная и внедренная программа автоматической корректировки результатов измерений, что значительно сократило время проведения анализов. Производственные испытания показали высокую заинтересованность предприятий масложировой отрасли во внедрение подобного инструментального решения, в силу его простоты, отсутствия специальных требования при проведении анализов и его экологической безопасности.

Список литературы

1. Комплексная система единства измерения масличности и влажности [Текст] / С.М. Прудников [и др.] //Масложировая промышленность. - 2002. - №2. - С. 40-41.
2. ГОСТ Р 8.620-2006. Государственная система обеспечения единства измерений. Семена масличных культур и продукты их переработки. Методика выполнения измерений масличности и влажности методом импульсного ядерного магнитного резонанса. - Введ. 2007-01-01. –М.: Стандартинфо, 2006. – 15с.
3. Прудников С.М. Научно-практическое обоснование способов идентификации и оценки качества масличных семян и продуктов их переработки на основе метода ядерной магнитной релаксации: Диссертация ... д-ра техн. наук / Прудников Сергей Михайлович. - Краснодар, 2003. 244с.
4. Разработка способа определения содержания олеиновой кислоты в триацилглицеринах масла семян подсолнечника [Текст// Наумов Н.Н. [и др.] Известия вузов. Пищевая технология. 2006. № 2-3. С. 96- 97.
5. Способ определения содержания олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника: пат. 2366935 С1 Рос. Федерация, МПК G01N 24/00. / Б.Я. Витюк, И.А. Гореликова.- заявка № 2008116369/04; заявл. 24.04.2008; опубл. 10.09.2009.- Бюл. № 25.
6. Высокоолеиновый подсолнечник и современные методы контроля содержания олеиновой кислоты/Агафонов О.С. [и др.] //Пищевая промышленность: наука и технология.- 2013.- № 4 (22).- С.91-94.
7. Применение метода ЯМР для определения содержания олеиновой кислоты в масле семян подсолнечника/ О.С. Агафонов [и др.] / Материалы 18 Международной научно-практической конференции, посвященная памяти В. М. Горбачева «Развитие биологических и постгеномных технологий для оценки качества сельскохозяйственного сырья и создания продуктов здорового питания, 9-10 декабря 2015г.- С.24-27.
8. Влияние температуры на параметры сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) протонов масла в семенах подсолнечника с различным содержанием олеиновой кислоты// Агафонов О. С., Руснаг Г. В. Материалы II научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции», 20 марта 2016г., Краснодар. – С. 253-261

КОМПАКТНОЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО СБОРА И ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ

Алешин И.М.^{1,2}, к.ф.-м.н., главный научный сотрудник, ima@ifz.ru

Гетманов В.Г.^{1,2}, д.т.н., главный научный сотрудник, v.getmanov@gcras.ru

Груднев А.А.^{1,2}, ведущий инженер, a.groudnev@gcras.ru

Добровольский М.Н.¹, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, m.dobrovolsky@gcras.ru

Иванов С.Д.², к.т.н., научный сотрудник, foma@ifz.ru

Корягин В.Н.², к.э.н., ведущий научный сотрудник, vlad@ifz.ru

Красноперов Р.И.¹, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, r.krasnoperov@gcras.ru

Кудин Д.В.¹, младший научный сотрудник, dvkudin@gmail.com, Передерин Ф.В.², научный сотрудник, crash@ifz.ru

Соловьев А.А.^{1,2}, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией, a.soloviev@gcras.ru

Холодков К.И.², к.т.н., научный сотрудник, keir@ifz.ru

1 – Геофизический центр РАН, <http://gcras.ru>, 119296, г. Москва, ул. Молодежная, д. 3, тел.: +7 495 930-0546

2 – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, <http://ifz.ru>

123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, тел.: +7 499 254-8997

COMPACT ENERGY EFFICIENT REALTIME GEOMAGNETIC DATA LOGGER

*Aleshin I.M.^{1,2}, Getmanov V.G.^{1,2}, Grudnev A.A.^{1,2}, Dobrovolsky M.N.¹, Ivanov S.D.², Koryagin V.N.²,
Krasnoperov R.I.¹, Kudin D.V.¹, Perederin F.V.², Soloviev A.A.^{1,2}, Kholodkov K.I.²*

Annotation

We present the energy efficient portable and compact geomagnetic datalogger. It utilizes SEEDLink protocol to transmit the data to datacenter in realtime. The logger also exposes remote control of the datalogger itself and all connected devices.

Keywords

Data acquisition, realtime data transfer, ARM processor, SEEDLink.

Аннотация

Разработано устройство, обеспечивающее регистрацию геомагнитных данных. Регистратор отличается малым энергопотреблением, небольшим размером и весом. Регистрация осуществляется на основе специализированного протокола SEEDLink, который позволяет также осуществлять оперативную передачу данных. Имеется возможность удаленного управления как самим устройством, так и соединенным с ним измерительным оборудованием.

Ключевые слова

Регистрация данных, оперативная передача данных, ARM-процессор, SEEDLink.

Цель работы

Цель работы — создание портативного регистратора, обеспечивающего решение широкого круга задач, связанных с получением и обработкой данных геомагнитных наблюдений. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, необходимо обеспечить получение данных с регистрирующей аппаратуры, вместе с этим нужно организовать систему локального хранения данных с возможностью доступа к этим данным, физического или по локальной сети. Наличие такой системы обеспечит сохранность данных, а также непрерывность процесса регистрации при отсутствии удаленного доступа к устройству. К этому кругу задач можно отнести архивацию записанных наблюдений с автоматическим переносом на независимые системы хранения в локальной сети. Во-вторых, требуется решение задач, связанных с передачей данных в удаленный центр хранения. Это, помимо создания соответствующей инфраструктуры центра, подразумевает создание и программно-аппаратную реализацию сценариев автоматической передачи данных по глобальным сетям (Интернет и/или ведомственным сетям, таким как МЕКОМ Росгидромета). При этом важно обеспечить возможность оперативной (в режиме реального времени) передачи информации. Оперативная передача данных становится особенно актуальна при организации служб мониторинга космической погоды, в частности геомагнитной обстановки, например, для оповещения о возникающих электромагнитных возмущениях, которые могут привести к нарушениям связи и сбоям работы навигационного оборудования. Другим аспектом использования оперативной информации является осуществление контроля функционирования регистрирующего оборудования. Для этого необходимо иметь службу, информирующую о текущем состоянии систем регистрации, оповещающей о сбоях в работе и пр. При этом, для обеспечения максимально быстрой реакции на нештатные ситуации, желательно иметь возможность удаленного доступа ко всем компонентам регистрирующего оборудования для диагностики и настройки. Наконец, при создании системы необходимо, на наш взгляд, использовать универсальный подход к взаимодействию с различным магнитометрическим оборудованием, по крайней мере при работе с данными измерений.

Основные методы решения

Для решения этих задач было разработано устройство сбора и передачи данных геомагнитных наблюдений. Устройство представляет собой адаптацию созданной ранее универсальной системы сбора геофизических данных [3], для организации геомагнитных наблюдений [5] и удаленного управления [4] магнитометром POS-1 [1]. Аппаратная часть решения основана на базе одноплатного компьютера с ARM-процессором. Из широкого набора предлагаемых в настоящее время решений на базе однокристальных (system-on-chip) систем мы использовали компьютер семейства Raspberry Pi [11]. В качестве операционной системы нами был использован вариант Linux – Arch Linux [7]. Похожее решение представлено в работе [6], однако мы в своей работе для организации сбора и передачи данных использовали технологию, получившую широкое распространение в сейсмологии. Центральное место в этой схеме занимает формат представления данных miniSEED, разработанный в Объединенном исследовательском институте сейсмологии (Incorporated Research Institutions for Seismology, IRIS) и специально разработанный протокол оперативной передачи данных в этом формате SEEDLink [9]. Имеется несколько реализаций протокола, среди которых наиболее удобным в применении является пакет SeisComp3 [12], который содержит большую часть необходимых компонент системы. При его использовании для включения устройства в схему регистрации достаточно разработать относительно несложную программу (plugin), обеспечивающую сопряжение источника данных с системой передачи данных. Фактически, это сводится к преобразованию регистрируемых данных в формат miniSEED. Такое сопряжение нами было выполнено ранее для магнитометра POS-1 [5]. В настоящее время в эту схему включены магнитометры GEM Systems [8] и вариометр, оснащенный аналого-цифровым преобразователем obsDAQ [10]. При этом ресурсов системы вполне достаточно для одновременного подключения к одному устройству нескольких источников данных.

Возможности операционной системы, под управлением которой работает система сбора, позволяют естественным образом решить задачу удаленного управления и настройки оборудования просто за счёт штатных средств ОС – таких как Secure Shell. Однако имеется и более совершенное решение, обеспечивающее доступ к оборудованию по протоколу HTTP с использованием REST API [4].

Существенным свойством протокола передачи данных SEEDLink является тот факт, что, против обыкновения, источник данных является сервером, а компьютер, получающий данные, в том числе и находящийся в центре хранения данных, выступает в роли клиента. С одной стороны, такая схема удобна при необходимости получения данных одновременно несколькими клиентами. С другой стороны, она подразумевает непосредственный удаленный доступ к регистратору, что проблематично, особенно в сетях IPv4, где из-за дефицита IP-адресов часто задействуется приём, препятствующий прямому подключению (NAT, брандмауэры). Нами показано [2], что работа в таких условиях возможна при использовании технологии виртуальных частных сетей (VPN), а при переходе на интернет-протокол версии 6 проблем с прямым подключением не возникает.

Выводы

Создание регистратора на базе портативных одноплатных ARM-компьютеров позволяет эффективно решить ряд задач, связанных со сбором, передачей и хранением геомагнитных данных. Использование полнофункционального компьютера существенно упрощает разработку по сравнению с решениями, основанными на микроконтроллерах. Это упрощение связано, прежде всего, с возможностями, предоставляемыми операционной системой Linux, включая широкий выбор свободно распространяемого программного обеспечения. В свою очередь, адаптация элементов программного обеспечения, применяемого в системах регистрации сейсмических данных, позволила разработать унифицированный подход к получению геомагнитных данных от разных регистрирующих устройств.

Список литературы

1. Сапунов В.А., Денисов А.Ю., Савельев Д.В., Хомутов С.Ю., Кусонский О.А., Доломанский Ю.К., Rasson J.L. Абсолютный Оверхаузеровский магнитометр POS-1 и опыт его применения на магнитных обсерваториях // *Метрологические основы магнитных наблюдений Сибири и Дальнего Востока: Сб. докладов*. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2003. С.4–13.
2. Использование технологий виртуальных частных сетей для организации оперативных систем геофизических наблюдений / И. М. Алёшин, А. Е. Васильев, К. И. Холодков, Ф. В. Передерин // *Сейсмические приборы*. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 63–69.
3. Универсальная портативная система сбора геофизических данных / И. М. Алёшин, С. С. Бургучев, Ф. В. Передерин, К. И. Холодков // *Наука и технологические разработки*. — 2016. — Т. 95, № 4. — С. 17–20.
4. Программная реализация удалённого управления процессами регистрации и оперативной передачи геомагнитных измерений / Ф. В. Передерин, И.М. Алешин, К. И. Холодков и др. // *Сейсмические приборы*. — 2016. — Т. 52, № 4. — С. 76–82.
5. Software for realtime acquisition of geomagnetic data and station management / I. M. Aleshin, S. S. Burguchev, K. I. Kholodkov et al. // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2016. — Vol. 16, no. 5. — P. 1–4.
6. A low-power data acquisition system for geomagnetic observatories and variometer stations / Morschhauser, A., Haseloff, J., Bronkalla, O., Müller-Brettschneider, C., Matzka, J. // *Geosci. Instrum. Method. Data Syst*. – 2017. – Vol. 6, P. 345-352
7. Arch Linux. URL: www.archlinux.org (дата обращения: 12.04.2018)
8. GEM GSM-19T // GEM Systems URL: www.gemsys.ca/versatile-proton-magnetometer-gradimeter/ (дата обращения: 12.04.2018)
9. SeedLink // IRIS. URL: ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/services/seedlink/ (дата обращения: 12.04.2018).
10. 24-bit fast A/D converter module for analog output magnetometers // MinGeo Ltd., 2015. URL: www.mingeo.com/prod-magrec4b.html (дата обращения: 12.04.2018)
11. Raspberry Pi Foundation. URL: www.raspberrypi.org (дата обращения: 12.04.2018)
12. SeisComp. Applications. Seedlink. URL: www.seiscomp3.org (дата обращения: 12.04.2018)

СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Алешин С.В.¹ инженер-конструктор, Курицын А.В.¹ инженер-конструктор

Новиков Д.О.^{2,3} начальник бюро перспективных проектов

Луцевский С.С.² начальник отдела программного обеспечения

*1 – ООО «НТП «Технософт-М», <http://technosoft-m.ru>, 107370 г. Москва, Открытое шоссе 14
e-mail: sv.aleshin@gmail.com, тел. 8 (495) 380-11-21*

*2 – ФГУП ЭЗАН, <http://www.ezan.ac.ru>, 142432, Московская область, г. Черноголовка,
проспект Академика Семенова, д. 9, тел. 8 (495) 993-37-57*

*3 – МГТУ им. Н.Э. Баумана, <http://www.bmstu.ru>, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
тел. 8 (499) 263-63-91*

TSET BENCH FOR ACTIVE-ADAPTIVE ELECTRICAL TRANSMISSION NETWORKS CONTROL ALGORITHMS PROCESSING

Aleshin S.V.¹, Novikov D.O.^{2,3}, Kuritsyn A.V.¹, Lushevskiy S.S.²

Annotation

This paper describes the test bench with distributed architecture of data processing for emulation of actively adaptive management of electric networks. This equipment has possibility for developing management algorithms and efficiency estimation. A description of the domestic hardware used for measuring basic electrical parameters and data processing is given. The application for control and configuration of bench equipment with distributed multi-core architecture support and real-time data processing support SCADA system is considered.

Keywords

Active-adaptive control, bay controller, SCADA, power quality.

Аннотация

В работе представлен стенд для эмулирования активно-адаптивного управления режимами работы электрических сетей с распределённой архитектурой сбора и обработки данных с возможностью отработки алгоритмов управления и оценки эффективности. Дано описание применяемых аппаратных средств отечественной разработки для измерения базовых электротехнических параметров и построения систем сбора и обработки данных. Рассмотрено практическое применение SCADA системы с поддержкой распределённой многоядерной архитектурой и поддержкой жесткого реального времени для решения задачи управления и конфигурирования стендового оборудования.

Ключевые слова

Активно-адаптивное управление, контроллер присоединения, SCADA-система, качество электроэнергии.

Введение

В настоящее время в распределённых электрических сетях наблюдается большое разнообразие используемого оборудования и систем сбора и обработки данных. Эффективность такого рода систем сильно различается в зависимости от производителя оборудования и типа объекта управления. Для выбора оптимальных параметров регулирования и оценки суммарного экономического эффекта от внедрения необходимо использовать приборы, регистрирующие электрические параметры, задатчики значений напряжения и токов, а также имитаторы нагрузки. Для комплексного решения задачи предлагается использовать компьютеризированную систему для отработки алгоритмов активно-адаптивного управления в сетях передачи электрической энергии.

В качестве базового элемента данной системы используется контроллер присоединения (КП) – это устройство, позволяет производить измерения мгновенных значений токов и напряжений с частотой до 8 кГц с их последующей обработкой и выдачей результата в формате протокола MODBUS/TCP по Ethernet интерфейсу. Устройство обладает необходимым количеством интерфейсных модулей, таких как аналоговый ввод напряжения и тока, релейный выход и дискретные входы, которые позволяют измерять в реальном времени параметры, аппаратно имитировать различные режимы работы и выдавать управляющие команды в электрической сети.

В качестве программного обеспечения функционирования стенда используется SCADA система поддерживающая весь набор функций для работы с КП, а также она обеспечивает возможность подключения широкого спектра оборудования, применяемого в системах электроснабжения. Особенность, используемой SCADA, возможность

внедрения в код проекта вычислительных блоков, реализованных на аппаратном языке C# для ускорения процесса вычислений, что даёт возможность выдавать расчётные параметры с минимальной временной задержкой, а также реализовывать сложные алгоритмы управления, использующие мощный математический аппарат и требующие значительных вычислительных мощностей.

Аппаратное обеспечение

Структурная схема стенда для отработки алгоритмов активно-адаптивного управления приведена на рисунке 1.

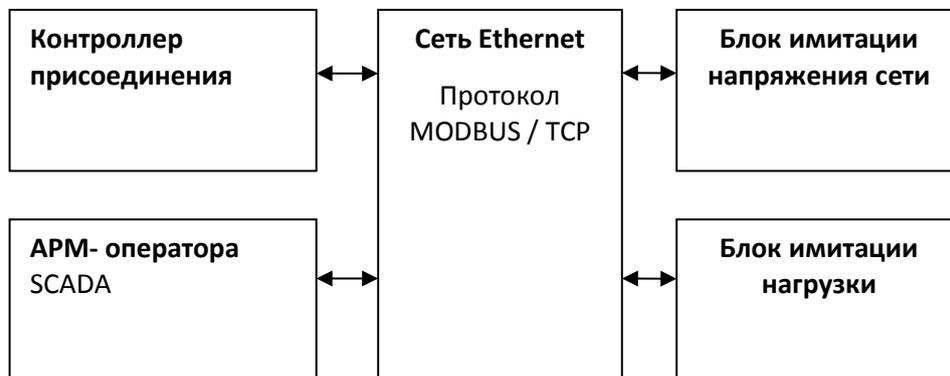


Рисунок 1 – Структурная схема стенда для отработки алгоритмов активно-адаптивного управления

Система состоит из КП, блока имитации напряжения сети, блока имитации нагрузки с модулем управления и рабочего места оператора под управлением SCADA. Связь между блоками и модулями осуществляется по Ethernet интерфейсу с использованием стандартизованного протокола MODBUS/TCP. Это позволяет использовать в стенде оборудование, применяющееся в электросетях для тестирования.

Блок имитации напряжения сети позволяет в автоматизированном режиме регулировать параметры входного напряжения системы, что позволяет смоделировать работу трансформаторов с возможностью регулирования под нагрузкой (РПН), а также задавать суточные графики для проверки работы алгоритмов компенсации пиковых значений напряжения.

Блок имитации нагрузки выполняет последовательное ступенчатое изменение нагрузки сети в соответствии с заданным графиком. Это позволяет проверить работу алгоритмов компенсации в моменты пиковых значений токов и при периодическом изменении нагрузочной характеристики. Графики изменения задаются в табличном виде с указанием кванта времени переключения с разрешением 100мсек.

Контроллер КП выполняет функции первичного измерения, сбора и обработки параметров электрической сети. В качестве базовых параметров выбраны:

1. U_1 - амплитуда напряжения прямой последовательности;
2. I_1 - амплитуда тока прямой последовательности;
3. P - активная мощность $U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(f)$;
4. Q - реактивная мощность $U_1 \cdot I_1 \cdot \sin(f)$;
5. $\cos(f)$ - коэффициент мощности;
6. S - полная мощность $U_1 \cdot I_1$;
7. U_{rms} - действующее значение напряжения для фазы 1;
8. I_{rms} - действующее значение тока для фазы 1;
9. U_{rms} - действующее значение напряжения для фазы 2;
10. I_{rms} - действующее значение тока для фазы 2;
11. U_{rms} - действующее значение напряжения для фазы 3;
12. I_{rms} - действующее значение тока для фазы 3.

Постоянное обновление данных с временным разрешением 1 с и ведение полного архива измеренных значений позволяет проводить глубокий анализ работы алгоритмов компенсации и оптимизации параметров электрической сети при заданных возмущениях и оценивать их эффективность по различным критериям.

Программное обеспечение

Для работы программных алгоритмов, а также обеспечения информационного обмена и поддержки

работоспособности всего комплекса было предложено использование SCADA с поддержкой протоколов МЭК.

SCADA построена с использованием принципа многоядерной архитектуры. Каждое приложение имеет в своем составе микроядро, обеспечивающее связь с другими приложениями системы. Благодаря такой архитектуре повышается общая живучесть системы и ее надежность.

Использование аппаратной части на базе контроллера КИ, а также программного обеспечения SCADA для реализации алгоритмов работы позволило реализовать полнофункциональную натурную модель системы с алгоритмами активно-адаптивного управления режимами электрической сети.

Заключение

В отличие от дорогостоящих систем моделирования энергосистем в реальном времени с использованием RTDS, предлагаемый стенд отличается простотой исполнения и позволяет обрабатывать алгоритмы оптимизации, используя коммутационные системы, аналогичные оборудованию установленному на подстанциях характеристики которого, в следствии морального и технического устаревания, отличаются от заявленных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, в рамках конкурса «Развитие НТИ», Договор №77ГРНТИС5/25959 от 22.12.2016.

Список литературы

1. ИЕС 61850-1:2003 Communication Networks and Systems in Substations; Introduction and Overview.
2. Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в городских сетях. Под ред. Н.А. Мельникова. М.: "Энергия", 1967.
3. Система активно-адаптивного регулирования напряжения в распределительных электрических сетях / Р.Р. Насыров, В.Н. Тульский; под ред. И.И. Карташева. — М.: МЭИ, 2013.
4. Сборник тезисов. XVIII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» / И.М. Ябузарова, Р.Р. Насыров: «Разработка алгоритма управления устройством автоматического регулирования напряжения под нагрузкой». М.: МЭИ, 2012.

Новицкий П.В. Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.

СКАНИРУЮЩИЙ СПЕКТРОМЕТР МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНФОКАЛЬНО-ЗОНДОВОГО МИКРОСКОПА

*Анисимов А.Н., аспирант, Бабунц Р.А., ст. н. с. к. ф.-м. н., Солтамов В. А., н. с. к. ф.-м. н.,
Баранов П.Г., заведующий лабораторией, д. ф.-м. н., профессор
ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Адрес: Политехническая ул. 26, г. Санкт-Петербург, Россия, т. +7(812) 292 7320
e-mail: aan0100@gmail.com, pavel.baranov@mail.ioffe.ru, http://www.ioffe.ru, http://www.ioffe.ru/labmsc*

SCANNING MAGNETIC RESONANCE SPECTROMETER ON THE BASIS OF INDUSTRIAL CONFECTIONAL PROBE MICROSCOPE

Anisimov A.N., Babunts R.A., Soltamov V.A., Baranov P.G.

Annotation

The Ioffe Institute developed scanning magnetic resonance spectrometer based on the industrial confocal-probe microscope of NT-MDT SI company. This spectrometer allows one to register spin color centers in diamond and silicon carbide with high spatial resolution. The operating range of the radio-frequency range lies in the range from 1 MHz to 4 GHz, while the contribution to the magnetic resonance is detected optically.

Keywords

Spectrometer, optical detected magnetic resonance, SiC, spin centers.

Аннотация

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе разрабатывается сканирующий спектрометр магнитного резонанса на базе промышленного конфокально-зондового микроскопа фирмы NT-MDT SI. Данный спектрометр позволяет регистрировать спиновые центры окраски в алмазе и карбиде кремния с высоким пространственным разрешением. Рабочий диапазон радиочастотного диапазона лежит в области от 1МГц до 4ГГц при этом вклад в магнитный резонанс регистрируется оптически.

Ключевые слова

Спектрометр, оптическое детектирование магнитного резонанса, SiC, спиновые.

Перед современной научной приборной базой стоит задача по изучения пространственного распределения магнитных, электрических, температурных полей, оптических свойств с микронным и субмикронным разрешением с использованием квантовых сенсоров на основе спиновых центров карбида кремния или алмаза, которые являются датчиками в основе которых лежит метод Оптически Детектируемого Магнитного Резонанса. Решение данных задач очень важно, в частности, в биологических исследованиях. Например: изменение температуры окружающей структуры белка проявляется по взаимодействию с парамагнитными центрами в алмазе [1], нейрон при возбуждении создает вокруг себя меняющиеся электрические и магнитные поля, - все это можно регистрировать по изменению сигнала ОДМР в спиновой метке [2]. С его помощью можно детектировать магнитные поля с чувствительностью ~ 100 нТл, что открывает доступ к информации о наличии неспаренных электронных спинов (радикалов, оборванных связей, парамагнитных примесей и т.д.) в изучаемых объектах. На текущий момент имеется много свидетельств о продуктивности метода при использовании NV-центров в алмазе [3]. С помощью этих сенсоров становится возможным манипуляции одиночными спинами или спиновыми пакетами в условиях окружающей среды. Это может быть применяться не только в качестве сенсорики, но и для проведения квантовых вычислений, записи, считывания и хранения квантовой информации. Всё это можно реализовать с помощью гибрида атомно-силового микроскопа и ОДМР-спектрометра.

Атомно-силовой микроскоп был создан в 1982 году в США, как модификация изобретённого ранее сканирующего туннельного микроскопа. Данный прибор позволил определять рельеф поверхностей непроводящих тел. Дальнейшее развитие атомно-силовой микроскопии привело к возникновению таких методов, как магнитно-силовая микроскопия, силовая микроскопия пьезоотклика электросиловой микроскопии и пр. Эти методы применяются в современном мире для изучения свойств объектов с атомарным разрешением.

Методы магнитно резонансной спектроскопии (ЭПР, ОДМР, ЯМР, ДЭМР) хорошо известны своей информативностью и чувствительностью к структуре и свойствам вещества, однако не обладает таким пространственным разрешением как атомно-силовая микроскопия.

Мы постарались совместить преимущества пространственного разрешения атомно-силовой микроскопии и информативность и чувствительность магнитно резонансной спектроскопии. Серийных приборов, которые бы объединяли магнитно-резонансные и зондово-оптические методики, в данный момент на рынке нет.

Спиновые центры окраски и методы регистрации на них, которые легли в основу применения данных методов были сделаны недавно [4-5] и еще не успели быть внедрены в серийное производство научного

оборудования. А методики повышающие чувствительность центров к магнитному полю и температуре продолжают развиваться.

Спиновые центры в карбиде кремния (SiC), по сравнению с NV-центрами, обладают рядом преимуществ [4,5], возбуждение и люминесценция центров в SiC лежит в области прозрачности волоконной оптики и большинства биологических объектов (800-1000 нм). Политипизм кристаллической структуры SiC позволяет манипулировать свойствами центров. В одной кристаллической матрице сосуществуют центры с параметрами, не зависящими от температуры, актуальные для магнитометрии, так и температурно-чувствительные центры, которые можно использовать для термометрии [5]. На Рис. 1 слева приведена схема эксперимента для идентификации спиновых центров. На рисунке 2 приведен принцип регистрации с использованием наночастиц SiC со спиновыми центрами.



Рисунок 1 – Наглядное изображение идентификации спиновых центров в карбиде кремния.

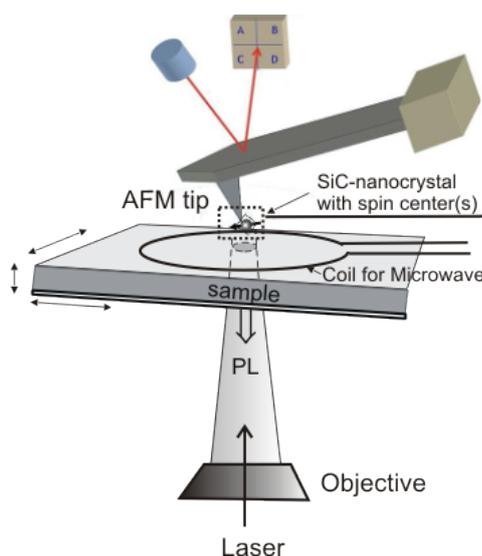


Рисунок 2 – Схема применения АСМ и конфокальной регистрации ОДМР.

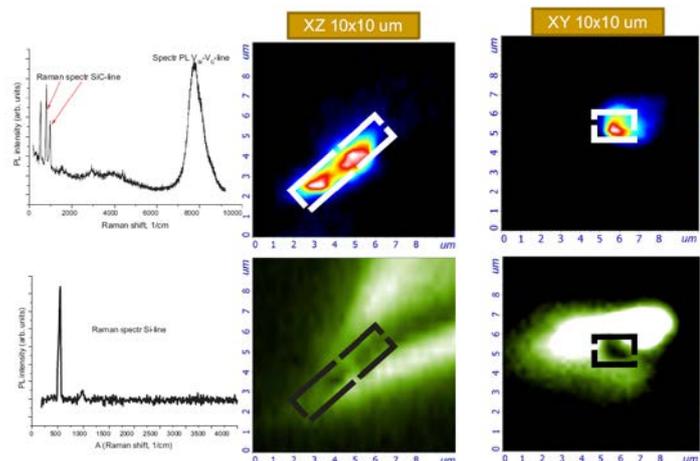


Рисунок 3 – Изображение кантилевера полученное с помощью конфокального микроскопа. Сверху изображены наночастицы SiC закрепленные на острие кантилевера. Снизу показан сам кремниевый кантилевер. Слева показаны спектры полученные от наночастицы SiC (сверху) и романовская линия кремниевого кантилевера.

Для регистрации слабых магнитных полей необходимо изготавливать специализированные зондовые датчики содержащие наночастицы со спиновыми центрами. Пример такого датчика показан на рисунке 3.

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе проводятся разработки по развитию сканирующей магнитно-резонансной зондовой микроскопии для дальнейшего применения в качестве сенсорики слабо-магнитных образцов.

Список литературы

1. L. T. Hall et al., *Nature Scientific Reports*, Vol. 2, 401, 2012.
2. J. F. Barry et al., *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 113, no. 49, 2016.
3. L. P. McGuinness et al., *Nature Nanotechnology*, Vol. 6, p. 358-363, 2011.
4. D. Simin et al., *Phys. Rev. X*, Vol. 6, 031014, 2016.
5. A.N. Anisimov et al., *Nature Scientific Reports*, Vol. 6, 33301, 2016.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЗОНДОВАЯ СТАНЦИЯ PROBESTATION ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Сизов А.^{1,2}, к.х.н., м.н.с. Анисимов Д.С.^{1,2}, асп., м.н.с.

Труль А.^{1,2}, асп., м.н.с., Агина Е.^{1,2}, к.х.н., в.н.с., werdas@mail.ru

1 – ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН), <http://ispm.ru/>, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.70

2 – ООО «Технологии печатной электроники», <http://www.printeltech.com>, г. Москва, ул. Профсоюзная д.70

AUTOMATED PROBE STATION FOR MICROELECTRONIC DEVICE TESTING

Sizov A.^{1,2}, Anisimov D.^{1,2}, Trul A.^{1,2}, Agina E.V.^{1,2}

Annotation

The presented probe station is designed for microelectronic device testing and staffed with automated probes and sample holder as well as precision electrical measurement source-meter. It is equipped with a microscope for accurate probes positioning and software designed for semiconductor analyzing including organic semiconductors. Additional probes installation allows testing of complementary integrated circuits. Probe station is intended for small manufactures and laboratory use. One of its key features is the ability for installation inside the glovebox since all manipulations can be remotely controlled using personal computer.

Keywords

Probe station, semiconductors, microelectronics, electrical measurements, transistors, integrated circuits.

Аннотация

Зондовая станция ProbeStation сконструирована для оценки электрических свойств микроэлектронных устройств путем взаимного позиционирования полуавтоматизированных микроманипуляторов-зондов и исследуемых образцов, а также записи их вольт-амперных характеристик (ВАХ). Процесс позиционирования осуществляется и контролируется пользователем при помощи цифрового микроскопа. Запись ВАХ осуществляется при помощи внешнего источника-измерителя и управляется пользователем с помощью программного обеспечения, входящего в комплект зондовой станции.

Зондовая станция предназначена для использования на малых производствах, в научных лабораториях, а также в образовательных целях.

Ключевой особенностью зондовой станции является возможность ее установки в существующий перчаточный бокс с инертной атмосферой, с возможностью удаленного управления процессом записи ВАХ в условиях контролируемой атмосферы. При этом миниатюрная конструкция зондовой станции позволяет разумно организовать пространство внутри перчаточного бокса, а наличие автоматизации максимально упрощает процесс записи ВАХ.

Ключевые слова

Зондовая станция, полупроводники, микроэлектроника, электрические измерения, транзисторы, интегральные схемы.

Введение

Большое количество лабораторий и небольших производств в последнее время занимаются полупроводниковой техникой и интегральными схемами. Многие из составных элементов таких устройств имеют малый размер, а для лабораторных устройств требуется оборудование, адаптируемое под нестандартные образцы. Для измерения их электрических характеристик используются зондовые станции, позволяющие точно позиционировать измерительные электроды относительно контактных площадок.

В представленной работе создан автоматизированный измерительный стенд, который с помощью микроскопа, микрометрических винтов и шаговых двигателей позволяет очень точно позиционировать подложки произвольного размера и форм-фактора в измерительном поле и исследовать их электрические свойства. Измерительная станция подходит для тестирования лабораторных образцов и интегральных схем.

Описание зондовой станции

Зондовая станция представляет собой базу из нержавеющей стали, к которой крепятся микроскоп и подвижные зонды. Станция оснащена столиком для образцов, автоматизированном в XY направлениях шаговыми двигателями. Измерительные зонды автоматизированы шаговым двигателем по высоте, а в XY направлениях управляются микрометрическими винтами. На рисунке 1 показано схематическое изображение базы станции ProbeStation 100 с установленными на нее двумя полуавтоматизированными манипуляторами.

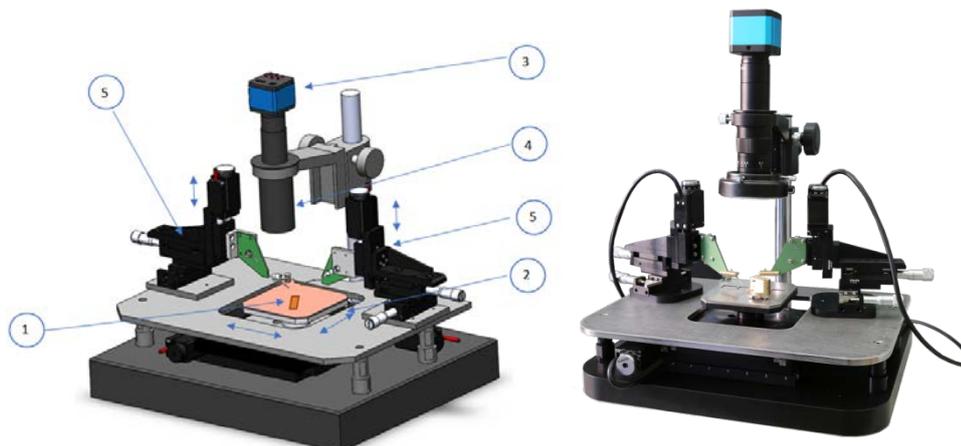


Рисунок 1 – Схематичное изображение (слева) и фотография (справа) базы станции ProbeStation 100 с установленными на нее двумя полуавтоматизированными манипуляторами и полностью автоматизированным столиком.

Исследуемый образец (1), закрепленный на установленном сменном столике, устанавливается на автоматизированном предметном столике (2). Перемещение Предметного столика автоматизировано в двух осях, что позволяет осуществлять перемещение исследуемого образца при помощи ПК. Для позиционирования зондов на поверхности образца используется встроенная система видеонаблюдения, состоящая из Цифровой камеры (3) и Оптического микроскопа (4). Позиционирование зондов осуществляется непосредственно при помощи полуавтоматизированных манипуляторов (5).

Компактность и возможность удаленного управления обеспечивает возможность установки станции в перчаточный бокс, что крайне важно для лабораторных измерений образцов, склонных к деградации в присутствии кислорода и влаги. Установка зондовой станции в бокс производится в соответствии со схемой, приведенной на рисунок 2. Кабели 1-8, обозначенные на схеме, входят в стандартную комплектацию ProbeStation 100.

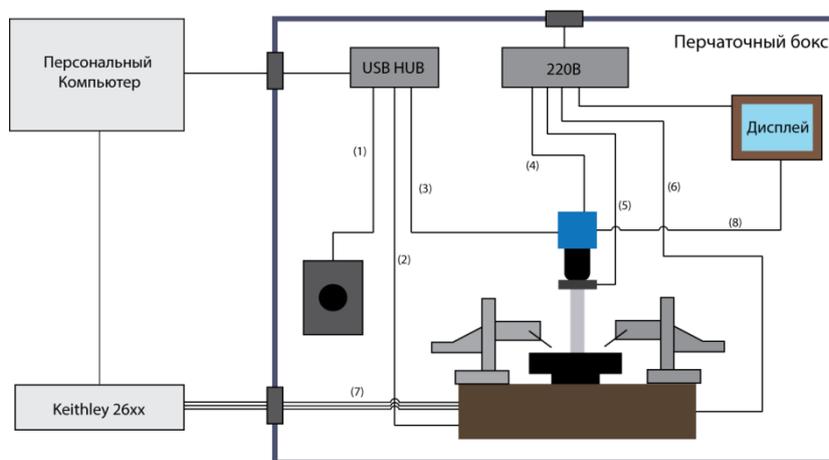


Рисунок 2 – Схематическое изображение установки ProbeStation 100 в перчаточный бокс с инертной атмосферой.

Описание программных решений

Для работы всех узлов зондовой станции было разработано программное обеспечение [1], позволяющее следить за столиком с образцами через микроскоп, управлять шаговыми двигателями и измерительным оборудованием в одном интерфейсе. На рисунке 3 приведен скриншот программного обеспечения.

Программное обеспечение также имеет менеджер проектов с множеством функций, позволяющих производить пост-обработку измеренных кривых, а также встроенные функции для расчета основных параметров транзисторов, например, таких как подвижность носителей заряда, пороговое напряжение и предпороговый наклон. Можно также запускать длительные измерения с автоматическим изменением параметров.

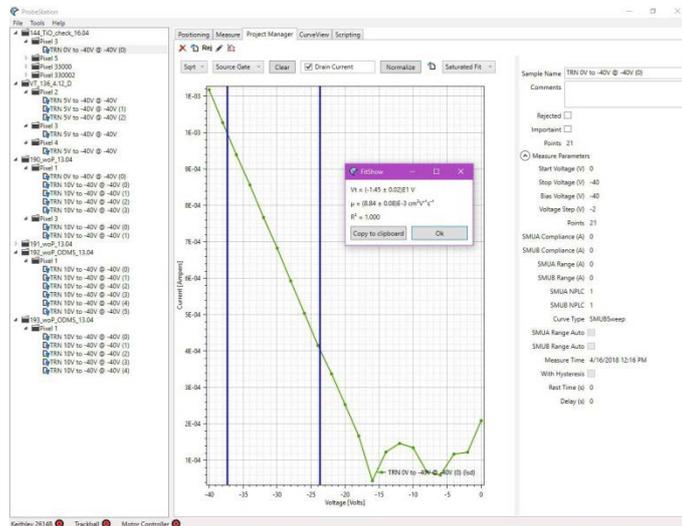


Рисунок 3 – Скриншот программного обеспечения к зондовой станции, на котором рассчитывается дырочная подвижность полевого транзистора

Заключение

Использование зондовой станции Probe station 100 позволяет решать широкий круг задач, связанных с измерениями и характеристикой транзисторов и любых интегральных схем. Возможность установки в перчаточный бокс позволяет проводить измерения в инертной атмосфере, что расширяет поле для возможных применений. Программное обеспечение удобно для обработки и анализа получаемых вольт-амперных характеристик. Стоимость зондовой станции значительно ниже зарубежных аналогов.

[1] Программа для ЭВМ «ProbeStation» // А. С. Сизов / Свид. № 2016610108, дата регистрации 11 января 2016 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «Технологии печатной электроники».

ЛАБОРАТОРНАЯ ПЕЧЬ С КВАРЦЕВЫМ РЕАКТОРОМ

*Ахмедов И.Р. к. физ.-мат. наук, научный сотрудник ДНЦ РАН, Гафуров М.М. док. физ.-мат. наук, зав. Аналитическим ЦКП ДНЦ РАН, Какагасанов М.Г. инж.-иссл. ДНЦ РАН.
http://ackp-dncran.ru/ Россия, 367032, Махачкала, ул. М. Гаджиева
45. Тел.+7 988 268 8974, E-mail: analit0@mail.ru*

LABORATORY FURNACE WITH QUARTZ REACTOR

Akhmedov I.R., Gafurov M.M., Kakagasanov M.G.

Annotation

The design of a laboratory furnace which used for obtaining carbon sorbents from natural raw materials, including raw materials modified with aggressive chemical compounds, is presented. The work of the thermomodule during heat treatment of raw materials in a medium of various gases is considered.

Keywords

Rotary furnace, sorbents, activation.

Аннотация

Представлена конструкция лабораторной печи, предназначенной для получения углеродных сорбентов из природного сырья, в том числе и из сырья, модифицированного агрессивными химическими соединениями. Рассмотрена работа печи при термической обработке сырья в среде различных газов.

Ключевые слова

Вращательные печи, угольные сорбенты, активация.

Введение

Пористые углеродные материалы (ПУМ) благодаря своей высокой сорбционной активности широко используются в медицине, в хроматографии, в различных технологических процессах, при охране окружающей среды, при создании углеродных композитных материалов и т. д. [1–2]. Отличительные особенности ПУМ – высокая специфическая адсорбционная и каталитическая активность, возможность варьирования удельной поверхности в диапазоне от 0,1 до 3×10^3 м²/г [3]. Разработанные к настоящему времени вопросы теории и практики получения пористых углеродных материалов имеют, главным образом, отношение к микропористым материалам, в то время как вопросы целенаправленного синтеза и регулирования пористой структуры мезо- и макропористых материалов мало изучены и не нашли широкой практической реализации. В связи с этим, разработка новых типов углеродных материалов, а также технологии их получения является весьма актуальной задачей. Особый интерес представляет разработка технологии получения углеродных сорбентов медицинского назначения и сорбентов для экологических целей [3].

Оборудование для получения ПУМ в лабораторных условиях поставляют на рынок нашей страны, главным образом, зарубежные фирмы (фирмы Nabertherm, Xerion из Германии и др.). Как правило, стоимость импортного оборудования довольно высока. К сожалению, рынок относительно дешевого научного и технологического оборудования отечественного производства, в том числе и оборудования для получения ПУМ в лабораторных условиях развит очень слабо. Это не способствует развитию технологий синтеза и изучению свойств ПУМ в научных организациях и вузах страны. В этой связи нами разработана и изготовлена лабораторная печь (ЛП) с вращающимся кварцевым реактором, которая предназначена для получения ПУМ в лабораторных условиях. Она может быть использована также для отжига и термической обработки различных материалов в атмосфере агрессивных газов.

Конструкция ЛП

Блок-схема лабораторной печи представлена на рисунке 1. В состав ЛП входят: муфельная печь 1, реактор 2, узел вращения (элементы схемы 4,5, 7 - 11), механизм вращения 6, трубка подачи газа 3, ротаметр 12, приемник конденсата 13, трубка отвода отработанных газов. Муфель печи 1 выполнен в виде трубы (труба МКР) с намотанным на нее нагревателем из фехрала. Внутренние размеры муфеля - диаметр 150мм и длина 250мм. Управление нагревом муфельной печи осуществляется микропроцессором ТРМ 251. В качестве рабочего тела реактора использована стандартная круглодонная кварцевая колба КД-1000, 320мм. Для загрузки и опорожнения реактор вынимается из муфельной печи. Узел вращения представляет собой цилиндрический подшипниковый корпус 8, внутри которого на двухрядном подшипнике 7 установлен полый вал 5. Сальники 9 и уплотнение 11 обеспечивают герметичность отсека 10, предназначенного для подключения к узлу вращения приемника конденсата. Узел вращения изготовлен из высококачественной нержавеющей стали 15Х25Т. Механизм вращения включает в себя цепной привод, редуктор и электродвигатель.

Кварцевый реактор 2 помещен в муфельную печь 1 и закреплен с помощью быстросъемного соединения 4 к полуму валу 5 узла вращения. Диаметр внутренней полости вала равен 12мм. Внутренняя полость горловины колбы реактора 2 и внутренняя полость вала 5 установлены коаксиально. Они изолированы от остальной части ЛП газонепроницаемым уплотнением быстросъемного соединения. Сквозь полый вал в реактор введена кварцевая трубка подачи реакционного газа 3 внешним диаметром 6мм. Длина ее подобрана таким образом, чтобы расстояние от конца трубки до дна колбы составляло 15 – 20мм. Трубка 3 с помощью уплотнительного соединения 11 жестко закреплена на корпусе узла вращения 8. К трубке 3 гибким шлангом подключен ротаметр 12. К отсеку 10 узла вращения подключен гибким шлангом приемник конденсата 13. Отвод отработанных газов осуществляется через трубку 14. Органы контроля работы ЛП расположены на единой панели управления.

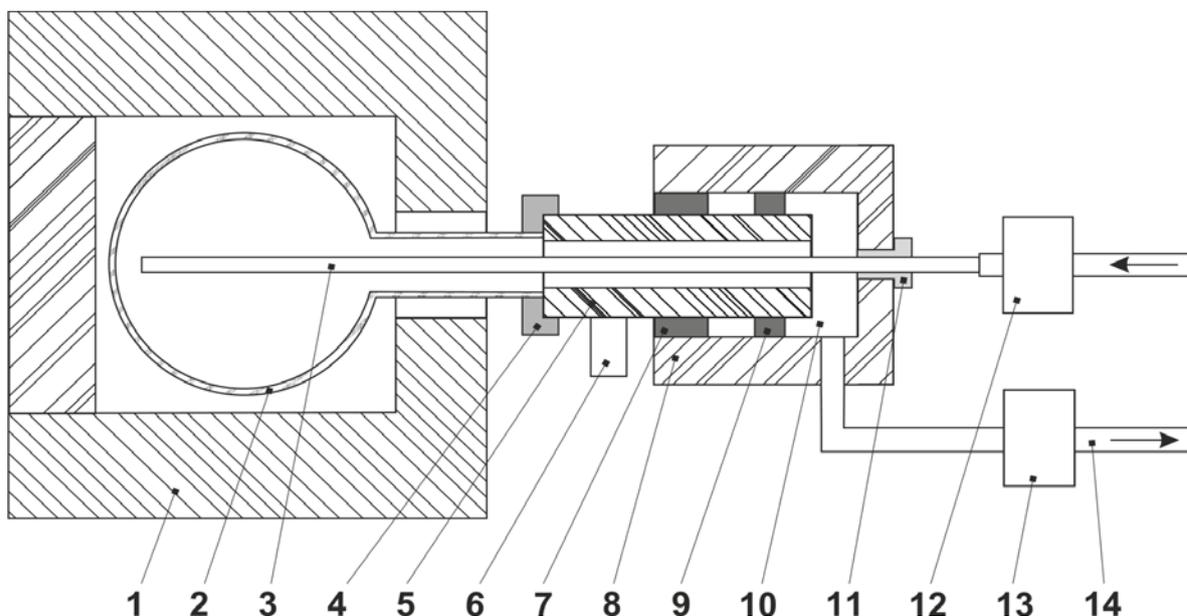


Рисунок 1 – Блок-схема лабораторной печи с кварцевым реактором. 1 – муфельная печь; 2 – реактор; 3 – трубка подачи газа; 4 – быстросъемное соединение; 5 – полый вал; 6 – механизм вращения; 7 – двухрядный подшипник; 8 – корпус узла вращения; 9 – сальник; 10 – отсек отвода газов; 11 – уплотнитель; 12 – ротаметр; 13 – приемник конденсата; 14 – трубка отвода отработанных газов.

Технические характеристики

Кратковременная допустимая температура	до 1200°С
Максимальная рабочая температура	1100°С
Объем муфеля	4 л
Управление нагревом	микропроцессорное
Материал нагревателя	фихраль
Физический объем кварцевого реактора	1 л
Полезный объем кварцевого реактора	0,2 л
Частота вращения кварцевого реактора	0 – 10 об./мин
Сеть	220 В, 50 Гц
Мощность нагревателя муфеля	2,2 кВт
Полная потребляемая мощность МФЛТМ	2,8 кВт
Габариты	330×700×330 мм
Масса	51 кг

Эксплуатация печи

Сырье для получения сорбентов либо образцы, предназначенные для отжига, загружаются в кварцевый реактор 2 (см. рис.1). Реактор устанавливается в муфельную печь 1 и закрепляется с помощью быстросъемного соединения 4 к узлу вращения. На панели управления включается кнопка «Электродвигатель». Реактор начинает вращаться.

При эксплуатации печи в режиме напуска в рабочую зону реактора реакционного газа на панели управления включается кнопка «Газ». Через ротаметр 12 по трубке 3 в реактор 2 под давлением подается реакционный газ (пар). Газ заполняет внутреннюю полость реактора, движется по горловине реактора к узлу вращения, далее через внутреннюю полость вала 5 и отсек 10, поступает в приемник конденсата 13 и по трубке 14 уходит в систему вентиляции. В микропроцессор ТРМ 251 вводятся параметры термообработки сырья. Нажимается кнопка «Пуск». Включается нагрев муфельной печи. В реакторе происходит взаимодействие сырья с поступающим в колбу реакционным газом. Летучие вещества, выделяемые из сырья в ходе термической обработки, смешиваются с остатками реакционного газа и выводятся через приемник конденсата в систему вентиляции. Отключение

муфельной печи происходит автоматически по истечению запрограммированного времени. Время отключения электродвигателя зависит от особенностей термообработки материала и подбирается для каждого технологического процесса индивидуально. Извлечение реактора из зоны нагрева выполняется при полной остановке электродвигателя и при полном остывании муфельной печи до комнатной температуры.

Достоинства печи

Кварцевый реактор и узел вращения из нержавеющей стали позволяет обрабатывать сырье, модифицированное агрессивными химическими соединениями, при температурах до 1100°C.

При вращении реактора происходит перемешивание сырья. Это позволяет предотвратить спекание образцов обрабатываемого материала и равномерно воздействовать реакционным газом на весь объем сырья в реакторе. Для лучшего перемешивания исходного сырья в реакторе на внутренней поверхности колбы имеются небольшие выступы.

Печь позволяет проводить термообработку материалов, как при вакуумной откачке реактора, так и при напуске в его рабочую зону различных газов.

Лабораторная печь имеет микропроцессорное управление режимом нагрева. Это позволяет использовать его в научных лабораториях в качестве муфельной или плавильной печи с программируемым режимом нагревания исследуемого или синтезируемого материала.

Список литературы

1. Мухин В.М. Клушин В.Н. Производство и применение углеродных адсорбентов: учебное пособие. Российский химико-технологический университет им. М.В.Менделеева, М. – 2012. – 308 с.
2. Лыгина Т.З., Михайлова О.А., Хацринов А.И., Конюхова Т.П. Технологии химической активации неорганических природных минеральных сорбентов: монография. Изд-во Казанского гос. технол. ун-та. Казань.–2009.–120 с
3. Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В., Иванов И.П., Веприкова Е.В., Иванченко Н.М. Журнал Сибирского Федерального университета. Серия: химия. – 2015. – т. 8. – № 2. с. 232–255 DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-2-232-255.

РАЗРАБОТКА ЛИНЕЙКИ ЭПР/ОДМР СПЕКТРОМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

*Бабунц Р.А. к.ф.-м.н., с.н.с., Бадалян А.Г. к.ф.-м.н. с.н.с., Баранов П.Г. д.ф.-м.н., зав. лаб.
Гурин А.С. к.ф.-м.н., и.о.н.с., Единач Е.В. м.н.с., Романов Н.Г. к.ф.-м.н., с.н.с., Успенская Ю.А. м.н.с.
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Политехническая 26, 194021, <http://www.ioffe.ru>
тел. (812) 2927320, roman.babunts@mail.ioffe.ru*

DEVELOPMENT OF A SERIES OF HIGH FREQUENCY EPR/ODMR SPECTROMETERS

Babunts R.A., Badalyan A.G., Baranov P.G., Gurin A.S., Edinach E.V., Romanov N.G., Uspenskaya Yu.A.

Annotation

We describe a series of high-frequency EPR/optically detected magnetic-resonance (ODMR) spectrometers operating in both continuous-wave and pulsed regimes in 2-, 3-, 4-, and 8- mm. The resonance signal can be monitored in both microwave and optical detection channels. The entire series of EPR/ODMR spectrometers has common design features.

Keywords

Electron paramagnetic resonance, high-frequency EPR, optically detected magnetic resonance, EPR/ODMR spectrometer.

Аннотация

Описана конструкция линейки высокочастотных спектрометров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и оптически детектируемого магнитного резонанса (ОДМР), работающих в непрерывном и импульсном режимах в диапазонах длин волн 2, 3, 4 и 8 мм. Регистрация сигналов производится как по микроволновому, так и по оптическому каналам. Линейка спектрометров выполнена по единому принципу.

Ключевые слова

Высокочастотный электронный парамагнитный резонанс, оптически детектируемый магнитный резонанс, ЭПР/ОДМР спектрометр.

Методы ЭПР и ОДМР активно применяются для изучения свойств наноструктур, позволяют получить надежную информацию о природе парамагнитных центров и их окружении, о структуре материалов. Основная мировая тенденция в радиоспектроскопии – переход к высоким микроволновым частотам и, соответственно, сильным магнитным полям. Это значительно повышает спектральное разрешение и чувствительность, дает возможность исследовать образцы малых размеров, системы с большими расщеплениями тонкой структуры, а использование оптического канала для регистрации магнитного резонанса позволяет довести чувствительность вплоть до регистрации одиночных спинов. Кроме того, использование сильного магнитного поля ведет к увеличению фактора Больцмана, который играет важную роль во многих спин-зависимых процессах, включая динамическую поляризацию ядер.

Спектрометр ЭПР/ОДМР предназначен для проведения исследований и неразрушающей диагностики материалов в следующих областях физики, химии, биологии, медицины и техники, например: исследование процессов в биологических системах (в протеинах, металлопротеинах, содержащих переходные металлы и их кластеры); исследование природы фотосинтеза, процессов разделения заряда в биологических фотосистемах; использование методов ЭПР для ранней диагностики раковых заболеваний; использование для исследования и неразрушающего контроля малых объемов вещества, вплоть до 10^{-3} мм³.

Основу спектрометров составляют разработанные совместно с ООО «ДОК» микроволновые блоки, выполненные по единой схеме для разных диапазонов. В их составе имеются высокостабильные генераторы с узким спектром и высокой выходной мощностью (например: 80 мВт на 94 ГГц и 40 мВт на 130 ГГц), чувствительные супергетеродинные приемники с фазовыми квадратурными детекторами, эффективная и удобная система настройки микроволнового тракта. Для создания постоянного магнитного поля (0 - 7 Тл) используется магнитооптический криостат замкнутого цикла, что обеспечивает автономность и независимость от наличия криогенных жидкостей и соответствующей инфраструктуры. Температура образца может регулироваться в диапазоне 1,5 - 300 К. Для подачи микроволнового поля на образец разработан ряд микроволновых вставок: безрезонаторные и с перестраиваемым микроволновым резонатором. Для регистрации ОДМР применяется оптическая система с монохроматором, возбуждением и регистрацией люминесценции. Для работы в непрерывном режиме используются генератор для модуляции магнитного поля и синхронный детектор, для работы в импульсных режимах – формирователь импульсов. Блок-схема ЭПР/ОДМР спектрометра представлена на рис.

Задача визуальной настройки резонатора решается применением вспомогательного генератора, частота которого f_2 управляется напряжением. В режиме настройки переключатель генераторов находится в положении “А”, что позволяет наблюдать на осциллографе резонансную кривую рабочего резонатора и сигнал биений двух генераторов (“метку”), который формируется на высокочастотном смесителе в момент совпадения с частотой основного генератора. Перестройка рабочего резонатора позволяет настроить его частоту на “метку”, т.е. на частоту рабочего генератора. После настройки резонатора производится переключение в режим измерений (положение “В”), в котором используется только высокостабильный генератор с фиксированной частотой.

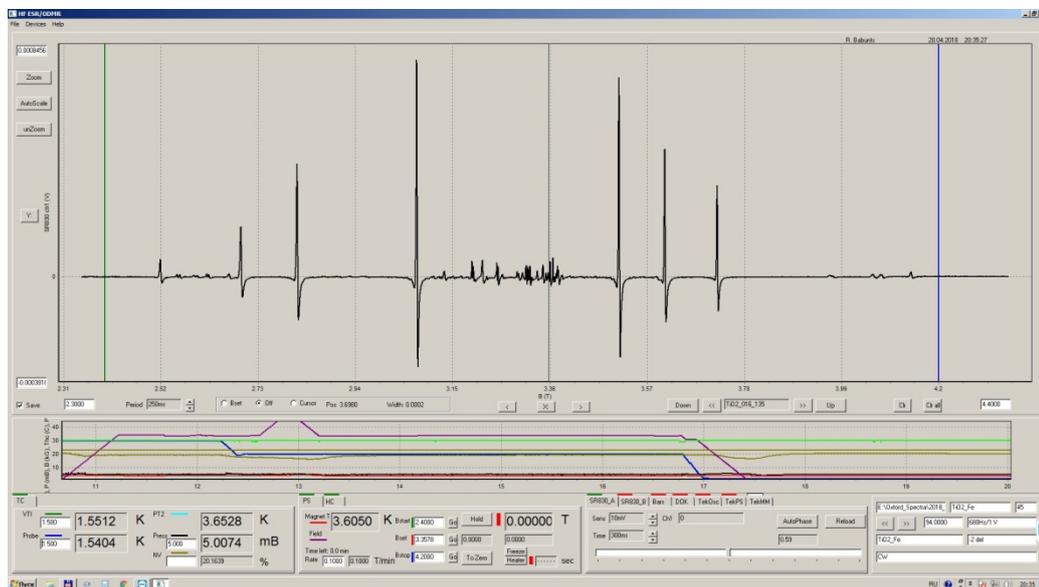


Рисунок 3 – Интерфейс программы регистрации спектров на примере регистрации спектра ЭПР кристалла $TiO_2:Fe$.

Программа управления спектрометром написана под ОС Windows 7, имеет дружелюбный интерфейс, спектры сохраняются в формате ASCII, что позволяет использовать при последующей обработке стандартные программы обработки спектра.

На разрабатываемом спектрометре впервые были зарегистрированы спектры ЭПР, ОДМР и оптически детектируемого циклотронного резонанса (ОДЦР) в 3 мм диапазоне с использованием квазиоптического микроволнового тракта.

При разработке спектрометра было зарегистрировано несколько патентов.

Прибор предназначен для использования в исследовательских лабораториях и медицинских центрах, в центрах коллективного пользования институтов и университетов, в геологических институтах. Конкурентными преимуществами разрабатываемого спектрометра по сравнению с зарубежными аналогами является возможность регистрации не только ЭПР, но и фото-ЭПР, ОДМР, и ОДЦР, большая мощность, высокая стабильность СВЧ блока и возможность изменять его конфигурацию. Важными достоинствами являются компактность, сравнительно малая масса, возможность проведения экспериментов по ОДМР и адаптация к условиям работы в России и странах СНГ. Гибкая блочная схема разработанного прибора дает покупателю выбрать конфигурацию, необходимую для решения его индивидуальных задач.

Работа выполнялась при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Соглашения №14.604.21.0200 от 26.09.2017, уникальный идентификатор RFMEFI60417X0200.

Список литературы

1. Abragam A., Bleaney B. Electron Paramagnetic Resonance of Transition Ions. Oxford: Oxford University Press, 1970. 700 p.
2. Möbius K., Savitsky A. High-Field EPR Spectroscopy on Proteins and Their Model Systems: Characterization of Transient Paramagnetic States. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2008. 375 p.
3. Бабунц Р.А., Бадалян А.Г., Гурин А.С., Намозов Б.Р., Романов Н.Г., Баранов П.Г. Линейка высокочастотных спектрометров электронного парамагнитного резонанса с микроволновым и оптическим каналами регистрации // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. В. 8. С. 63-70.
4. Спектрометр электронного парамагнитного резонанса (варианты) : пат. 2411530 Рос. Федерация. № 2009143457/28; Баранов П.Г., Бабунц Р.А., Бадалян А.Г., Романов Н.Г., Богданов Л.Ю., Наливкин А.В.; заявл. 24.11.2009; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. 15 с.

**МОБИЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТР МПЛС-2 – ПРИБОР ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ И ПРОВЕДЕНИЯ
ТРАССЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ**

Галяутдинов М.Ф.¹, к.ф.-м.н., в.н.с., utdin@mail.ru, +7 905 3111724

Герасимов К.И.¹, к.ф.-м.н., с.н.с., kigerasimov@mail.ru, +7 927 249 17 24

Курбатова Н.В.¹, н.с., kurbatovan@mail.ru, +7 905 311 17 25

Судаков В.А.², зам. директора по инновационной деятельности, sudakovav@gmail.com, +7 960 044 14 95

Багманов И.И.², н.с., ilnurbagmanov@gmail.com, +7 904 765 39 63,

1 - КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://www.kfti.knc.ru>, 420029, г.Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

2 - К(П)ФУ, НОЦ ТРИЗ, <https://kpfu.ru/geology-oil>, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5

**MOBILE LASER SPECTROFLUOROMETER MPLS-2 - DEVICE FOR DETERMINING THE FILTRATION
PROPERTIES OF OIL-BEARING RESERVOIRS AND CARRYING OUT TRASSER STUDIES IN
OIL-EXTRACTING AREAS**

Galyautdinov M.F.¹, Gerasimov K.I.¹, Kurbatova N.V.¹, Sudakov V.A.², Bagmanov I.I.²

Annotation

An innovative highly sensitive mobile laser spectrofluorometer (MPLS-2) was developed in the frame of joint project of the Kazan Federal University and the Kazan E.K. Zavoisky Physical-Technical Institute. This tool allows conducting and processing of reservoir tracer analysis directly in the field. The first field studies were conducted with the use of fluorescent indicators as tracers.

Keywords

Fluorescence, lasers, tracer analysis, petroleum development.

Аннотация

В процессе выполнения совместного проекта Казанского Федерального Университета и Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского был разработан и создан оригинальный высокочувствительный Мобильный Полевой Лазерный Спектрофлуориметр (МПЛС-2), с помощью которого возможно оперативно проводить и обрабатывать данные геологических трассерных исследований. Проведены первые полевые исследования, в которых в качестве трассеров были использованы флуоресцентные индикаторы-красители.

Ключевые слова

Флуориметрия, лазеры, флуоресцентные индикаторы, нефтедобыча, трассерные индикаторы, трассерные исследования.

В рамках 218 проекта Казанского Федерального Университета и ПАО Татнефть им. В.Д. Шашина была поставлена задача по проведению мобильных трассерных исследований. Трассерные исследования применяются для определения направления тока закачиваемого флюида, а также для оценки эффективности системы поддержания пластового давления (ППД), а также для определения фильтрационных характеристик пласта. Подобные исследования проводятся путём закачивания под землю специальных реагентов, после чего их наличие и концентрации отслеживают в добывающих скважинах. Основным недостатком метода в том, что после отбора образцов они должны пройти долгие лабораторные исследования. В связи с этим была поставлена задача по созданию мобильной установки, которая могла бы проводить измерения непосредственно на производстве. Для выполнения данной работы было налажено сотрудничество с Казанским физико-техническим институтом им. Е.К. Завойского, который создал уникальный прибор на основе лазерных технологий – Мобильный полевой лазерный спектрофлуориметр.

Мобильный полевой лазерный спектрофлуориметр МПЛС-2 (рисунок 1) предназначен для определения непосредственно в полевых условиях фильтрационных свойств водоносных горизонтов в нефтедобывающих районах. С этой целью с помощью данной системы проводятся измерения малых концентраций гидродинамических маркеров в природных водных растворах. Учитывая специфику и условия работы, в качестве таких маркеров были выбраны люминесцирующие индикаторы-красители флуоресцеин и эозин калия, так как они хорошо растворяются в прослеживаемой жидкости и не растворяются в других флюидах, насыщающих пласт; сохраняют свои физико-химические свойства в пластовых условиях; не нарушают своим присутствием естественного потока, строго следуют вместе с гидродинамическим носителем; с высокой точностью и быстротой

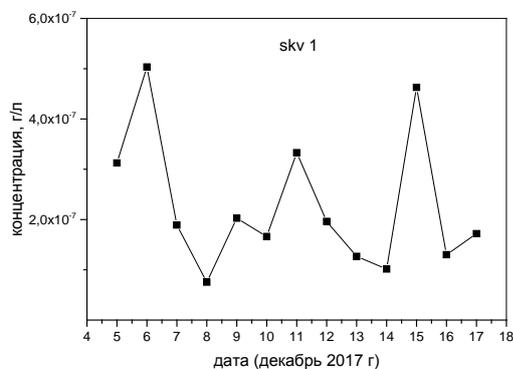
фиксируются в широком диапазоне изменения концентрации, начиная с незначительной; не представляют опасности для персонала и окружающей среды, проводящего исследования, так как не токсичны.

Измерение концентраций люминесцирующих индикаторов-красителей в широком диапазоне (от 10^{-8} г/л до более 10^{-3} г/л) проводится двумя независимыми методами; одновременно с измерением интенсивности в максимуме полос люминесценции указанных индикаторов регистрируется весь спектр люминесценции растворов. Это позволяет: исключить влияние посторонних примесей, находящихся в природных водных растворах, на результаты измерений; использовать для измерений два типа индикаторов-красителей одновременно. Автоматизация процесса измерений дает возможность создавать обширную базу данных для контролируемой территории. Устройство МПЛС-2 рассчитано на эксплуатацию как в лабораторных помещениях, так и в полевых условиях на борту автомобиля, что позволяет проводить непрерывный мониторинг окружающей среды.

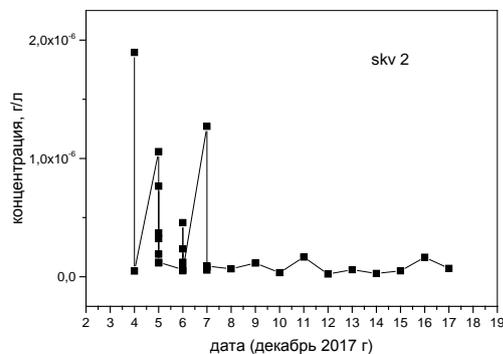


Рисунок 1 – Внешний вид мобильного полевого лазерного спектрофлуориметра МПЛС-2.

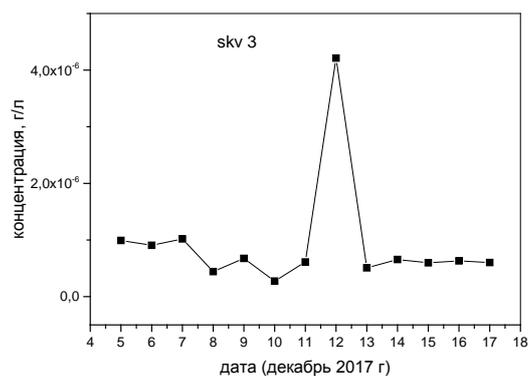
После лабораторного тестирования и прибор впервые был испытан при трассерных исследованиях на Нижнекармальском месторождении сверхвязкихнефтей. В нагнетательную скважину 4 декабря 2017 г. был закачан раствор флуоресцеина концентрацией 3 г/л и затем в течение двух недель ежедневно отбирались пробы из трех добывающих скважин, расположенных на некотором расстоянии от нагнетательной (рис 2, а, в, с). Полученный результат является источником информации для уточнения геологического строения нефтяной залежи. По виду графиков выхода индикатора (рис. 2) исследуемый пласт характеризуется как послойно-неоднородный. Наличие нескольких пиков на кривых изменения концентрации индикатора во времени говорит о наличии в пласте нескольких отдельных прослоев, характеризующихся различной пористостью и проницаемостью. Прослои имеют различную гидропроводность, за счет чего на кривых изменения концентрации и наблюдаются пики различной амплитуды.



а)



в)



с)

Рисунок 2 – Графики выхода индикатора в добывающих скважинах № 1 (а), 2 (в) и 3(с) после закачки 4 декабря раствора флуоресцеина в нагнетательную скважину.

Прибор показал свою полную работоспособность. Полученный результат является источником уникальной информации для уточнения геологического строения нефтяной залежи, для выявления направленной природной или техногенной трещиноватости коллекторов и т.п.

Таким образом, при помощи новой разработки был оптимизирован процесс трассерных исследований, что в дальнейшем благотворно скажется на разработке нетрадиционных источников углеводородного сырья. Кроме того, с помощью этого прибора можно исследовать фильтрационные потоки на других месторождениях с менее вязкими нефтями.

Литература

1. *Галяутдинов М.Ф., Герасимов К.И., Курбатова Н.В., Антонов Г.П., Мингазов М.Н., Файзуллин И.Н., Гумаров Н.Ф.* Создание и широкое внедрение аппаратурно-методического комплекса индикаторных исследований в гидрогеологии и при контроле за разработкой нефтяных месторождений Татарстана. Казань, 2012, 151 стр.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ АВИАКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Барулина М.А., д. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник, marina@barulina.ru, Голиков А.В. к.т.н., ведущий научный сотрудник, Маркелова О.В. младший научный сотрудник
Институт проблем точной механики и управления РАН, 410028, г. Саратов, ул. Рабочая, 24
Тел. +7 (8452) 222376. Email: iptmuran@san.ru*

ALGORITHMS AND SOFTWARE FOR MODELING OF THREE-DIMENSIONAL UNSTEADY THERMAL FIELDS OF AEROSPACE HIGH-PRECISION SENSORS AND SYSTEM

Barulina M.A., Golikov A.V., Markelova O.V.

Annotation

The proposed algorithms and models allow to calculate the thermal fields in high-precision sensors and systems taking into account its specific operating conditions and particular qualities of its design scheme. Such simulation can be carried out at any stage of the device design. As results a thermostabilization system can be chosen without carrying out expensive natural experiments. The developed models were tested for the calculation of thermal fields in various kind of aerospace devices - strapdown navigation systems, gyroscopic sensors, microsatellite modules.

Keyword

Thermal fields, numerical simulation, high-precision sensors, gyroscopic sensors, microsatellite.

Аннотация

Предлагаемые алгоритмы для моделирования трехмерных нестационарных температурных полей прецизионных приборов позволяют на любом этапе проектирования рассчитывать температурных поля с учетом особенностей конструкции прибора и условий эксплуатации. Что позволяет определить необходимость в использовании системы термостабилизации без проведения дорогостоящих экспериментов. Предлагаемые модели были использованы для расчета температурных полей различных авиакосмических приборов, например, навигационных систем и модулей микроспутников.

Ключевые слова

Тепловые поля, численное моделирование, прецизионные приборы, гироскопические датчики, микроспутник.

Одной из важнейших задач, требующих решения при проектировании датчиков или приборов, предназначенных для использования в авиакосмической отрасли, является задача исследования тепловых процессов, возникающих в приборе при его эксплуатации в реальных условиях [1]. Условия эксплуатации приборов авиакосмического назначения могут быть довольно жесткими. Так, они могут испытывать вибрации с амплитудами до 10g и с частотами до 2 кГц; ударные нагрузки до 90-100 g; перепады температуры от -50⁰С до +85⁰С; электро-магнитные и радиационные воздействия. Помимо этого, необходимо принимать во внимание, что датчики и системы, использующиеся в космических аппаратах, могут работать в условиях вакуума и невесомости. Температурные воздействия в подобных условиях могут оказать существенное влияние на эксплуатационные характеристики прибора и, следовательно, на его выходные данные [2-4]. Поэтому желательно еще на этапе проектирования прибора исследовать возникающие в нем трехмерные неоднородные нестационарные температурные поля с учетом условий его эксплуатации и особенностей его конструкции. При этом особый интерес вызывают именно нестационарные и переходные тепловые процессы.

Для исследования трехмерных нестационарных температурных полей в различных типах датчиков, приборах и системах на их основе был разработан модифицированный метод тепловых элементарных балансов (МЭБ) [1], который к настоящему времени достаточно хорошо зарекомендовал себя при исследовании температурных полей в различных датчиках и устройствах. Смысл МЭБ заключается в разбиении исследуемого объекта на "элементарные" тепловые объемы, представляющие собой элементы конструкции. В "элементарном" объеме могут находиться источники и стоки тепла. "Элементарные" объемы могут контактировать как между собой, так и с окружающей внешней и внутренней средой, также имеющую температуру. Отличием МЭБ от других методов конечно-элементного моделирования является то, что он сводится к разностной схеме и не требует составлять дифференциальные уравнения. При этом приближенное решение, полученное с помощью основного разностного алгоритма МЭБ, сходится к точному решению соответствующей дифференциальной краевой задачи с погрешностью $O(\Delta t + \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$.

Основной алгоритм, реализующий МЭБ, имеет вид [1]:

$$T_i(t + \Delta t) = \left[1 - \frac{\Delta t}{c_i} \left(\sum_{j=1}^N q_{ij} + q_{ic} \right) \right] T_i(t) + \frac{\Delta t}{c_i} \left(\sum_{j=1}^N q_{ij} T_j(t) + q_{ic} T_{ci}(t) + Q_i(t) \right), \quad (1)$$

где $T_i(t)$, $T_i(t + \Delta t)$, – температуры i -го "элементарного" объема (ЭО) в настоящий и последующий момент времени; c_i ($i = 1, \dots, M$) – теплоемкость ЭО; q_{ij} – теплопроводности между i -м и j -м ЭО; q_{ic} – теплопроводность между i -м ЭО и окружающей средой; $T_{ci}(t)$ – температура среды; $Q_i(t)$ – мощность источника тепла; M – общее количество ЭО в модели; N – количество ЭО, имеющих тепловой контакт с i -м ЭО; Δt – шаг расчета.

Алгоритм (1) позволяет учитывать многокомпонентность конструктивной схемы прибора, нестационарные источники и стоки тепла в ЭО, тепловое взаимодействие ЭО, изменение температуры внешней и внутренней окружающей среды по различным законам, в том числе и случайным. К настоящему времени модифицированный метод тепловых элементарных балансов опробован и хорошо себя зарекомендовал при моделировании температурных полей различных приборов и систем, например, инерциальных навигационных систем, наноспутников, а также их компонентов. На основе алгоритма (1) были разработаны и зарегистрированы в Федеральном институте промышленной собственности [5,6] специализированные программные комплексы для моделирования температурных полей в различных приборах и устройствах.

На рис. 1 показана схема прецизионного прибора - блок измерения угловых скоростей (БИУС-М-1) с волоконно-оптическими гироскопами [7]. Стрелками на рис.1б,в показаны тепловые связи между элементами БИУС-М-1 друг с другом и окружающей средой. На рис. 2а приведены данные с термодатчика, установленного на одном из ВОГ при испытаниях БИУС-М-1 в термокамере, на рис. 2б результаты моделирования при параметрах, имитирующих такие же условия, что и на испытательном стенде.

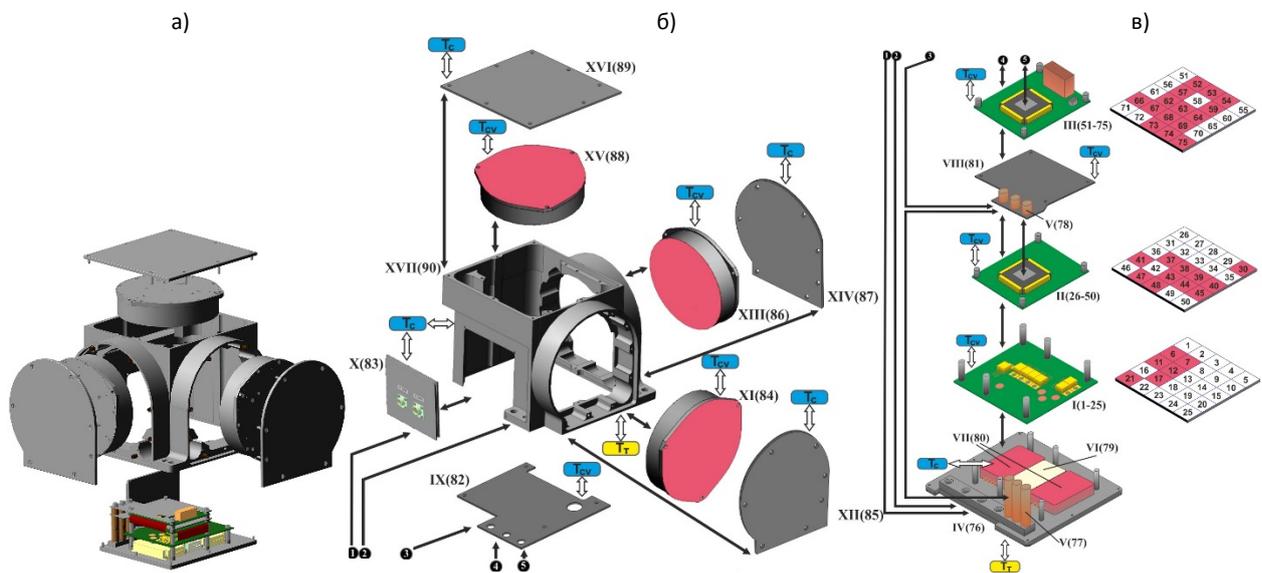


Рисунок 1 – Компоновка прибора БИУС-М-1 (а) и основные элементы тепловой модели БИУС-М-1 (б,в): I (1-25) – плата 1; II (26-50) – плата 2; III (51-75) – плата 3; IV (76) – основание; V (77,78) – стойки теплоотвода (низ,верх); VI (79) – элемент ФПС; VII (80) – источники питания; VIII (81) – пластина радиатора 1; IX (82) – пластина радиатора 2; X (83) – держатель; XI (84) – гироскоп 1; XII (85) – крышка 1; XIII (86) – гироскоп 2; XIV (87) – крышка 2; XV (88) – гироскоп 3; XVI (89) – крышка 3; XVII(90) – корпус; T_c – температура наружной окружающей среды

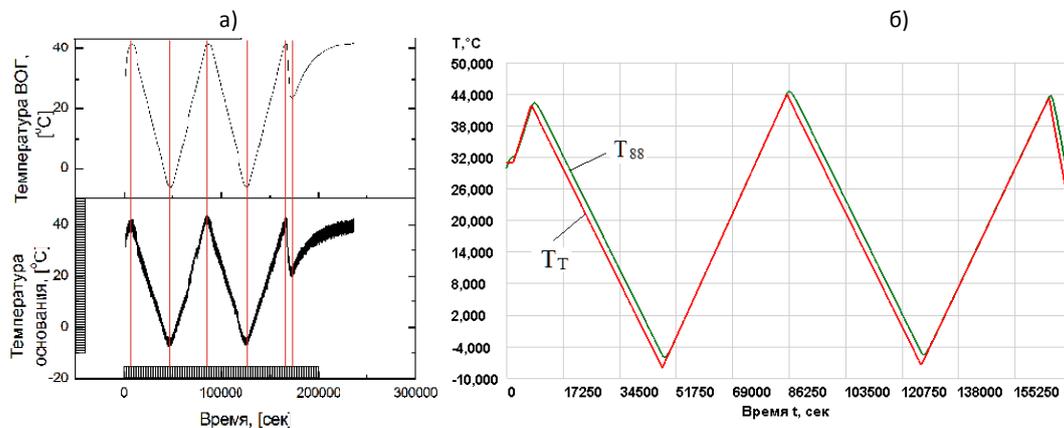


Рисунок 2 – Экспериментальные данные (а) и температура термоплаты (T_T) и ВОГ ($T_{ВГ}$) по данным моделирования (б)

Из рисунке 2 видно, что экспериментальные данные и данные моделирования с помощью предлагаемого метода практически совпадают, что доказывает адекватность получаемых с помощью МЭБ результатов.

МЭБ может быть использован и для расчета тепловых полей в электронных платах, предназначенных для работы в условиях космического пространства. Например, в электронных платах наноспутников. На рис. 3 показана электронная плата – модуль полезной нагрузки Фотон-Амур [8] и результаты моделирования теплового поля, возникающего на плате при движении спутника по орбите Земли в условия сильно разреженной атмосферы.

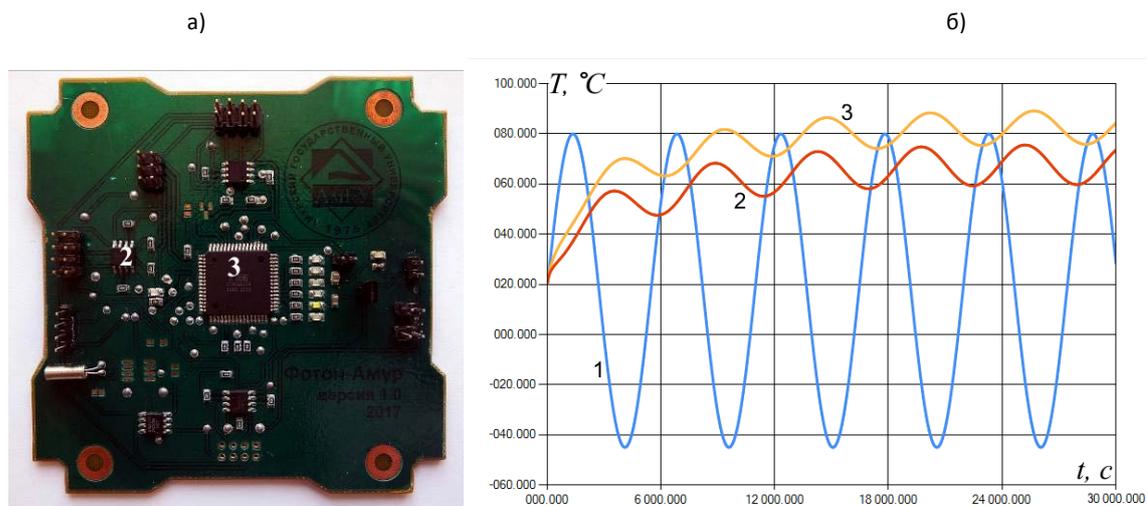


Рисунок 3 – Моделирование электронных плат наноспутника.

*а - Общий вид платы модуля полезной нагрузки Фотон-Амур; б - графики изменения температуры платы:
1 - корпус наноспутника; 2 – операционный усилитель; 3 - микроконтроллер*

Как видно из рисунке 3, температура на электронной плате может достигать 90°C при эксплуатации наноспутника в условиях космоса, что может быть некомфортной для его электронных компонентов. Поэтому следует еще на этапе компоновки и разработки наноспутника продумать возможность применения пассивных и активных методов снижения тепловой нагрузки на электронные компоненты наноспутника, в том числе применением различных методов термостабилизации.

На основе проведенных исследований можно сказать, что используемый модифицированный метод элементарных тепловых балансов носит достаточно универсальный характер и может быть использован для исследования трехмерных, неоднородных, нестационарных температурных полей различных типов датчиков, приборов и систем на их основе. Также этот метод применим для исследования многокомпонентных систем, в том числе прецизионных приборов. Использование МЭБ и реализующих его программных комплексов не требует проведения дорогостоящих натуральных экспериментов, но при этом позволяет уже на этапе проектирования прибора узнать, насколько он будет подвержен тепловым воздействиям в реальных условиях эксплуатации и, при необходимости, внести в конструкцию изменения для уменьшения негативного теплового влияния на компоненты и элементы исследуемого устройства или системы.

Литература

1. Джашитов В.Э., Панкратов В.М. Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий / Под общей редакцией академика РАН В.Г. Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005. 404 с.
2. Барулина М.А., Джашитов В.Э. Исследование температурного и технологического дрейфа микромеханического гироскопа камертонного типа на вибрирующем основании// Гироскопия и навигация. 2005. № 1 (48). С. 93.
3. Barulina M.A., Pankratov V.M., Efremov M.V. The temperature effect on fiber optic gyroscopes based on air-core photonic crystal fiber//23rd Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2016 - Proceedings 23. 2016. С. 93-97.
4. Джашитов В.Э., Панкратов В.М., Барулина М.А., Голиков А.В. Волновой твердотельный датчик инерциальной информации в условиях температурных возмущений// Датчики и системы. 2010. № 5. С. 57-61.
5. Барулина М.А., Галкина С. А. Свидетельство № 2018610059 от 09.01.2018 Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программ для ЭВМ.
6. Голиков А.В., Панкратов В.М., Пылаев Ю.К., Ефремов М.В. Свидетельство № 2018611517 от 02.02.2018 Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программ для ЭВМ.
7. Джашитов В.Э., Панкратов В.М., Голиков А.В., Николаев С.Г., Колеватов А.П., Плотников А.Д., Коффер К.В. Иерархические тепловые модели бесплатформенной инерциальной навигационной системы с волоконно-оптическими гироскопами и акселерометрами // Гироскопия и навигация. 2013. № 1 (80). С. 49–63.
8. Фомин Д.В., Струков Д.О., Герман А.С. Универсальная платформа полезной нагрузки для малых спутников стандарта CubeSat // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2018. № 5.

СОЗДАНИЕ ФОТОПРИЕМНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СЛОЕВ GE:SB И SI:TI НА ВИДИМУЮ И БЛИЖНЮЮ ИК-ОБЛАСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Баталов Р.И.¹, к.ф.-м.н., с.н.с., Баязитов Р.М.¹, д.ф.-м.н., зав. лаб.

Файзрахманов И.А.¹, д.ф.-м.н., зав. лаб., инж.-проект. 1 кат. Гумаров А.И.²

1 – Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», www.kfti.knc.ru, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, д.10/7, тел. (843)2319102, эл.почта: batalov@kfti.knc.ru

2 – Казанский федеральный университет, www.kpfu.ru, 420008, Казань, ул. Кремлёвская, д.18 тел. (843)2337763, эл. почта: amir@gumarov.ru

FORMATION OF PHOTODETECTING STRUCTURES ON THE BASE OF GE:SB AND SI:TI LAYERS FOR VISIBLE AND NEAR IR-REGION BY ION IRRADIATION

Batalov R.I.¹, Bayazitov R.M.¹, Faizrahmanov I.A.¹, Gumarov A.I.²

Annotation

The results for the formation of thin-film photodetecting structures on the base of highly-doped Ge and Si layers are presented. In the first case Ge:Sb layers with Sb concentration upto 10^{20} cm^{-3} were obtained by the sputtering of <Sb/Ge> target with low-energy Xe ion beam followed by pulsed annealing of deposited layers by ion or laser beams. The obtained n-Ge:Sb/p-Ge layers have a higher photoresponse than standard Ge photodiode (FD-2). In the second case Si crystal was irradiated by Xe and Ti ions to produce highly metal-doped Si:Ti layers. The obtained layers showed inverted conductivity type (p→n) and more intense photoresponse than Si photodiode (FD-27K).

Keywords

Silicon, Germanium, doping, ion sputtering, pulsed annealing, photodiode.

Аннотация

Представлены результаты по формированию тонкопленочных фотоприемных структур на основе сильно легированных слоев Ge и Si. В первом случае слои Ge:Sb с концентрацией Sb до 10^{20} см^{-3} были получены путем распыления мишени <Sb/Ge> низкоэнергетичным пучком ионов ксенона (Xe^+) с последующим импульсным отжигом осажденных слоев ионными или лазерными пучками. Полученные слои n-Ge:Sb/p-Ge обладали фотооткликом, превышающим значение для стандартного Ge-фотодиода (ФД-2). Во втором случае кристалл Si облучался ионами ксенона и титана для создания сильно легированных металлом слоев Si:Ti. Полученные слои демонстрировали инвертированный тип проводимости (p→n) и интенсивный фотоотклик, превосходящий таковой для Si-фотодиода (ФД-27К).

Ключевые слова

Кремний, германий, легирование, ионное распыление, импульсный отжиг, фотодиоды.

В настоящее время актуальной проблемой электронного приборостроения остается разработка фотоприемников с повышенной чувствительностью в видимой и ближней ИК-области (400-2000 нм) на основе хорошо развитой кремниевой технологии. При этом внимание уделяется повышению уровня легирования светопоглощающего Si или Ge слоя как традиционными примесями Шли V группы, так и примесями переходных металлов. Повышенный уровень легирования (свыше 10^{19} см^{-3}) способствует модификации зонной структуры полупроводника, приводя к ее сужению или введению примесных зон, что может расширить область фоточувствительности в ИК-область. Так для слоев Ge, сильно легированных примесями V группы (P, As, Sb), был показан красный сдвиг максимума сигнала фотолюминесценции из прямой Γ -долины от 1600 нм до 1800 нм [1]. Однако практически нет литературных данных о соответствующем повышении фоточувствительности в данной области длин волн. Сильное легирование Si примесями переходных металлов (Ti, V, Co) приводит к созданию в его запрещенной зоне глубоких примесных зон, повышающих поглощение ИК излучения [2-4]. Использование неравновесных методов введения примесей в полупроводники с помощью ионного или лазерного облучения способствует повышению уровня легирования атомами примеси в сравнении с традиционными диффузионными методами. При этом удается значительно (до двух порядков величины) повысить растворимость примесей в кристаллах Si и Ge.

В данной работе проводились эксперименты с двумя указанными системами: легирование слоев Ge примесью Sb и легирование Si металлическими примесями (Ti, Fe). В первом случае композитная мишень <Sb/Ge> с заданным содержанием Sb подвергалась ионно-лучевому распылению низкоэнергетичным ($E = 1.3 \text{ кэВ}$) и сильноточным ($j = 150 \text{ мкА/см}^2$) пучком тяжелых ионов ксенона (Xe^+). Распыляемое вещество осаждалось в виде тонкой аморфной пленки Ge:Sb ($d = 200\text{-}300 \text{ нм}$) на монокристаллические подложки p-Si или p-Ge без их подогрева. Кристаллизация пленок осуществлялась в процессе импульсного отжига при их облучении наносекундными импульсами рубинового ($\lambda = 694 \text{ нм}$, $\tau = 80 \text{ нс}$) или неодимового ($\lambda = 1064 \text{ нм}$, $\tau = 8 \text{ нс}$) лазеров в режиме плавления. Наряду с импульсным лазерным отжигом (ИЛО) применялся импульсный ионный отжиг (ИИО)

высокоэнергетичным ($E=300$ кэВ) наносекундным ($\tau = 100$ нс) пучком ионов углерода (C^+) высокой мощности на ионном ускорителе ТЕМП.

Во втором случае подложка p-Si облучалась пучком ионов He^+ , который одновременно распылял титановую фольгу, находящуюся в непосредственной близости от p-Si. Распыляемые атомы Ti осаждались на подложку p-Si и имплантировались вглубь нее налетающими ионами He. В результате формировался тонкий ($d \sim 30$ нм) сильно легированный металлом слой Si:Ti.

Полученные образцы исследовались на предмет морфологии поверхности, элементного и фазового состава на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) и рентгеновском дифрактометре в скользящих лучах. Методом вторичной ионной масс-спектропии (ВИМС) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) изучалось глубинное распределение и химическое состояние внедренных примесей. С использованием 4-х зондовых измерений определялось слоевое сопротивление и концентрация носителей в образцах, а вольт-амперные характеристики (ВАХ) подтверждали образование p-n-переходов между слоем и подложкой.

На системе Ge:Sb была получена серия образцов с содержанием Sb от 2×10^{19} до 10^{20} $см^{-3}$. Структурные исследования показали, что ИИО аморфных пленок Ge:Sb на p-Ge толщиной до 300 нм приводит к образованию эпитаксиальных пленок Ge:Sb вследствие более глубокого плавления (до 1.5 мкм) в сравнении с ИЛО (до 0.3 мкм). Эпитаксия при ИЛО достигалась для сравнительно тонких пленок (до 150 нм). При этом перераспределение по глубине примеси Sb коррелировало с глубиной расплава [5]. Электрические измерения пленок показали достижение низкого значения слоевого сопротивления (~ 10 Ом/□), а концентрация носителей практически совпадала с введенной концентрацией Sb, что означает высокую степень ее электрической активации при неравновесном импульсном отжиге. Измерения фотоотклика, проведенные на полученной фотодиодной структуре при приложении к ней обратного смещения ($U=30$ В) с освещением образца светом лампы накаливания (150 Вт), показали интенсивный сигнал в области длин волн 1200-1600 нм, превышающий по амплитуде сигнал от типового Ge-фотодиода марки ФД-2 (Рисунок 1а). Также стоит отметить расширение диапазона фоточувствительности до 2000 нм, вероятно обусловленного повышенным уровнем легирования (до 10^{20} $см^{-3}$).

Для второй системы комбинированное ионное облучение ($He+Ti$) кристалла p-Si приводило к получению сильно легированного металлом (до 10^{21} $см^{-3}$) тонкого слоя Si:Ti с n-типом проводимости. Измерения ВАХ показали наличие диодного поведения, а измерения фотоотклика при аналогичном освещении образца и подаче обратного смещения ($U=10$ В) показали наличие интенсивного сигнала с максимумом при 960 нм, превышающего значение для типового Si-фотодиода марки ФД-27К (Рисунок 1б). Стоит заметить, что приведенные данные характерны для тестовых образцов и дальнейшая оптимизация процесса роста и отжига пленок поможет усилить полезный сигнал.

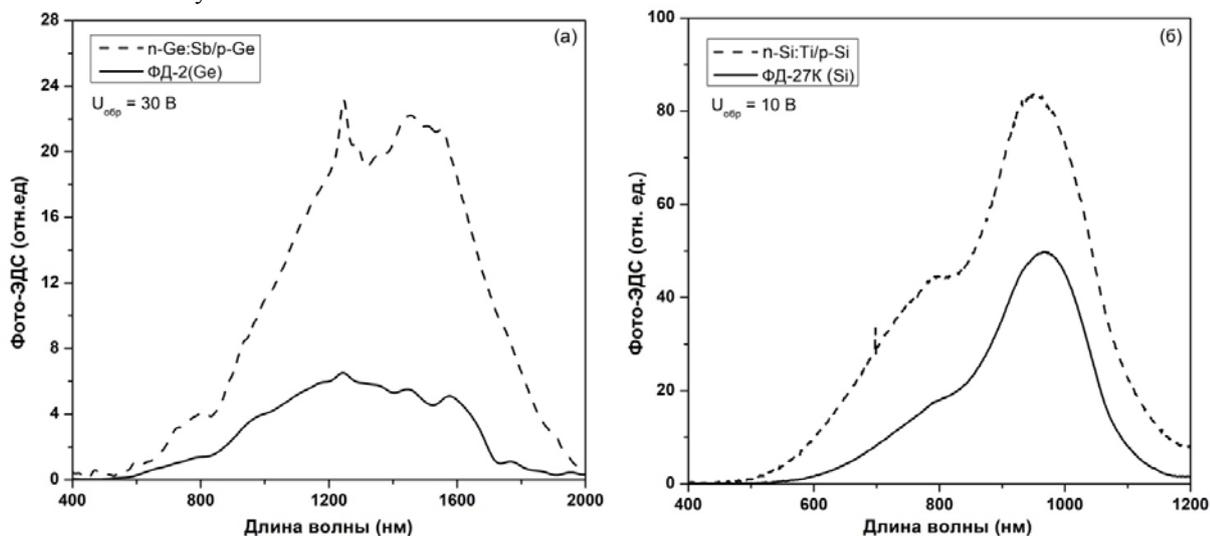


Рисунок 1 – Спектральная зависимость фотоотклика (а) сформированной фотодиодной структуры n-Ge:Sb/p-Ge и типового Ge-фотодиода ФД-2 при подаче обратного смещения $U = 30$ В, (б) сформированной фотодиодной структуры n-Si:Ti/p-Si и типового Si-фотодиода ФД-27К при подаче обратного смещения $U = 10$ В.

Список литературы

1. Frigerio J., Ballabio A., Gallacher K. et al. Optical properties of highly n-doped Ge obtained by in-situ doping and laser annealing // J. Phys. D: Appl. Phys. 50, 465107 (7pp) (2017).
2. García-Hemme E., García-Hernansanz R., Olea J., et al. Room-temperature operation of a titanium supersaturated silicon-based infrared photodetector // Appl. Phys. Lett. 104, 211105 (5pp) (2014)
3. Garcia-Hemme E., García G., Palacios P. et al. Vanadium supersaturated silicon system: a theoretical and experimental approach // J. Phys. D: Appl. Phys. 50, 495101 (8pp) (2017).
4. Yuan J., Huang H., Deng X., et al. Preparation and characterization of the Si:Co layer for intermediate band solar cell applications // Opt. Mater. 77 34-38(2018)
5. Баталов Р.И., Баязитов Р.М., Новиков Г.А. и др. Наносекундный импульсный отжиг сильно легированных слоев Ge:Sb на Ge подложках // Микроэлектроника 47(№5) (в печати) (2018).

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ ДАТЧИКА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Баязитов А.А.¹, Магистр радиофизики, м.н.с.,

Фаттахов Я.В.¹, к.ф.-м.н., в.н.с., Хундиряков В.Е.² – студент

1 - Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Федеральный исследовательский центр “Казанский научный центр Российской академии наук”

*http://www.kfti.knc.ru, Россия, 420029, Казань, Сибирский тракт, 10/7
+79047609448, e-mail: bayazitov.alfis@kfti.knc.ru*

*2 - ФГФУВО Казанский (Приволжский) федеральный университет
http://kpfu.ru, Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18.*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE RECEIVING PART OF THE ELLIPTICAL SHAPE SENSOR

Bayazitov A.A.¹, Fattakhov YA. V.², KHundiriakov V.E.²

Annotation

This work is devoted to the investigation and development of the configuration of the receiving path for a sensor receiving a signal in the brush region. The expediency of the transition from cylindrical to elliptical shape of the receiving part of the sensor is justified by the increase in the filling factor, which as a result will lead to an increase in the signal-to-noise ratio.

Keywords

The wireless sensor, the receiving circuit, Gauge brush.

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию и разработке конфигурации приемного тракта для датчика, принимающего сигнал в области кисти. Целесообразность перехода от цилиндрической к эллиптической форме приемной части датчика обосновано увеличением коэффициентом заполнения, что в результате приведет к увеличению отношения сигнал/шум.

Ключевые слова

Радиочастотный датчик, приемный контур, датчик кисть.

Цель работы

Выбор оптимального расположения витков для обеспечения необходимой однородности поля.

Суть обсуждаемой проблемы:

В работе проводилась оценка однородности поля и амплитуды сигнала для контуров состоящих из 4 витков (цилиндр), 6 витков (цилиндр) и 6 витков (эллипс). Сравнение однородности поля для 6 и 4 витков рис.1. Верхний график соответствует 6 виткам, нижний график соответствует 4 виткам.

Из графиков на рис.1 видно, что 6 витков обеспечивают лучшую однородность поля, чем 4 витка с током. Но дальнейшее увеличение числа витков с током (8 витков) приводит к необходимости увеличивать размеры датчика что крайне нежелательно.

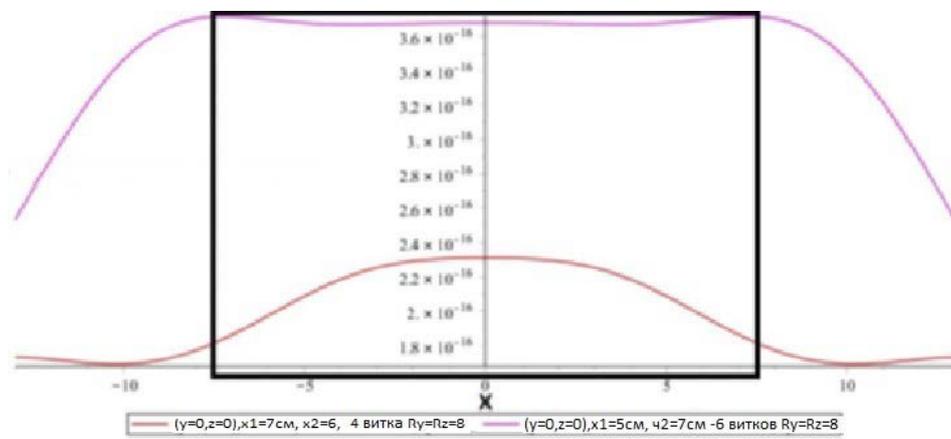


Рисунок 1

Однородное поле способствует равномерному приему ЯМР сигнала. В расчётах мы считаем что распределение поля передачи и приема одного и того же контура эквивалентными. То есть в расчетах использовалась формула Био-Савара-Лапласа для контура формирующего поле [1, 2]. Однородность поля оценивается по формуле [3]:

$$\delta = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}{\bar{X}} ; (1)$$

где δ – среднеквадратичное отклонение от среднего значения поля.

На рис.2,3,4 представленные графики отвечают наилучшей однородностью поля и оптимизированы по параметрам X1 и X2 для каждого значения Rz при постоянном значении Ry = 8 см

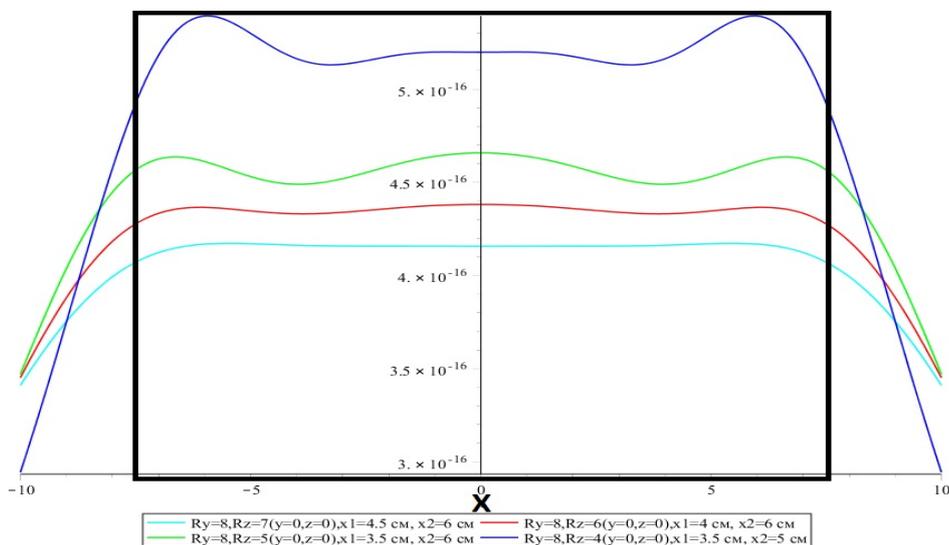


Рисунок 2 – Распределение поля вдоль оси X от 6 витков для различных значений полуоси эллипса Rz.

Результаты, представленные на рис. 2. моделировались в центре датчика вдоль оси X в области 150 мм.

X: Rz = 7; $\delta=0.6\%$; Rz = 6; $\delta=0.3\%$; Rz = 5; $\delta=1.2\%$; Rz = 4; $\delta=2.3\%$;

Оценивая однородность поля на рис.4 приведённых графиков распределение поля вдоль малой оси Y в области 100 мм.

Y: Rz = 7; $\delta=4\%$; Rz = 6; $\delta=4\%$; Rz = 5; $\delta=6\%$; Rz = 4; $\delta=7\%$;

Оценивая однородность поля на рис.4 приведённых графиков распределение поля вдоль малой оси Z в области 60 мм.

Z: Rz = 7; $\delta=3\%$; Rz = 6; $\delta=6\%$; Rz = 5; $\delta=7\%$; Rz = 4; $\delta=20\%$;

Наибольший интерес представляют второй и третий графики на рис.2,3,4, так как процентное отношение неоднородности поля эти графики близки.

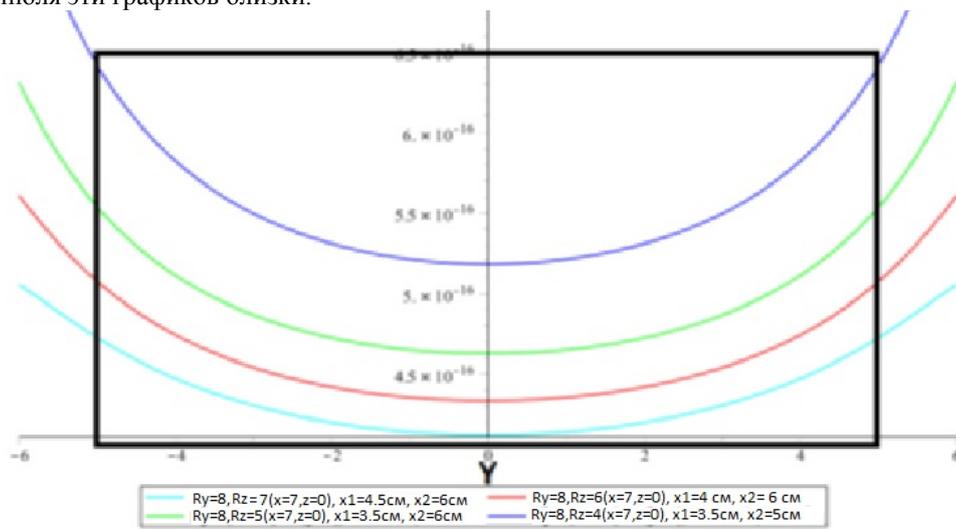


Рисунок 3 – Распределение однородности поля вдоль оси Y для различных значений радиусов Rz.

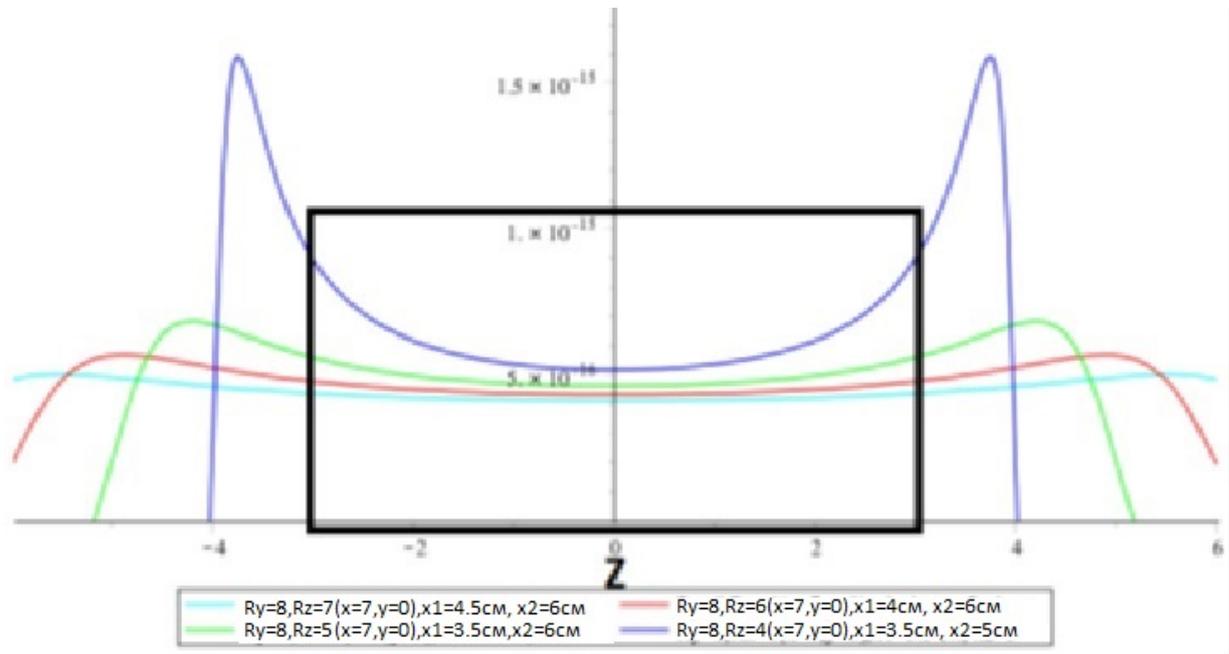


Рисунок 4 – Распределение однородности поля вдоль оси Z для различных значений радиусов R_z .

С учетом полученных результатов можно сказать, что оптимальным вариантом распределение витков с током на краях датчика вдоль наименьшей оси (оси Z) наблюдается больше отклонение поля от среднего значения. Наилучшим вариантом является контур с параметрами $R_y = 8 \text{ см}$, $R_z = 6 \text{ см}$, $x_1 = 4.5 \text{ см}$, $x_2 = 6 \text{ см}$.

Рекомендации и выводы

В цилиндрическом контуре с 6 витками амплитуда в 2 раза выше и однородность поля лучше, чем в контуре с 4 витками.

При увеличении числа витков до 8 для обеспечения аналогичной однородности требуется увеличить размеры датчика вдоль оси X что нежелательно поэтому мы остановились на 6 витках.

При переходе от 6 витков цилиндра к 6 виткам эллипса амплитуда увеличивается.

В результате у 6 витков эллипса амплитуда сигнала в 2 раза выше, чем у 4 витков цилиндра, а однородность поля вдоль основной оси в центре в 2 раза лучше.

Литература

1. Дружкин Л. А. Задачи теории поля. – М.: Московский ин-т радио-электроники и горной электромеханики, 1964.
2. Монтгомери Д. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. – М.: Мир, 1971.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М: изд-во “Наука”, 1977.

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЗНОВЫСОТНОСТИ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕССОРА В ПРОЦЕССЕ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ШЛИФОВКИ

Боровик С.Ю., д.т.н., в.н.с., Секисов Ю.Н., д.т.н., г.н.с., ИПУСС РАН, www.iccs.ru

*443020 г. Самара ул., Садовая 61
+7 (846) 332-39-27, borovik@iccs.ru
+7 (846) 333-31-31, sekisov@iccs.ru*

THE SYSTEM FOR TECHNICAL MONITORING OF TURBO-COMPRESSOR'S BLADES HEIGHT DURING THEIR DYNAMIC POLISHING

Borovik S.Yu., Sekisov Yu.N.

Annotation

The paper considers a system for technical monitoring of blades height during their dynamic polishing on special equipment that contains rotating blades wheel with given rate. The system is based on original single-coil eddy-current sensors that were designed in authors' organization. The structure and system's hardware are given in the too.

Keywords

Gas-turbine engine, blades wheel, dynamic polishing, clearance measuring, blades height monitoring, eddy-current sensor, hardware and software.

Аннотация

Предлагается система технического мониторинга разнорысотности лопаток при их динамической шлифовки в процессе вращения рабочего колеса турбокомпрессора с заданной скоростью на специализированном технологическом оборудовании. Основу системы составляют одновитковые вихретоковые датчики радиальных зазоров, разработка которых ведется в организации, представляемой авторами доклада. Рассматривается структура и основные технические средства системы.

Ключевые слова

Газотурбинный двигатель, лопаточное колесо, динамическая шлифовка, измерение зазоров, контроль разнорысотности, вихретоковый датчик, аппаратные и программные средства.

Компрессоры и турбины газотурбинных двигателей (ГТД) являются узлами, определяющими основные характеристики силовых установок, включая устойчивость, надежность, экономичность и экологичность [1]. Одним из параметров, оказывающих существенное влияние на указанные показатели и определяющим в итоге геометрию газоздушного тракта ГТД, является величина радиального зазора (РЗ) между основными подвижными и неподвижными элементами конструкции двигателя и, в частности, между лопаточным венцом рабочего колеса компрессора или турбины ГТД и статорной оболочкой [2, 3]. Это предъявляет достаточно жесткие требования по изготовлению и восстановительному ремонту соответствующих элементов конструкции ГТД.

Известно, что обеспечение равномерности РЗ (равного удаления поверхностей торцов лопаток относительно оси вращения) в пределах выбранного сечения компрессора или турбины ГТД достигается шлифованием торцов лопаток в составе рабочего колеса или ротора [4]. Обычно такая технологическая операция производится в статическом режиме, хотя, как это отмечается в [4], и с учетом величины возможной вытяжки дисков. В общем случае на рабочих режимах работы ГТД возможны изменения зазоров из-за пластических и упругих деформаций лопаток, которые не были учтены при статическом шлифовании и которые могут привести к нарушению регулярной картины распределения РЗ в выбранном сечении. Кроме того, в том же источнике [4] отмечается, что отшлифованные в составе одного рабочего колеса лопатки, могут выступать и утопать в составе другого рабочего колеса, что особенно важно при проведении восстановительных ремонтов ГТД.

Для достижения лучших эксплуатационных показателей ГТД на рабочих режимах, представляется оправданным производить шлифование торцов лопаток в динамике на вращающемся с высокой скоростью рабочем колесе непосредственно перед его установкой на двигатель. При этом может потребоваться разработка специализированного оборудования, обеспечивающего такой режим шлифования, либо доработка и использование уже имеющихся у производителей средств. Например, возможна доработка для указанных целей широко используемых на предприятиях двигателестроения балансировочных станков Schenck V2L-40L [5]. На таких станках обрабатываемый диск с лопатками закрепляется в горизонтальной плоскости, что существенно облегчает размещение датчиков контролирующего оборудования и обрабатываемого инструмента.

Для контроля разнорысотности лопаток в результате динамического шлифования предлагается использовать систему технического мониторинга радиальных зазоров до торцов лопаток рабочего колеса компрессора ГТД, основу которой составляют технические средства, разрабатываемые в Институте проблем управления сложными системами Российской академии наук на базе одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) с чувствительными элементами (ЧЭ) в виде отрезка проводника [5, 6]. ОВТД устанавливаются в

измерительную головку станка, которая обеспечивает размещение ЧЭ датчиков над торцами рабочих лопаток. Измерительная головка должна обеспечивать перемещение ОВТД в радиальном направлении в заданных пределах (обычно порядка 5 мм). ОВТД формирует информационный сигнал, характеризующий величину зазора по каждой лопатке колеса. Для привязки величины зазора к конкретной лопатке необходима синхронизация периода опроса ОВТД с частотой вращения лопаточного колеса, например, с помощью традиционного датчика частоты вращения типа ДЧВ-2500 и одиночной метки на валу шлифовальной установки.

Функционирование системы в рабочем режиме предполагает, что сначала на малой скорости вращения колеса выполняются измерения зазоров между торцами всех лопаток и ЧЭ ОВТД. Далее устанавливаются рабочие обороты ротора, измеряются РЗ и вычисляется величина наибольшего отклонения зазоров по лопаткам. Шлифование выполняется оператором с учетом вычисленного отклонения. В процессе шлифования непрерывно контролируется и фиксируется РЗ по всем лопаткам. Процесс прекращается при достижении заданного разброса зазоров по лопаткам или при достижении заданного перемещения шлифовального круга. Полная информация о всех этапах шлифования архивируется и сохраняется в долговременной памяти системы. По окончании процесса шлифования формируется итоговый протокол, содержащий основную информацию об изменениях РЗ в течение всего технологического процесса.

В табл. 1 приведены оценки технических характеристик такой системы мониторинга, проведенные на основе анализа существующих технических средств подобного рода систем измерения, прошедших апробацию в стендовых испытаниях ГТД.

Таблица 1 – Технические характеристики системы технического мониторинга разновысотности лопаток

Параметр	Значение
Число лопаток на колесе	до 120
Длительность сбора информации о радиальном зазоре по всем лопаткам, обороты колеса	1
Длительность обработки информации, обороты колеса	до 10
Разрешающая способность измерения радиальных зазоров, мм	0,001
Абсолютная погрешность измерения радиальных зазоров, мм	0,01
Максимальная скорость вращения колеса, обороты/мин	3000

Конструктивно система технического мониторинга может быть выполнена либо в виде компьютерной системы, либо отдельного прибора, что значительно повышает удобство его эксплуатации.

Литература

1. Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть 1. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток/ Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА. – 74 с.
2. Григорьев В.А. Испытания и обеспечение надежности авиационных ГТД и энергетических установок. Краткий курс лекций. <http://tdla.ssau.ru/uop/ispit/conspect.pdf>.
3. Данильченко В.П., Лукачев С.В., Ковылов Ю.Л., Постникова А.М., Федорченко Д.Г., Цибизов Ю.И. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. – Самара: изд-во СамНЦ РАН, 2008. – 620 с.
4. Патент 2099541 РФ, F01D 5/02. Способ замены комплекта рабочих лопаток ступени турбины газотурбинного двигателя/ Гельфенбейн Л.С., Зуев В.Н., -95101579/06. Заявл. 30.01.1995
5. Вертикальные балансировочные станки для авиационной промышленности. <http://www.schenck-rotect.ru/products/products/V2L-40L-VE2L-5L.php>
6. Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / Под ред. Ю.Н. Секисова, О.П. Скобелева – Самара: изд-во СамНЦ РАН, 2001. – 188 с.
7. Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / под общ. ред. О.П. Скобелева – М.: Машиностроение, 2011. – 298 с.

ДАЛЬНЕПОЛЕВАЯ ТЕМНОПОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ ОДИНОЧНЫХ ПРОЗРАЧНЫХ НАНОБЪЕКТОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Вайнер Ю.Г.¹, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией оптики и спектроскопии нанобъектов, Крашенинников В.Н.¹, ведущий научный сотрудник лаборатории оптики и спектроскопии нанобъектов, Зыбин А.В.² к.ф.-м.н., доцент, Малек А.В.³ к.м.н., заведующая научной лабораторией онкоэндокринологии.
1 - ФГБУН, ИСАН, <https://isan.troitsk.ru/ru/>, 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5, тел. (495) 851-02-36, e-mail: vainer@isan.troitsk.ru
2 - Leibniz Institute für Analytische Wissenschaften, ISAS, Bunsen,-Kirchhoff-Straße 11, 44139 Dortmund, Germany; alexander.zybin@isas.de
3 - НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, 197758 г. Санкт-Петербург, тел. 960 250-46-80, e-mail: anastasia@malek.com

FAR-FIELD DARK-FIELD OPTICAL MICROSCOPY OF SINGLE NANOOBJECTS OF BIOLOGICAL NATURE

*Vainer Yu.G.*¹, *Krashennnikov V.N.*¹, *Zybin A.V.*², *Malek A.V.*³

Annotation

The high sensitive experimental facility which allows to diagnose in optical region single nanoparticles of different nature with sizes up to 40 nm and smaller including practically transparent particles of biological origin putted in watter medium: exosomes, intracell vesicules, liposomes, viruses et al.

Keywords

Dark-field microscopy, biological nanoobjects, transparent nanoparticles, exosome, vesicles.

Аннотация

Разработан высокочувствительный экспериментальный комплекс, с помощью которого можно диагностировать в оптическом диапазоне одиночные наночастицы различной природы размерами до 40 нм и менее, включая помещенные в водную среду, практически прозрачные частицы биологического происхождения: экзосомы, внутриклеточные везикулы, липосомы, вирусы, и т.п.

Ключевые слова

Темнопольная микроскопия, биологические нанобъекты, прозрачные наночастицы, экзосомы, везикулы.

Разработанный комплекс позволяет определить местоположение и индивидуальные размеры каждой из наблюдаемых частиц. Он состоит из сдвоенного дальнеполевого темнопольного лазерного микроскопа, в котором совмещены два разных метода: метод плазмонного резонанса (модифицированная схема темнопольного микроскопа, позволяющая реализовать режим фазочувствительной регистрации световых сигналов от наночастиц) и метод флуоресцентной микроскопии. Одновременная регистрация наночастиц двумя существенно разными методами позволяет значительно повысить достоверность обнаружения детектируемых наночастиц, что крайне важно во многих применениях (например, в задачах медицинской диагностики). Кроме того, в состав разработанного комплекса входит темнопольный микроскоп, работающий по схеме “светового листа” (light sheet), который позволяет оперативно определять индивидуальные размеры наблюдаемых наночастиц по траекториям их броуновского движения в жидкой среде.

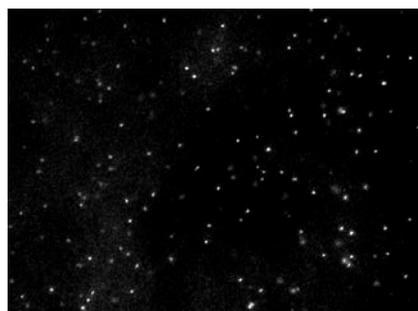
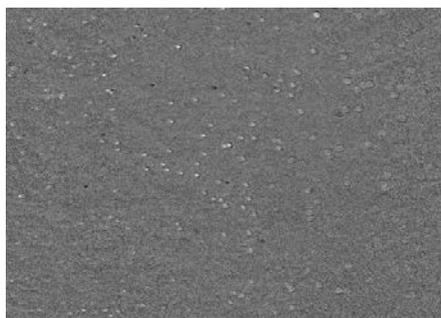


Рисунок 1 – Примеры регистрации полистироловых наночастиц диаметром 80 нм, помещенных в физраствор, полученные с помощью плазмонного микроскопа (слева) и микроскопа светового листа (справа).

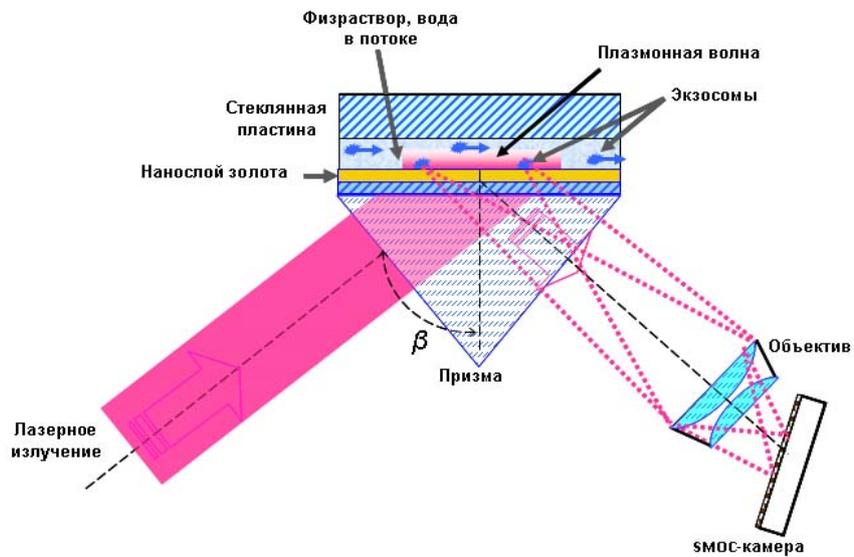


Рисунок 2 – Оптическая схема темнопольного микроскопа плазмонного резонанса.

В докладе приводятся принцип действия и схемы созданных микроскопов, обсуждаются их возможности и достигнутые с их применением параметры, сообщается о первых полученных результатах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСИРОВКИ РЕЗОНАТОРА ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА ПО РАЗНОЧАСТОТНОСТИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Вахлярский Д.С.^{1,2}, инженер-конструктор АО «ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

аспирант кафедры динамика и прочность машин

Гуськов А.М.², д.т.н., профессор кафедры динамика и прочность машин

Басараб М.А.², профессор кафедры информационная безопасность

Романов А.В.², студент кафедры подъемно-транспортные системы

1 – АО «ОКБ «ГИДРОПРЕСС», <http://www.gidropress.podolsk.ru/>, 142103, Московская область

г. Подольск, улица Орджоникидзе, д. 21, тел. (4967) 65-26-15, e-mail: vahlyar@yandex.ru

2 – МГТУ им. Н.Э. Баумана, <http://www.bmstu.ru/>, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

FINITE ELEMENT METHOD MODELING OF FREQUENCY SPLIT BALANCING OF RESONATOR OF A SOLID-STATE GYROSCOPE

Vakhlyarsky D.S.¹, Gouskov A.M.², Basarab M. A.², Romanov A. V.²

Annotation

The paper presents a technique for modeling the balancing of a cylindrical resonator of a wave solid-state gyroscope made of metal. A balancing is simulated, at which holes are drilled at the end of the cylindrical surface. The centers of the holes lie on the middle surface of the resonator shell, that is, mass balancing is performed. Such imperfections as the radius of the inner surface, thickness, density and Young's modulus are taken into account in the model. All errors are distributed in the circumferential direction according to the fourth harmonic of the Fourier expansion. Modeling is carried out by the finite element method (FEM). The aim of the paper is to qualitatively test the possibility of such a balancing method for various types of defects, as well as to give quantitative estimate of the values of the balancing masses for the particular resonator geometry under consideration.

Keywords

Hemispherical resonator gyroscope, balancing, frequency diversity, frequency splitting, cylindrical resonator.

Аннотация

В работе представлена методика моделирования балансировки цилиндрического резонатора волнового твердотельного гироскопа, изготовленного из металла. Моделируется балансировка, при которой в торце цилиндрической поверхности высверливаются отверстия. Центры отверстий лежат на срединной поверхности оболочки резонатора, то есть проводится балансировка по массе. На резонатор накладываются погрешности радиуса внутренней поверхности, толщины, плотности и модуля Юнга. Все погрешности распределены в окружном направлении по четвертой гармонике разложения в ряд Фурье. Моделирование проводится методом конечных элементов (МКЭ). Целью работы является качественная проверка возможности такого метода балансировки для различного типа дефектов, а также количественной оценки величин балансировочных масс для конкретной рассматриваемой геометрии резонатора.

Ключевые слова

Волновой твердотельный гироскоп, балансировка, разночастотность, расщепление частот, цилиндрический резонатор.

Введение

Волновой твердотельный гироскоп (ВТГ) – высокоточный высоконадежный датчик измерения угловой скорости в случае позиционного возбуждения и угла поворота в случае параметрического [1]. Принцип работы ВТГ основан на инерционных свойствах стоячих волн, возбужденных в осесимметричных телах, так называемом эффекта Брайана [2]. На рисунке 1 показан резонатор – чувствительный элемент ВТГ, в котором возбуждается стоячая волна. Резонатор изготавливается из высокодобротного материала. В настоящее время производятся ВТГ с кварцевыми и металлическими резонаторами. Кварцевые резонаторы изготавливаются в виде полусферы, металлические в виде цилиндров с двумя участками разной толщины. На данный момент задача устранения расщепления частот кварцевых резонаторов успешно решена. Задача эффективной балансировки разночастотности металлических резонаторов остается всё ещё актуальной.

В данной работе представлено моделирование балансировки металлических резонаторов с дефектом радиуса внутренней поверхности, дефектом толщины, дефектом плотности и дефектом модуля Юнга. Рассматриваются случаи, когда каждый из дефектов присутствует по отдельности. Дефекты распределены в окружном направлении по четвертой гармонике, в меридиональном направлении – линейно.



Рисунок 1 – Цилиндрический резонатор волнового твердотельного гироскопа

Расщепление частот волнового твердотельного гироскопа

Функционирование волновых твердотельных гироскопов (ВТГ) основано на явлении прецессии упругих волн, возбужденных в осесимметричных телах (эффект Брайана [2]). Угловая скорость Ω вращения гироскопа относительно инерциального пространства, и угловая скорость ω пучностей, возбужденной в осесимметричном теле стоячей волны, связаны соотношением (рисунок 2):

$$d\omega(t)/dt = k \Omega(t), \quad (1)$$

где Ω – угловая скорость вращения ВТГ; $d\omega(t)/dt$ – угловая скорость вращения пучностей стоячей волны в резонаторе (точкой обозначено дифференцирование по времени); k – масштабный коэффициент.

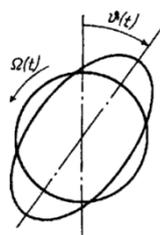


Рисунок 2 – Перемещение пучностей стоячей волны при наличии внешней угловой скорости

Как известно [3], осесимметричные твёрдые тела обладают двумя кратными частотами. Резонатор ВТГ представляет собой тонкостенную осесимметричную оболочку. При изготовлении, неизбежно возникновение погрешностей, которые приводят к нарушению симметрии оболочки резонатора и как следствие расщеплению его собственных частот. Наличие этого расщепления приводит к тому, что даже при нулевой скорости Ω в (1), скорость вращения пучностей стоячей волны $d\omega(t)/dt$ отлична от нуля, то есть возникает систематический дрейф стоячей волны в резонаторе. Одним из основных параметров, влияющим на этот дрейф, является указанное выше расщепление частот резонатора Δf_2 (индекс 2 обозначает окружное волновое число).

Для устранения разночастотности выполняют балансировку резонаторов ВТГ. Для металлических резонаторов она заключается в нахождении «тяжелой» оси резонатора и высверливания малых отверстий в торце цилиндрической поверхности (рисунок 3)

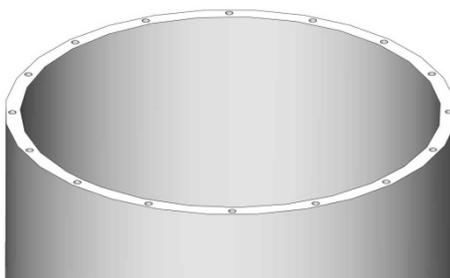


Рисунок 3 – Резонатор с отверстиями для балансировки

Моделирование резонатора с дефектами

Для вычисления расщепления частот резонатора с дефектами в данной работе применяется метод конечных элементов. Задача на собственные частоты при дискретизации конечными элементами имеет следующий вид:

$$(\mathbf{K} - p^2 \mathbf{M})\mathbf{q} = \mathbf{0}, \quad (1)$$

где \mathbf{M} – матрица масс конечно-элементной модели резонатора; \mathbf{K} – матрица жесткости конечно-элементной модели резонатора; p – собственная частота резонатора; \mathbf{q} – вектор узловых перемещений модели резонатора.

При малых величинах дефектов для волнового числа равного $n=2$, основная часть расщепления частоты Δf_2

определяется дефектами, распределенными в окружном направлении по четвертой гармонике, то есть с удвоенным волновым числом $m=2n=4$ [4]. Возможность использования МКЭ в традиционной форме, применительно к задаче вычисления расщепления частот резонатора ВТГ с малыми дефектами, показана в [5]. В работе моделируется балансировка резонаторов с дефектами радиуса внутренней поверхности, толщины, плотности и модуля Юнга, распределенными по четвертой гармонике $m=4$. Дефекты радиуса внутренней поверхности и толщины вносятся в модель через координаты узлов конечных элементов. Дефекты свойств материала вносятся в модель через присвоение индивидуальных свойств каждому конечному элементу в отдельности. На рисунке 4 в увеличенном масштабе показаны резонаторы с дефектами. Моделирование проводится в коммерческом ПО Ansys. При построении модели используются восьмиузловые конечные элементы, основанные на трёхмерной теории упругости.



а) Конечно-элементная модель резонатора с дефектом радиуса внутренней поверхности б) Конечно-элементная модель резонатора с дефектом толщины

Рисунок 4 – Конечно-элементная модель резонатора

Моделирование резонатора с удалёнными балансировочными массами

Для моделирования балансировки сначала решается задача поиска собственных частот резонатора с дефектом. Далее определяется угловое положение тяжёлой оси. На верхней параллель резонатора (там, где проводится сверление) в узлы соответствующие тяжёлой оси помещаются элементы, обладающие только матрицей масс. Компоненты матриц масс этих элементов имеют отрицательные знаки, что соответствует удалению материала. Масса удаленного материала подбирается итерационным способом, так, чтобы результирующее расщепление частот равнялось нулю. Исходя из значений этих масс, для резонатора с рассматриваемой геометрией, могут быть выбраны размеры отверстий, которые необходимо высверлить при заданном значении расщепления частот.

Заключение

Моделирование балансировки резонатора методом конечных элементов позволяет с минимальным количеством предположений и допущений определить размеры отверстий, которые необходимо просверлить, для устранения расщепления частоты заданной величины. Представленная методика так же позволяет вычислить расщепление, которое появится вследствие разной величины удаляемых масс, то есть погрешности сверления.

Список литературы

5. Лунин Б.С., Матвеев В.А., Басараб М.А. Волновой твердотельный гироскоп. Теория и технология. – М.: Радиотехника, 2014.
6. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Волновой твердотельный гироскоп. М.: Наука, 1985.
7. Бидерман В.Я. Механика тонкостенных конструкций. Статика. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.
8. Донник А.С. Влияние геометрической неоднородности и упругой анизотропии материала на точностные характеристики волнового твердотельного гироскопа: дис. канд. техн. наук. М., 2006. 131 с.
9. Вахлярский Д.С., Гуськов А.М., Басараб М.А., Матвеев В.А. Использование метода конечных элементов совместно с методом возмущений в задаче вычисления расщепления частоты оболочки с дефектом формы срединной поверхности // Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. Май 2016. № 05. DOI: 10.7463/0516.0839190.

**ФАБРИКА БУДУЩЕГО ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВУ КАСТОМИЗИРОВАННОЙ
ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ НАУЧНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ
ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Бородин А.В., д.т.н., руководитель Проектного офиса ФГУП ЭЗАН при ФАНО России,
Бородин В.А., чл.-корр. РАН, зам. председателя Совета по научному приборостроению ФАНО России,
Веретенников А.В., к.ф.-м.н. руководитель Инжинирингового центра,
Котов С.В., нач. отдела информационных технологий
Кузьмин Д.Н., к.ф.-м.н., нач. КБ аналитического приборостроения,
Новиков Д.О., к.т.н. нач. Бюро перспективных проектов
ФГУП ЭЗАН, 142432, Московская область, г. Черноголовка
проспект Академика Семенова, д. 9. Тел. (495) 993-61-20, e-mail: bor@ezan.ac.ru*

**FACTORY OF THE FUTURE FOR THE DEVELOPMENT AND MANUFACTURE OF CUSTOMIZED
VACUUM EQUIPMENT FOR SCIENTIFIC INSTRUMENTS AND HIGH-TECH INDUSTRIES**

Borodin A.V., Borodin V.A., Veretennikov A.V., Kotov S.V., Kuzmin D.N., Novikov D.O.

Annotation

The paper presents the scientific and technical background and activity of the Experimental Factory of Scientific Engineering with the Special Design Bureau of the Russian academy of sciences in the fields of computer engineering, development and production of high vacuum equipment, as well as related scientific instruments and technological equipment. The project "Factories of the Future", which is currently being implemented within the NTI (National Technology Initiative), for the development and production of customized vacuum equipment for scientific instruments and high-tech industries is considered.

Keywords

Vacuum technology, scientific instrument making, National Technology Initiative, Factory of the Future.

Аннотация

В статье представлены научно-технический задел и работы Экспериментального завода научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро РАН (ФГУП ЭЗАН) по компьютерному инжинирингу, разработке и производству высоковакуумной техники, приборам и технологическому оборудованию на ее основе. Рассматривается реализуемый в настоящее время в рамках НТИ проект «Фабрики Будущего» по разработке и производству кастомизированной вакуумной техники для научного приборостроения высокотехнологичных отраслей промышленности.

Ключевые слова

Вакуумная техника, научное приборостроение, Национальная технологическая инициатива, Фабрика Будущего.

Введение

Одной из проблем развития отечественного научного приборостроения является отсутствие предприятий, способных оперативно решать задачи по разработке и производству разнообразной вакуумной техники и ее компонент для новых приборов и технологического оборудования как уникальных, которые имеют ограниченное применения для научных исследований, так и для тех, которые планируется тиражировать для широкого круга потребителей. В настоящее время стала очевидна необходимость в новом типе предприятия – «Фабрики будущего», которое способно быстро откликаться на индивидуальный (кастомизированный) запрос и представлять заказчику изделие по цене, сопоставимой с серийной продукцией, а также осуществлять и серийное производство. Расширение фронта фундаментальных и прикладных исследований организациями, подведомственными ФАНО России, является дополнительным аргументом для создания такого предприятия. «Фабрика будущего» понимается как система комплексных технологических решений (интегрированные технологические цепочки), обеспечивающая в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения [1]. В понятие «Фабрики будущего» включается понятие «Цифровые фабрики», использующей технологии компьютерного инжиниринга, в первую очередь цифрового моделирования и проектирования как самих изделий, так и производственных процессов на протяжении всего жизненного цикла изделия, а также понятие «Умной фабрики», которая представляет собой автоматизированную систему управления технологическими и производственными процессами, позволяющую оперативно перенастраивать оборудование без вмешательства человека. Третьим звеном «Фабрики будущего» является «Виртуальная фабрика», являющаяся, по сути, распределенной сетью «цифровых» и «умных» фабрик, связанных между собой на основе технологий управления глобальными цепочками поставок и производственными активами [2].

Предпосылки реализации проекта

В настоящее время ФГУП ЭЗАН разрабатывает и производит следующее оборудование, имеющее в своем составе элементы вакуумной техники:

- серия изотопных масс-спектрометров для производства уранового топлива;
- серия автоматизированного оборудования для выращивания монокристаллов тугоплавких оксидов и карбида кремния;
- кастомизированное оборудование для высокотемпературного синтеза и обработки материалов;
- плазмохимическое оборудование для травления и осаждения тонких пленок;
- вакуумные и сверхвысоковакуумные камеры, в том числе и из алюминия;
- вакуумные аксессуары.

На предприятии имеются механическое производство, литейное производство, гальваническое производство, сборочно-монтажное производство радиоэлектронной аппаратуры, вспомогательные участки (сварочный участок, участок керамики и пластмасс, участок наладки и тестирования электронной аппаратуры, участок сборки вакуумного оборудования).

На ФГУП ЭЗАН разработана и внедрена собственная система управления финансами производством, АСУП «Кедр» [3], включающая в себя модули PDM, CAPP, APS/MES, MRO, CRM и FI. В систему управления предприятия интегрированы САПР и PLM сторонних разработчиков, а также системы управления снабжением и бухгалтерским учетом. Обеспечивается финансовое планирование предприятия с учетом фактически заключенных и прогнозируемых договоров. Обеспечивается построение цифровой модели производства с учетом фактических мощностей обрабатывающих центров и циклов изготовления. Имеются CAD/CAM/CAE модули: проектирование изделий и подготовка конструкторской документации ведется при помощи САПР «Стео» и «КОМПАС-3D». Получены результаты виртуального тестирования разрабатываемой продукции на основе численного моделирования, в частности, для тепловых узлов установок выращивания кристаллов [4,5].

Основные рынки «Фабрики будущего»

В настоящее время наблюдается устойчивое увеличение общего объема рынка вакуумного оборудования, в первую очередь, за счет высокотехнологичных приложений, усиливается сегментация производителей по типам создаваемого оборудования, интенсифицируется развитие рынка аксессуаров, компонент и элементов вакуумных систем. Специализированные компании, используя надежных поставщиков вакуумных камер, аксессуаров и компонент, нацелены на разработку и производство законченных технологических комплексов.

Таблица 1.

Низкий вакуум	Технологический вакуум	Промышленный вакуум	Вакуум полупроводн. процессов	Тонкопленочное осаждение (не полупроводники)	Измерительная техника	Исследования и разработка
Сферы применения						
Системы упаковки (кроме продуктов питания) Системы печати и удержания бумаги Вакуумные присоски и конвейерные системы Медицинские системы	<ul style="list-style-type: none"> • Химическая промышленность • Нефтехимическая промышленность • Фармацевтическая промышленность • Производство пластмасс • Пищевая промышленность • Напитки • Текстиль • Бумажная промышленность • Керамика • Сублимационная сушка • Энергетика 	<ul style="list-style-type: none"> • Вакуумная металлургия • Вакуумная термическая обработка • Лазерные технологии • Электронные лампы • Электронно-лучевые трубки • Разрядные лампы и лампы накаливания • Обнаружение утечек • Охлаждение и кондиционирование воздуха • Автомобильный сегмент (обезвоживание зарядка и тестирование) 	<ul style="list-style-type: none"> • Кремниевые полупроводники • Сложные полупроводники TFT-LCD дисплеи MEMS • Изготовители оборудования и конечные пользователи оборудования химического и физического осаждения газов, травления, ионной имплантации, молекулярно-лучевой эпитаксии, выращивания кристаллов и т.п. 	<ul style="list-style-type: none"> • Покрытия оптические/сеточные/стеклянные • Хранение данных (CD, DVD...) • Тонкопленочные магнитные головки • Поверхностные покрытия (защита от износа, декоративное покрытие...) • Покрытия дисплеев (OLED, FED, FDP...) • Солнечная энергия (фотоэлектрические элементы, тепловые) 	<ul style="list-style-type: none"> • Масс-спектрометры • Электронные микроскопы • Течеискатели • Анализаторы поверхности • Газовые анализаторы • Метрологические/дефектологические системы для полупроводников • Системы фокусируемого ионного пучка • Электронно-лучевые системы • Рентгеновский анализ • Магнитно-резонансная томография и ядерная магнитно-резонансная томография 	<ul style="list-style-type: none"> • Университеты • Правительственные лаборатории • Научно-исследовательские лаборатории • Космическое моделирование
Характерное рабочее давление (mbar)						
>1	>10 ⁻²	10 ⁻² -10 ⁻⁶	1-10 ⁻⁸	10 ⁻³ -10 ⁻⁸	10 ⁻⁶ -10 ⁻¹⁰	10 ⁻² -10 ⁻¹¹

Полупроводниковая промышленность, научное приборостроение и НИОКР являются основными секторами вакуумной техники (более 60%) и вместе составляют около 100 млрд. долларов. Рынок вакуумной техники для указанных секторов оценивается в 15 млрд. долларов. ФГУП ЭЗАН планирует работать по этим сегментам российского рынка, который пока меньше 1% мирового рынка, но при переходе от сырьевой экономики к экономике знаний и высоких технологий объем российского рынка будет возрастать. Кроме того, планируется выход и на зарубежные рынки. На начальной стадии цифрового производства завод предполагает обеспечить потребности организаций, подведомственных ФАНО России и развивающиеся электронное и химическое машиностроение. В таблице 1 в зависимости от величины вакуума представлены некоторые

высокотехнологичные сегменты рынка вакуумной техники, которые являются перспективными рынками для ФГУП ЭЗАН.

Идея проекта и подход к его реализации

Для реализации «Фабрики будущего» необходимо решение следующих задач.

1. Создание распределенной информационной среды для оперативного взаимодействия предприятия с заказчиком, соисполнителями, поставщиками и экспертами;
2. Обеспечение работы с заказчиками, находящимися на любых уровнях готовности технологии (УГТ/TRL), включая фундаментальные и прикладные исследования:
 - первичное взаимодействие с заказчиком посредством «цифрового окна»;
 - оперативная реакция и информирование заказчика о принципиальной возможности разработки изготовления;
 - использование базы данных аналогичных наработок предприятия, состоящей как из типовых, так и из уникальных решений;
 - оперативное предоставление заказчику предварительных 3D моделей изделий.
3. Вовлечение заказчика в процесс разработки конструкторской документации с возможностью ее многократной корректировки при изменении его требований:
 - заказчик становится «виртуальным работником» и действует в постоянном контакте с разработчиками;
 - заказчик имеет доступ к разрабатываемой документации с возможностью внесения предложений о корректировке своих требований на любой стадии.
4. Обеспечение оперативной технологической подготовки производства и готовности производства к решению задач по изготовлению разнообразной вакуумной техники с применением передовых производственных технологий (ППТ):
 - применение современных систем-элементов «цифровой» и «умной» фабрик;
 - модернизация производства и его оснащение высокопроизводительными обрабатывающими центрами;
 - обучение персонала.

Этапы реализации проекта

Этап 1. Разработка «цифрового окна» «Фабрики будущего»:

- разработка «цифрового окна» с функциями получения информации от заказчика;
- разработка интерактивного «цифрового окна» для обеспечения присутствия заказчика в качестве «виртуального работника»;
- разработка интерактивного «цифрового окна» для экспертов, соисполнителей и поставщиков

Этап 2. Создание единой цифровой среды «Фабрики будущего»:

- создание системы сквозного проектирования кастомизированных изделий и подготовки производства с обеспечением информационной безопасности цифровой среды;
- разработка механизма оперативного отклика на запрос заказчика с применением базы моделей вакуумной техники и базы современных производственных технологий;
- испытание единой цифровой среды «Фабрики будущего» в условиях полигона;
- повышение квалификации инженерного персонала.

Этап 3. Создание экспериментального производственного участка (полигона) кастомизированной продукции:

- организация отдельного экспериментального производственного участка (полигона);
- дооснащение участка передовыми производственными технологиями и оборудованием;
- повышение квалификации производственного персонала.

Этап 4. Проведение тестовой эксплуатации Фабрики Будущего и проведение корректировок.

Литература

1. План мероприятий («дорожная карта») «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы.
2. Глобальные технологические тренды. <http://issek.hse.ru/trendletter/>, Трендлеттер # 8, (2016)
3. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2008614152 и № 2007614304
4. A.V. Borodin, V.A. Borodin. Numerical simulation of the distribution of individual gas bubbles in shaped sapphire crystals//J. of Crystal Growth, V. 478, 2017, pp. 180-186.
5. Бородин А.В., Юдин М.В., Францев Д.Н. Виртуальный тепловой узел для численного исследования процесса выращивания профилированных кристаллов сапфира // Научное приборостроение, 2017, т.27, №3. – с.70-80.

УСТАНОВКА ХЛОРИД-ГИДРИДНОЙ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ СЛОЕВ НИТРИДА ГАЛЛИЯ

*Вороненков В.В.^{1,2}, Бочкарева Н.И.¹, Вирко М.В.², Горбунов Р.И.^{1,2}, Зубрилов А.С.^{1,2}, Козотков В.С.^{1,2},
Латышев Ф.Е.², Леликов Ю.С.^{1,2}, Леонидов А.А.^{2,3}, Шретер Ю.Г.^{1,2}*

*1 - ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, www.ioffe.ru
2 - АО «ТРИНИТРИ», 197183 Россия, Санкт-Петербург, Липовая аллея д. 9А, 11Н, www.3N-technology.com
3 - ФГАОУ ВО СПбПУ, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, <http://www.spbstu.ru/>*

HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY SYSTEM FOR BULK GAN LAYERS DEPOSITION

*Voronenkov V.V.^{1,2}, Bochkareva N.I.¹, Virko M.V.², Gorbunov R.I.^{1,2}, Zubrilov A.S.^{1,2}, Kogotkov V.S.^{1,2},
Latyshev F.E.², Lelikov Y.S.^{1,2}, Leonidov A.A.^{2,3}, Shreter Y.G.^{1,2}*

Annotation

Hydride Vapor Phase Epitaxy is a promising method for the industrial production of GaN substrates. However, no HVPE reactors for GaN and AlN bulk layers deposition are available on the market. We developed HVPE reactor for mass production of bulk GaN and AlN epitaxial layers.

Keywords

HVPE, reactor, GaN, substrate, III-nitrides

Аннотация

Хлорид-гидриднаягазофазная эпитаксия - перспективный метод для промышленного производства подложек нитрида галлия. Однако, HVPE-реакторов для выращивания объемных слоев GaN и AlN на рынке нет. Нами разработан HVPE-реактор для массового производства объемных эпитаксиальных слоев нитридов галлия и алюминия.

Ключевые слова

HVPE, реактор, GaN, подложки, III-нитриды.

Подавляющее большинство нитридных приборов выпускается в настоящее время на подложках сапфира, кремния или карбида кремния. Подложки объемного нитрида галлия применяются только для структур, требующих высокого кристаллического качества эпитаксиальных слоев. До недавних пор рынок подложек GaN ограничивался производством голубых лазеров. В последние годы номенклатура приборов на объемном GaN, массово производящихся или готовящихся к производству, существенно расширилась - это зеленые лазеры [1], мощные светодиоды [2], вертикальные силовые приборы [3]. Основные методы массового производства пластин GaN - хлорид-гидриднаягазофазная эпитаксия (HVPE) и выращивание из раствора: аммонотермальный метод и метод Na-Flux. Метод HVPE позволяет получать эпитаксиальные слои высокой чистоты, вплоть до некомпенсированных полуизолирующих [4], при этом структурное качество таких слоев определяется применяемой стартовой подложкой: при использовании подложки объемного GaN плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях не превышает плотность дислокаций в подложке. Методы выращивания из раствора позволяют получать высоколегированные кристаллы с высоким структурным совершенством [5,6]. Использование таких кристаллов в качестве зародышей для выращивания в HVPE установке ([7]) обеспечивает возможность производства кристаллов GaN с концентрацией примесей менее 10^{14} см^{-3} при плотности дислокаций менее 10^3 см^{-2} .

Таким образом, промышленные установки для хлорид-гидриднойгазофазной эпитаксии нитрида галлия востребованы, но на рынке не представлены. Нашей целью было создание подобного оборудования.

Разработанная нами установка включает в себя систему подачи газов, реакционную камеру с вакуумным грузочным шлюзом и устройства очистки отработанных газов.

- Реакционная камера – вертикальная, с горячими стенками, температура держателя подложки — до 1200° С.
- Диаметр подложки – 50 мм; неоднородность толщины осаждаемого слоя <5%.
- Скорость эпитаксиального роста GaN – до 400 мкм/час.
- В реакционной камере отсутствуют детали сложной формы из кварца и иных хрупких материалов.
- Наличие вакуумной шлюзовой камеры обеспечивает возможность перезагрузки пластин без остановки реактора.
- Система самоочистки ростовой камеры и держателя подложки реактора. Очистка производится без остановки реактора в промежутках между ростовыми процессами, улучшается воспроизводимость и повышается срок службы элементов ростовой камеры.
- Установка приспособлена к продолжительным ростовым процессам, возможность выращивать слои толщиной до 10 мм и более. Несколько источников хлоридов (GaCl, AlCl₃, SiCl₄, TiCl₄, BCl₃) позволяют в одном процессе с выращиванием GaN наносить слои AlN, BN, TiN, Si₃N₄.

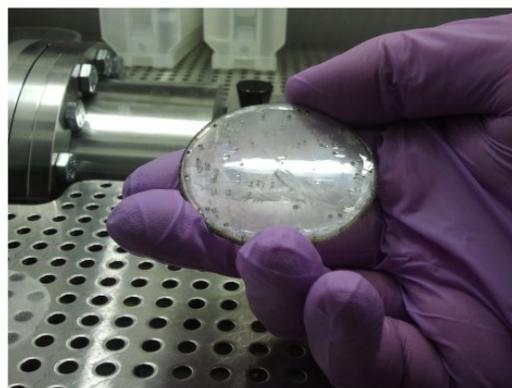
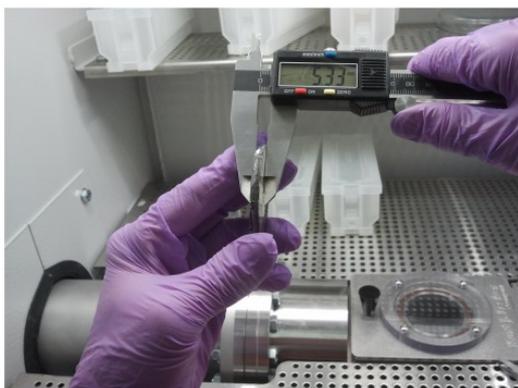


Рисунок 1 – Установка для выращивания объемных эпитаксиальных слоев GaN и кристаллы GaN, выращенные на данной установке.

Литература

1. Miyoshi T. et al. 510–515 nm InGaN-based green laser diodes on c-plane GaN substrate //Applied Physics Express. – 2009. – Т. 2. – №. 6. – С. 062201.
2. Cich M. J. et al. Bulk GaN based violet light-emitting diodes with high efficiency at very high current density //Applied Physics Letters. – 2012. – Т. 101. – №. 22. – С. 223509.
3. Nie H. et al. 1.5-kV and 2.2-mOhm-cm² Vertical GaN Transistors on Bulk-GaN Substrates //IEEE Electron Device Letters. – 2014. – Т. 35. – №. 9. – С. 939-941.
4. Fujikura H. et al. Recent progress of high-quality GaN substrates by HVPE method //Gallium Nitride Materials and Devices XII. – International Society for Optics and Photonics, 2017. – Т. 10104.– С. 1010403.
5. Mori Y. et al. Growth of GaN crystals by Na flux method //ECS Journal of Solid State Science and Technology. – 2013. – Т. 2. – №. 8. – С. N3068-N3071.
6. Kucharski R. et al. Non-polar and semi-polar ammonothermal GaN substrates //Semiconductor Science and Technology. – 2012. – Т. 27. – №. 2. – С. 024007.
7. Bockowski M. et al. Challenges and future perspectives in HVPE-GaN growth on ammonothermal GaN seeds //Semiconductor Science and Technology. – 2016. – Т. 31. – №. 9. – С. 093002.

АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ

*Вошкин А.А., д.т.н., зав. лабораторией теоретических основ химической технологии,
Заходяева Ю.А., к.х.н., ст. научный сотрудник лаборатории теоретических основ химической технологии,
Градов О.М., к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник лаборатории теоретических основ химической технологии.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С.
Курнакова Российской академии наук, <http://www.igic.ras.ru>
119991, Москва, Ленинский проспект, 31, тел. (495) 954-42-24, e-mail: voshkin@igic.ras.ru*

EQUIPMENT DESIGN OF LIQUID MIXTURE SEPARATION PROCESSES

Voshkin A.A., Zakhodyaeva Yu.A., Gradov O.M.

Annotation

In the report perspective tendencies in creation of processing equipment for implementation of extraction and hybrid processes are considered. Number of hardware decisions in the context of development of import substitution regarding the equipment for the research and educational purposes is offered.

Keywords

Technological equipment, education, liquid extraction, mini-extractors, import substitution.

Аннотация

В докладе рассмотрены перспективные тенденции в создании технологического оборудования для реализации экстракционных и гибридных процессов. Предложен ряд аппаратурных решений в контексте развития импортозамещения в части оборудования для научно-исследовательских и образовательных целей.

Ключевые слова

Технологическое оборудование, образование, жидкостная экстракция, мини-экстракторы, импортозамещение.

Неотъемлемой частью создания современных, конкурентоспособных технологий и разработок являются этапы лабораторных исследований, реализация которых возможна как в рамках исследовательской деятельности профильных научных подразделений, так и в рамках работ, выполняемых в контексте образовательного процесса в вузах химического и химико-технологического профиля. Успех в решении этих задач, принципиальных для достижения целей, обозначенных в Стратегии научно-технологического развития РФ, обусловлен наличием перспективных образцов аппаратурного оформления технологических процессов.

Процессы разделения компонентов жидких смесей широко используются в технологических схемах переработки природного и техногенного сырья, отходов производства и потребления. Одним из наиболее доступных являются экстракционные процессы, к достоинствам которых можно отнести простоту аппаратурного оформления и невысокую стоимость реализации процесса. Для разработки экстракционных технологий, отвечающих современным требованиям по эффективности, организации и экологической безопасности, необходимы новые решения в аппаратурном оформлении экстракционных процессов. В рамках представленного исследования выполнены разработки аппаратов на основе экстракционных и гибридных процессов извлечения, разделения и очистки компонентов жидких смесей для реализации экстракционных этапов в редкометальной, радиохимической промышленности, производстве цветных и благородных металлов, переработке отходов, например в процессах утилизации элементов питания. Предложенные аппараты созданы с учётом приоритетов энерго- и ресурсосбережения.

Предложен ряд аппаратурных решений [1-7] реализации процессов экстракционного разделения компонентов жидких смесей в контекст расширения импортозамещения в части технологического оборудования для научно-исследовательских и образовательных целей.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований, а также при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-106.2017.3.

Список литературы

10. Kostanyan A.E., Voshkin A.A. Support-free pulsed liquid-liquid chromatography // Journal of Chromatography A. – 2009. – Vol. 1216, № 45. – P. 7761–7766.
11. Kostanyan A.E., Voshkin A.A., Kodin N.V. Controlled-cycle pulsed liquid-liquid chromatography. A modified version of Craig's CCD Chromatography // J. Chromatogr. A. – 2011. – Vol. 1218. – P. 6135–6143.
12. Voshkin A.A., Kodin N.V., Kostanyan A.E. Column mini-extractors with a vibrating nozzle // Theor. Found. Chem. Eng. – 2010. – Vol. 44, № 4. – P. 616–618.
13. Kostanyan A.E., Egorova N.S., Voshkin A.A., Zonov S.S. Extraction of uranyl, ytterbium and lanthanum nitrates in a three-compartment multiphase extractor // Theor. Found. Chem. Eng. – 2008. – Vol. 42, № 5. – P. 718–723.

14. Костянян А.Е., Вошкин А.А., Пятовский П.А. Псевдожидкие мембраны с циркулирующей дисперсной мембранной фазой // Хим. технология. 2008. – Т. 9, № 10. – С. 535–538.
15. Gradov O.M., Voshkin A.A., Zakhodyaeva Y.A. Estimating the parameters of ultrasonically induced mass transfer and flow of liquids in the pseudomembrane method // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2017. Vol. 118 P. 54–61.
16. Zakhodyaeva Y.A., Izyumova K.V., Solov'eva M.S., Voshkin A.A. Extraction separation of the components of leach liquors of batteries // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2017. Vol.51. № 5. P. 883–887.

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРЫ: РЕАЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Гайский В.А., д.т.н., гл.н.с., проф.

Институт природно-технических систем (ИПТС), www.ИПТС.рф

299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28; тел. (8692) 54-44-10, e-mail: oaoimhi@inbox.ru

Гайский П.В., к.т.н., с.н.с., руководитель Центра автоматизации морских исследований (ЦАМИ)

Институт природно-технических систем (ИПТС), www.ИПТС.рф

299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28; тел. (8692) 54-44-10

E-mail: gaysky@inbox.ru

DISTRIBUTED THERMOPROFILE: IMPLEMENTATION AND USAGE

Gaiskii V.A., Gaiskii P.V.

Annotation

The state of development and use of distributed thermal profilers for measuring temperature profiles in water, air and soil, flow rate, density, interface boundaries, sea level ("electronic measuring rail"), parameters of internal waves, heat transfer in the sea and at industrial facilities is highlighted.

Keywords

Temperature sensor, distributed thermoprofilemeter, level meter.

Аннотация

Освещается состояние разработки и использование распределенных термопрофилеметров для измерения профилей температуры в воде, воздухе и грунте, скорости потоков, плотности, границ раздела сред, уровня моря («электронная мерная рейка»), параметров внутренних волн, теплозапаса в море и на промышленных объектах.

Ключевые слова

Датчик температуры, распределенный термопрофилеметр, измеритель уровня.

Распределенные термопрофилеметры (РТП) – это приборы, имеющие многопроводные датчики-кабели, погонная термочувствительность которых промодулирована по переменным функциям, например, из ортогонального базиса. По измерениям интегральных сопротивлений проводников находятся коэффициенты разложения измеряемого профиля по функциям модуляции.

Пространственный профиль можно измерить сканированием точечным датчиком и цепочкой точечных датчиков. В первом случае возникает неустранимая погрешность временной изменчивости, во втором – погрешность непосредственной пространственной дискретизации. РТП измеряет мгновенно и непрерывно по всей траектории укладки, осуществляя обобщенную дискретизацию. Чувствительная часть датчика РТП не содержит электроники и может работать в любых условиях внешней среды, для которых существуют или могут быть созданы кабели с соответствующей защитной оболочкой [1–6]. За счет этого обеспечивается высокая надежность кабеля-датчика до пределов механического износа, долговечность и простота постановки в труднодоступных или одноразово доступных местах.

Возможности использования РТП существуют во всех областях человеческой деятельности. Для получения достоверной информации при контроле полей и пространственных профилей температур приоритетней использовать распределенные датчики [7–9].

Знание точных конструктивных параметров измерительного кабеля датчика и положение в пространстве позволяет использовать РТП для контроля уровня и границ раздела сред. Для решения этой задачи используются известные и разработаны новые методы и алгоритмы, основанные на свойствах теплообмена датчика со средой, а также комбинации измерителя из одного и двух пассивных или активных распределенных датчиков [10].

При использовании термопрофилеметров исходными данными для вычисления уровня и границ раздела сред могут служить: градиент температур на участках распределенного датчика, параметры стационарного и динамического теплообмена со средами различной плотности и теплоемкости при естественной изменчивости или принудительном внутреннем нагреве чувствительных элементов измерителя.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Измерительная база и пространственное разрешение от 10 см до сотен м
Стандартный диапазон измерения от -40 до 100⁰С
Погрешность на участке менее 0,1⁰С
Измерение уровня по всей длине датчика

ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Промышленность и строительство:

– контроль полей температуры производственных помещений, производственных установок, строительных конструкций и др.;

– контроль уровня и температуры в емкостях с жидкими и сыпучими материалами.

Агропромышленность:

– контроль распределения температуры и уровня в зерновых элеваторах, овощехранилищах, холодильниках и др. в статике и динамике загрузки-выгрузки.

Энергетика:

– контроль полей температуры атомных реакторов, паровых котлов, турбин, теплопроводов, плотин гидроэлектростанций и др.;

– измерение температуры, уровня и границ раздела сред в трубопроводах и хранилищах.

Геология:

– контроль профиля температуры, уровня и границ раздела в скважинах, грунте и мерзлоте;

– контроль температурных режимов в ледниках.

Противопожарная безопасность:

– контроль температуры в сооружениях, транспорте, природе.

Экология, океанология и гидрология:

– измерения вертикальных профилей температуры, внутренних волн, тепловых выбросов, теплозапаса;

– измерение скоростей и направления течений;

– измерения уровня вод и поверхностного волнения.

Сельское хозяйство и метеорология:

– измерение профилей температуры воздуха, почвы и скорости ветра.

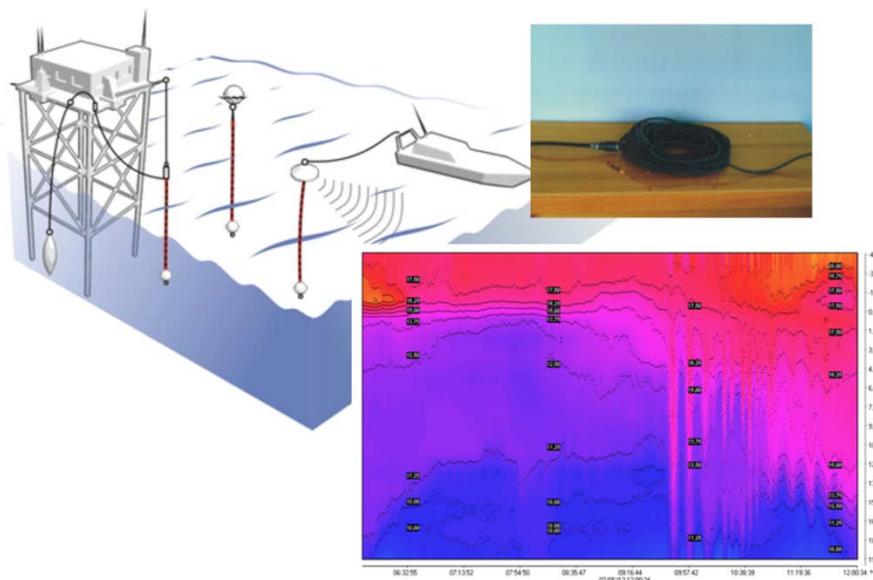


Рисунок 1 – Экспериментальные образцы морских термопрофилемеров.

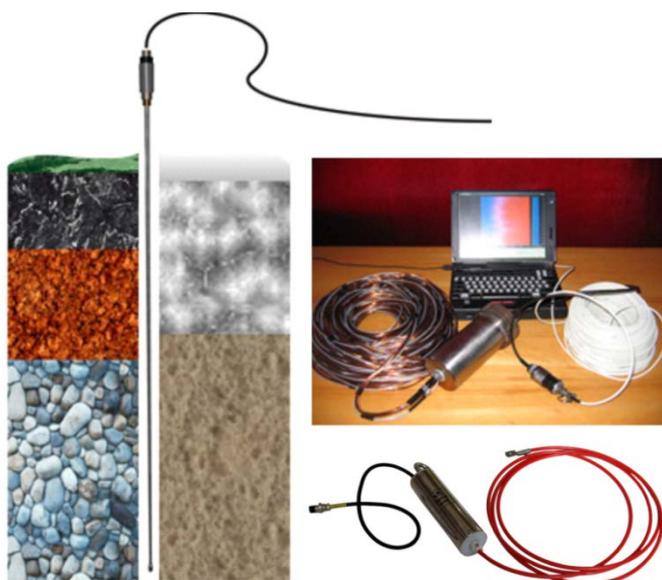


Рисунок 2 – Экспериментальные образцы термопрофилемеров 3,2 м и 50 м для почвы, грунта, льда и осадочных отложений.

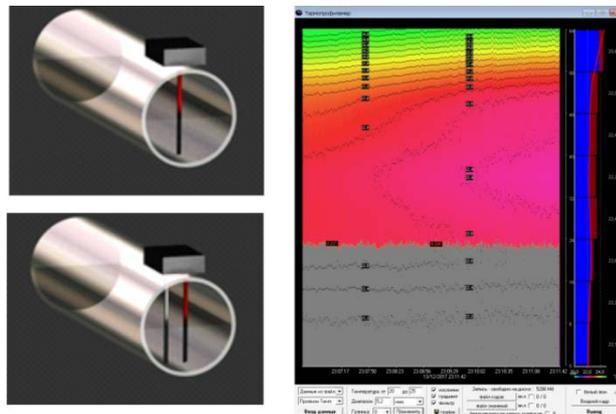


Рисунок 3 – Экспериментальные образцы термопрофилемеров для трубопроводов.

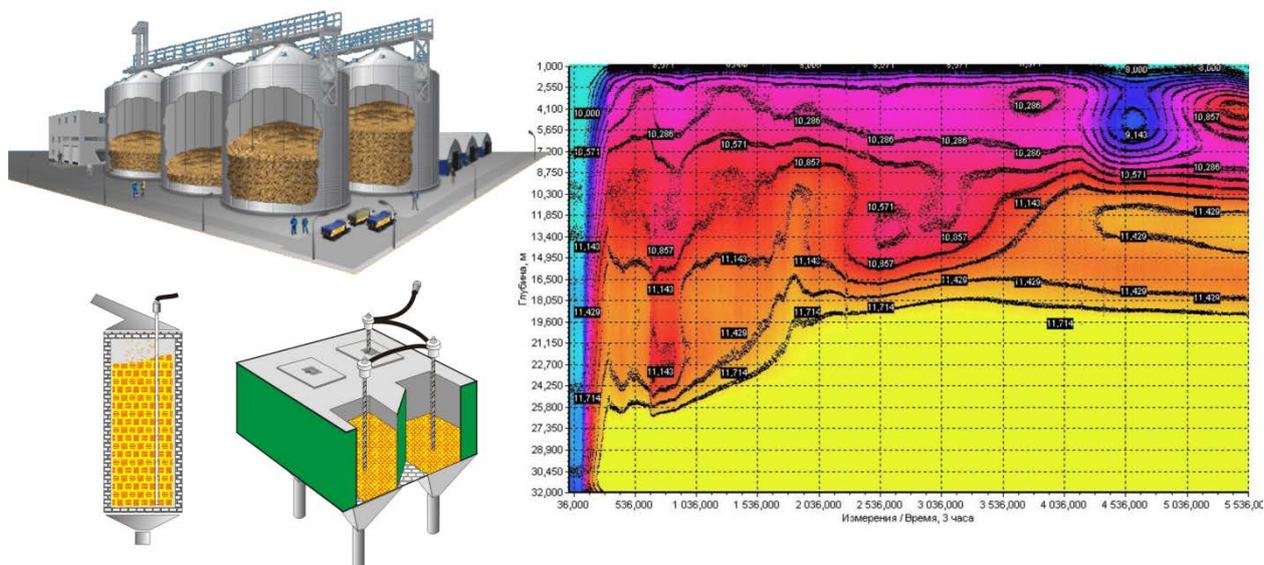


Рисунок 4 – Испытания экспериментального образца 32-х метрового термопрофилемера в силосе элеватора.

Список литературы

1. Гайский В.А., Гайский П.В. Распределенные термопрофилемеры и их возможности в океанографических исследованиях // Морской гидрофизический журнал, 1999. № 6. С. 108–137.
2. Гайский П.В. Автоматизированные системы с распределенными термопрофилемерами // Вестник СевНТУ, Автоматизация процессов и управления. Сб. науч. тр. СевНТУ, Севастополь, 2009. № 95. С. 24–28.
3. Гайский В.А., Гайский П.В., Клименко А.В. Использование термопрофилемеров для измерения температуры и уровня зерна в элеваторах. Оптимизация производственных процессов. Сб. науч. трудов, СевНТУ Севастополь, 1999. С.198–203.
4. Гайский В.А., Гайский П.В., Греков Н.А., Власов А.П. Возможности использования распределенных термопрофилемеров в объектах атомной энергетики. Сб науч. тр. СИЯЭП. 1999. № 2. С. 19–25.
5. Гайский В.А., Гайский П.В. Определение характеристик поля внутренних волн по измерениям распределенными термопрофилемерами // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2017. Вып. 7 (27). С. 6–11.
6. Гайский П.В. Пространственный измеритель температуры (ПИТ–2) для грунта // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч.тр. МГИ НАНУ. Севастополь. 2013. Вып. 19. С. 36–39.
7. Гайский В.А., Гайский П.В. Инструментальные погрешности распределенных термопрофилемеров // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. Вып. 4 (24). С. 20–26.
8. Гайский В.А., Гайский П.В. Восстановление непрерывных профилей физических полей по данным распределенных профилемеров Уолша // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. Вып. 5 (25). С. 21–28.
9. Гайский П.В. Программная модель сравнительного анализа измерителей профиля температуры на базе распределенных и точечных датчиков // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч.тр. МГИ НАНУ. Севастополь. 2014. Вып. 20. С. 33–43.
10. Гайский В.А., Гайский П.В. Технологии измерения уровня моря. Морской гидрофизический журнал. Севастополь, МГИ НАНУ. 2010. № 4. С. 58–73.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ОСНОВЕ УФ СВЕТОДИОДОВ

Гейко П. П., д.ф.-м.н., вед. научный сотрудник, профессор

Петров Д.В., к.ф.-м.н., ст. научный сотрудник, dpetrov@imces.ru, доцент

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, <http://www.imces.ru>; 634055, г. Томск, пр.

Академический, 10 / 3, Тел. (382-2) 492-265; ppg@imces.ru

Национальный исследовательский Томский государственный университет, <http://www.tsu.ru>; 634050, Томск, пр. Ленина, 36. Тел. (3822) 529 585

UV LEDES SYSTEM FOR VOLCANIC GAS MEASUREMENTS

Geiko P.P., Petrov D.V.

Annotation

An active method of differential optical absorption spectroscopy (DOAS) is an effective tool for open-path measurements of atmospheric gases and impurity. The availability of ultraviolet light emitting diodes have now allowed us to construct long path DOAS instrument for use at remote degassing from active volcanic systems. First of all, we are talking about the measurement of sulphur dioxide, carbon disulphide and oxides of chlorine and bromine. The parallel measurements of sulfur dioxide using a certified gas analyzer, were conducted and showed good correlation.

Keywords

Differential optical absorption spectroscopy, ultraviolet LEDs, sulfur dioxide, chlorine dioxide.

Аннотация

Метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии является эффективным средством для трассовых измерений атмосферных и примесных газов. Нами разработан макет портативного энергонезависимого газоанализатора для дистанционных трассовых измерений дегазации от вулканических выбросов (диоксида серы, сероуглерод и оксидов хлора и брома). Проведены параллельные измерения диоксида серы с помощью сертифицированного газоанализатора, которые показали хорошую корреляцию.

Ключевые слова

Дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия, ультрафиолетовые светодиоды, диоксид серы, оксид хлора.

Активный метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии является эффективным средством для трассовых измерений атмосферных и примесных газов. Однако, в измерительных системах реализующих его, традиционно в качестве источника излучения используется ксеноновая лампа высокого давления, требующая высоковольтного питания, что делает такого рода газоанализаторы громоздкими и энергозависимыми.

Для одновременного измерения содержания малых концентраций загрязняющих газов в атмосфере в режиме реального времени широко применяется метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС) [1, 2]. В качестве источника излучения в газоанализаторах, реализующих метод ДОАС, традиционно используется ксеноновая лампа высокого давления, требующая высоковольтного питания, что делает такого рода газоанализаторы громоздкими и энергозависимыми [3, 4]. Светодиоды ультрафиолетового диапазона являются потенциально перспективными источниками излучения в газоанализаторах, так как они имеют гладкий спектр шириной 10-60 нм.

Цель настоящей работы изучение возможностей практической реализации метода ДОАС для определения концентрации некоторых оксидов галогенов с помощью разработанного трассового газоанализатора на основе УФ-светодиодов. Нами создан и протестирован макет портативного энергонезависимого газоанализатора для дистанционных трассовых измерений, например для измерения дегазации от вулканических выбросов. В качестве источника излучения помимо ксеноновой лампы высокого давления апробировались УФ светодиоды, излучающие в области 365 и 395 нм, с мощностью излучения 20 и 30 мВт, соответственно.

Ввиду большой угловой расходимости излучения светодиодов было решено использовать двойную коллимацию выходного излучения. Ультрафиолетовые светодиоды устанавливались в мини-коллиматор прожекторного типа. Коллиматор, использовался в качестве предварительного коллимационного устройства. Последующая коллимация осуществлялась сферическим зеркалом диаметром 20 см.

На рис. 1. приведена принципиальная оптическая схема трассового газоанализатора. Телескоп, одновременно исполняющий роль коллиматора и приемника излучения; ретрорефлектор; световод, содержащий смеситель мод; спектрограф; фотодетектор (PDA) для регистрации спектра; компьютер и программное обеспечение для управления прибором, проведения измерений и обработки данных. Основными элементами газоанализатора являются ультрафиолетовый источник света (LED); коаксиальный

Особенностью данной схемы является использование телескопа, в котором совмещены передающий и приемный каналы. Дальнейшее совершенствование оптической системы заключается в добавлении оптико-волоконного световода, позволяющего уменьшить габаритные параметры и вес устройства за счет отсутствия узла юстировки, который обязателен

при использовании ксеноновой лампы. Оптико-волоконный световод от источника излучения переплетается с оптико-волоконным световодом от монохроматора – спектрографа и пропускается через смеситель мод. Смеситель мод, представляет собой контейнер, внутри которого размещены две катушки переменного диаметра, на которые петлеобразно намотано несколько витков оптоволоконного кабеля, при этом оси катушек смесителя мод ориентируются антипараллельно. Смеситель мод обеспечивает однородность и идентичность углового распределения излучения для опорного и атмосферного спектров падающих на дифракционную решетку спектрографа.

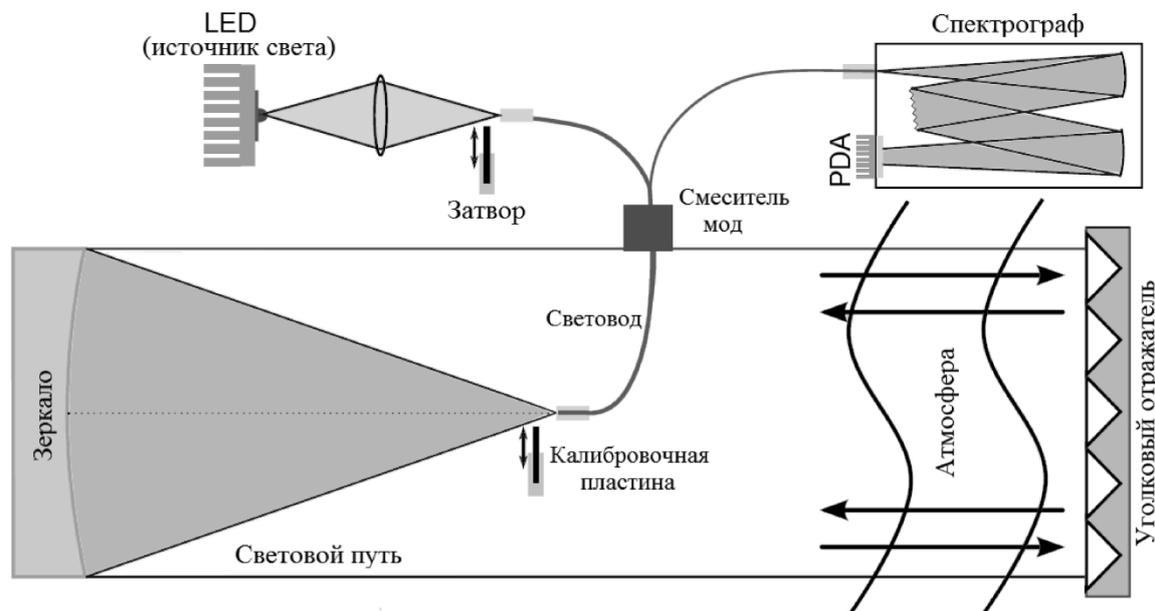


Рисунок 1 – Оптическая схема трассового газоанализатора.

В основе метода ДОАС лежит уравнение, описывающее ослабление оптического излучения, проходящего на трассе в открытой атмосфере:

$$I(\lambda) = A(\lambda) \cdot I_0(\lambda) \cdot \exp\left\{-L\left(\sum_{j=1}^J \sigma_j(\lambda)C_j + \sigma_M(\lambda)C_M + \sigma_R(\lambda)C_R\right)\right\}, \quad (1)$$

где $A(\lambda)$ - спектральная чувствительность, $I_0(\lambda)$ - исходная интенсивность, $\sigma_j(\lambda)$ - сечение селективного поглощения газами $\sigma_M(\lambda)$, $\sigma_R(\lambda)$ - сечения Ми и Рэлея, соответственно, C_j - концентрация j-го газа, C_M , C_R - концентрации аэрозольных и молекулярных рассеивателей.

Эффективность рассеяния Рэлея и Ми изменяются плавно с длиной волны, их спектральные зависимости можно представить в виде полинома малого порядка.

Основная идея метода состоит в разделении сечения поглощения газами на высокочастотную (дифференциальную) и низкочастотную части

$$\sigma_j(\lambda) = \sigma_{j0}(\lambda) + \sigma'_j(\lambda), \quad (2)$$

где $\sigma_{j0}(\lambda)$, $\sigma'_j(\lambda)$ – низкочастотная и высокочастотная части, соответственно. Впоследствии для извлечения информации о концентрациях газов используется только дифференциальная часть сечения поглощения [2].

Дифференциальные сечения исследуемых газов поглощения газов представлены на рисунке 2. Расчет сечений поглощения газов, попадающих в область излучения используемых диодов, проводился с использованием аппаратной функции прибора на основе спектроскопической информации базы HITRAN [<https://www.cfa.harvard.edu/hitran/>].

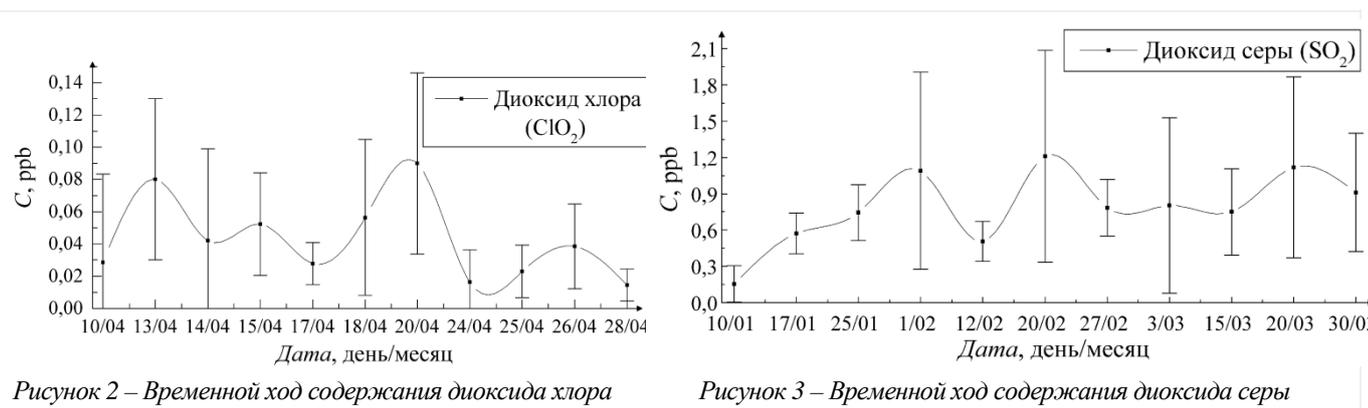
Видно, что интересующие нас соединения имеют выраженные спектральные особенности в области излучения используемых светодиодов и следовательно, могут быть зарегистрированы при концентрациях, превышающих некий порог, который следует определить.

Узкополосные спектральные структуры, полученные из измеренной оптической толщи, сравнивались с узкополосными структурами сечений поглощения искомым газам, взятыми из базы данных HITRAN и подвергнутыми процедуре сверки с аппаратной функцией спектрометра. Процедура подгонки состояла из комбинации нелинейного метода Левенберга–Марквардта и стандартного линейного метода наименьших квадратов. Для повышения точности подгонки проводился сдвиг зарегистрированного спектра в пределах $\pm 0,3$ нм с шагом спектрального разрешения спектрометра, что позволило компенсировать изменения связанные с картированием длины волны – пиксель спектрометра, вызванные флуктуациями температуры окружающей среды. Оценка зарегистрированных спектров поглощения по остаточным структурам, и рассчитанная гипотетической оптической толщи, обусловленная поглощением трех газов (монооксида брома, диоксида хлора и азота). Рассчитанные значения концентраций при использовании светодиода с максимумом 371 нм,

составляют: диоксид хлора $7,7 \pm 1,5$ мкг/м³ ($3,85 \pm 0,75$ ppb); оксид брома $23,5 \pm 2$ мкг/м³ ($36,4 \pm 3,2$ ppb); диоксид азота $14,8 \pm 1,8$ мкг/м³ ($7,4 \pm 0,9$ ppb).

Следует отметить, что местоположение измерительной трассы характеризуется как фоновое для указанных газов. Полученные значения концентраций для диоксида азота (NO₂) хорошо согласуются с данными полученными со станции “Фоновой” (60 км западнее Томска), где проводятся почасовые измерения диоксида азота. Мы сравнили полученные данные для монооксида брома, диоксида хлора и азота с результатами измерений газоанализатором на основе дуговой ксеноновой лампы высокого давления (Osram XBO 150 W). Оказалось, что значения концентраций неплохо согласуются между собой, но при этом ошибки измерений газоанализатором на основе ксеноновой лампы больше в среднем в 1,5 раза. Это обусловлено, прежде всего, различием спектральных характеристик источников излучения. Увеличить отношение сигнал/шум, можно использованием двух или более светодиодов с одинаковыми спектральными характеристиками объединенных в один оптический канал. Точность измерений можно повысить путем увеличения трассы за счет возрастания оптической толщи измеряемых газов.

Проведена серия измерений концентраций газов монооксида брома (BrO), диоксида хлора (ClO₂) и азота (NO₂) в южной части города Томска. Протяженность трассы составила 500 м (250 м до ретрорефлектора). На рис. 2, 3 приведены примеры измерений концентраций диоксида серы и диоксида хлора в г. Томске.



Отметим, что эмиссия летучих соединений из вулканической магмы связана с геохимическими процессами, происходящими на глубине. Состав выбрасываемых из вулканического жерла газов содержит информацию о магме, ее давлении и температуре. Основными летучими соединениями, выбрасываемых из вулканического жерла являются водяной пар, CO₂, SO₂, H₂S и галогениды водорода, оксиды хлора и брома. Наша система способна дистанционно измерять диоксида серы и оксиды хлора и брома. В работе [5] подобный газоанализатор использовался для измерения реальных вулканических выбросов вулкана Ла-Фосса в Италии.

Минимально детектируемая концентрация диоксида серы составляет 0,3 ppb на трассе длиной 500 м. Проводились параллельные измерения диоксида серы с помощью сертифицированного газоанализатора ДООС 1М, которые показали хорошую корреляцию, различие показаний не превышало 10%. Благодаря достижениям последних лет в области создании ультрафиолетовых светодиодов и технологии оптических волокон нам удалось создать макет портативного энергонезависимого газоанализатора для дистанционных трассовых измерений, например для измерения дегазации от вулканических выбросов. Прежде всего, речь идет об измерении диоксида серы, сероуглерода и оксидов хлора и брома. Проведены параллельные измерения диоксида серы с помощью сертифицированного газоанализатора, которые показали хорошую корреляцию.

Портативный УФ газоанализатор на основе метода ДООС и светодиодов в качестве источников излучения может с успехом использоваться в задачах мониторинга газовых загрязняющих примесей, включая вулканические выбросы.

Список литературы

1. Platt U. Differential optical absorption spectroscopy / U. Platt, J. Stutz. – Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2008. – 593 p.
2. A novel dual-LED based long-path DOAS instrument for the measurement of aromatic hydrocarbons / J. Stutz, S. Hurlock, S. Colosimo, C. Tsai, R. Cheung, J. Festa, O. Pikel'naya, S. Alvarez, J. Flynn, M. Erickson, E. Olaguer // Atmospheric Environment. – 2016. – Vol. 147, No 1. – P. 121–132.
3. Geiko P.P. Detection of concentration small gas components of atmosphere by DOAS method / P.P. Geiko, S.S. Smirnov, I.V. Samokhvalov // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). – 2015. – Vol. 24, No 2. – P. 152–158.
4. Гейко П.П. Многокомпонентный дистанционный газоанализ атмосферы в УФ области спектра / П.П. Гейко, С.С. Смирнов, И.В. Самохвалов // Известия ВУЗов «Физика». – 2015 – Т. 58, № 8/3. – С. 218–221.
- Vita F. Development of a portable active long-path differential optical absorption spectroscopy system for volcanic gas measurements / F. Vita, C. Kern, S. Inguaggiato // J. Sens. Syst. – 2014. – Vol. 3, No 1. – P. 355–367.

ПОРТАТИВНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А

Герасюк В.С.¹, м.н.с. лаб. информационных технологий и мат. моделирования, *gerasyuk.v@mail.ru*
Поважный В.В.², канд. биол. наук, с.н.с, заведующий лабораторией ФГБУ «АНИИ», *cornigerius@rambler.ru*
Пляка П.С.¹, с.н.с., лаб. наноразмерных активных сред и материалов *pavstef@mail.ru*
Юрасов Ю.И.¹, канд. тех. наук, и.о. зам. председателя по науке, *yusov@ya.ru*
 1 – Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, сайт: *ssc-ras.ru*
 Ростов-на-Дону, пр. Чехова 41, 344006, Россия
 2 – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, сайт: *new.aari.ru*
 199397, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга 38

PORTABLE COMPLEX FOR DETERMINATION OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION

Plyaka P.S.¹, Povazhnyi V.V.², Gerasyuk V.S.¹, Yurasov Yu.I.¹

Annotation

An autonomous complex was developed to determine the concentration of chlorophyll-A (chl-A) with software. During the marine expeditions on the scientific research vessels of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences "Professor Panov" and "Deneb" in 2016-2017. The instrument was tested and as a result, data were obtained that allow analysis of the distribution of chl-A concentration on the ship's passage from the Black Sea to the Taganrog Bay.

Key words

Chlorophyll, dangerous phenomena, monitoring, autonomous measuring complex.

Аннотация

Разработан портативный комплекс для определения концентрации хлорофилла-А (хл-А) с программным обеспечением. Во время морских экспедиций на научно-исследовательских судах Южного научного центра РАН «Профессор Панов» и «Денеб» в 2016-2017 гг. была произведена апробация прибора, в результате чего получены данные, которые позволяют осуществить анализ распределения концентрации хл-А по судовому ходу от Черного моря до Таганрогского залива.

Ключевые слова

Хлорофилл-А, опасные явления, мониторинг, портативный измерительный комплекс.

Флуоресцентный метод определения хлорофилла-А (хл-А) широко применяется в биоокеанологии и детально разработан [1, 2] с момента своего описания в 1963 г. [3]. Большинство флуориметров для определения хл-А *in situ* используют для возбуждения флуоресценции широкополосный источник излучения (газоразрядную лампу) с первичным светофильтром ($\lambda_{\max} \sim 430$ нм), а для регистрации сигнала - чувствительный фотоумножитель, оснащённый вторичным светофильтром ($\lambda_{\max} \geq 660$ нм) [1]. Использование светофильтров приводит к ослаблению возбуждающего и регистрируемого излучения, требует наличия в составе устройства электронной схемы усиления сигнала. Малогабаритные датчики флуоресценции фитопланктона *in vivo* в составе зондов вертикального и горизонтального профилирования устроены похожим образом [1, 4].

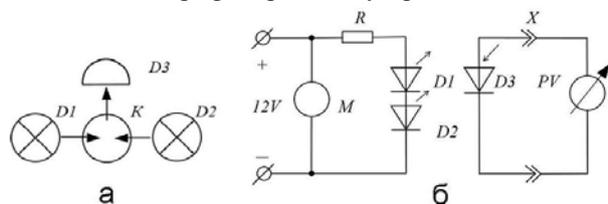


Рисунок 1 – Оптическая (а) и электрическая схема (б) разработанного флуориметра (пояснения в тексте)

Быстрое развитие современной элементной базы электронных систем, в частности, твердотельных источников излучения – светодиодов высокой яркости, позволяет по-новому подойти к вопросам проектирования и эксплуатации многих измерительных приборов, в том числе датчиков флуоресценции хл-А. Массовое производство мощных светодиодов и снижение их стоимости в последние годы сделало данные устройства привлекательными для создания высокоточных и доступных аналогов фотометров и флуориметров классических схем [5].

Целью настоящей работы является создание и апробация рабочего макета прибора для определения флуоресценции хл-А *in vitro* на основе мощных светодиодов.

Оптическая схема разработанного макета флуориметра и представлена на рисунке 1.

На рисунке 3 представлен прототип портативного комплекса для определения концентрации хлорофилла-А и разработанная для него *бета*-версия программного обеспечения позволяющего производить измерения (см. рис. 4).

Во время морских экспедиций на научно-исследовательских судах Южного научного центра РАН «Профессор Панов» и «Денеб» в 2016-2017гг. была произведена апробация прибора, в результате чего были получены данные, которые позволяют осуществить анализ распределения концентрации хл-А по судовому ходу от Черного моря до Таганрогского залива (рис.5, 6). Содержание хлорофилла-А увеличивается экспоненциально по мере продвижения от Черного моря к наиболее продуктивным водам Таганрогского залива и в самом заливе достигает максимальных значений.



Рисунок 5 – Карта Станций.

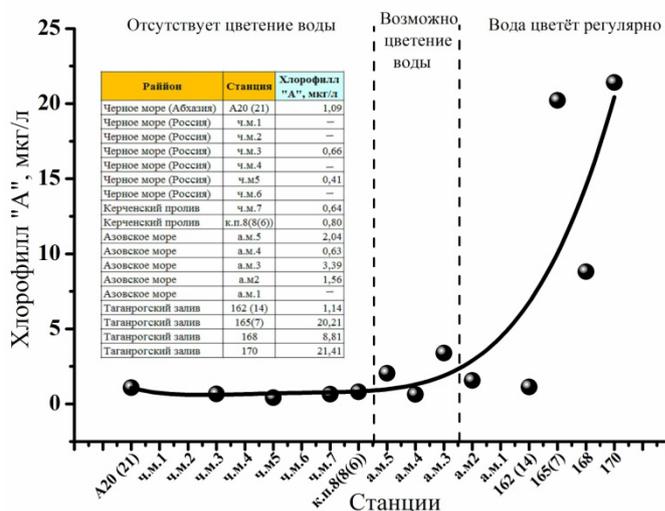


Рисунок 6 – Распределение концентрации хлорофилла по судоводному каналу от Черного моря до Таганрогского залива измеренного с помощью разработанного прибора. На врезке представлена таблица с экспериментальными данными.

Основным результатом работы является создание современного портативного комплекса для определения концентрации хлорофилла-А, который позволяет с меньшей затратой времени и материалов, но с более высокой точностью (в сравнении со спектрофотометрическим методом определения хл-А) производить измерения содержания хлорофилла-А, что также является актуальным для олиготрофных водоемов. Прибор полезен не только для проведения научных исследований, но и для систем водозаборов обеспечивающих водоснабжение населения.

Результаты получены в рамках выполнения Госзадания ЮНЦ РАН № АААА-А18-118011990324-5 с использованием оборудования ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

Литература

1. Карабашев Г.С. Флуоресценция в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 199 с.
2. Arar E.J., Collins G.B. In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin a in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence US EPA Method 445.0 // Methods for the Determination of Chemical Substances in Marine and Estuarine Environmental Matrices, 1997. P. 132 – 154
3. Yentsch, C.S., Menzel D.W. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence // Deep Sea Res., 1963. Vol. 10. P. 221-231
4. O'Toole M., Diamond D. Absorbance based light emitting diode optical sensors and sensing devices // Sensors, 2008. Vol. 8. P. 2453 – 2479
5. Dasgupta P.K., Eom I-Y., Morris K.J., Li J. Light emitting diode-based detectors Absorbance, fluorescence and spectroelectrical measurements in a planar flow-through cell // Analytica Chimica Acta, 2003. Vol. 500. P. 337 – 364
6. ГОСТ 17.1.04.02.-90 Государственный контроль качества воды. М.: Изд-во стандартов, 2001. 688 с.
7. Jeffrey S.W., Humphrey G. F. New Spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae, and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz., 1975. Vol. 167. P. 191-194.
8. Поважный В.В. Флуориметр на основе мощных светодиодов для определения концентрации хлорофилла "А" // Океанология. 2014. Т. 54. № 3. С. 419.
9. Пляка П.С., Поважный В.В. Автономный флуориметрический комплекс для определения содержания хлорофилла фитопланктона и общего взвешенного вещества в водной среде // Патент РФ на полезную модель №177930. Опубликовано: 16.03.2018 Бюл. № 8. Заявка: 2016149468, 15.12.2016.

РАЗВИТИЕ ЛИНЕЙКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПАНОРАМНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОТОКОВ В НАУЧНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

*Гобызов О.А., м.н.с., Бильский А.В., зам. зав. лаб., к.ф.-м.н., Дулин В.М., зав. лаб., д.ф.-м.н., Токарев М.П., с.н.с., к.т.н.; Маркович Д.М., директор, чл.-корр. РАН
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
630090, Новосибирск, Россия, Лаврентьева пр., 1.
Email: oleg.a.g.post@gmail.com, тел. +7 (383) 332-56-78*

DEVELOPMENT OF A SERIES OF INSTRUMENTS FOR PLANAR OPTICAL MEASUREMENTS IN SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL APPLICATIONS

Gobyzov O.A., Bilsky A.V., Dulin V.M., Tokarev M.P., Markovich D.M.

Annotation

The work reports a development of planar optical measurements techniques for energy and gas turbine applications, and measurements in aerodynamics. Over the past twenty years, a wide range of planar optical technique have been implemented in the SB RAS IT. Measurement systems and unique diagnostic complexes based on such methods have been created. Within the work, methods, instruments, and examples of their application for solving scientific and applied problems, as well as current developments of the IT SB RAS, are considered.

Keywords

Optical measurements, visualization, planar measurements, particle image velocimetry, laser-induced fluorescence, pressure sensitive paints, machine vision, machine learning.

Аннотация

Работа посвящена развиваемому в ИТ СО РАН направлению панорамной оптической диагностики для энергетических приложений, газотурбостроения, аэро-газодинамики. В течение последних двадцати лет в ИТ СО РАН был реализован ряд панорамных методов диагностики, созданы приборы и уникальные диагностические комплексы на основе таких методов. В рамках работы рассматриваются как уже реализованные методы, приборы, и примеры их применения, так и текущие разработки ИТ СО РАН.

Ключевые слова

Оптические измерения, визуализация, панорамные измерения, анемометрия, лазерно-индуцированная флуоресценция, люминесцентные преобразователи давления, машинное зрение, машинное обучение.

Методы и средства панорамных оптических измерений вызывают особый интерес в связи с тем, что их применение существенно повышает информативность и наглядность результатов экспериментальных исследований, и, в целом, позволяет проводить исследования на качественно новом уровне. В панорамных методах измерений ключевым инструментом является камера, изображение с которой интерпретируется для получения распределения той или иной физической величины. Другим важным инструментом является система подсветки измерительного объема, в качестве которой часто используются лазеры. По этой причине интенсивное развитие цифровой регистрирующей аппаратуры, лазерных технологий и рост производительности компьютерной техники повлекли за собой быстрое развитие также и в области панорамных методов диагностики. В ИТ СО РАН работы по этой тематике ведутся уже более двадцати лет. В течение этого времени был реализован широкий ряд панорамных методов диагностики, таких как метод анемометрии по изображениям частиц (PIV), лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ), люминесцентных преобразователей давления (ЛПД), и ряд других, а также созданы приборы и уникальные диагностические комплексы на основе таких методов.

Метод PIV использует измерение перемещений добавленных в поток микронных частиц-трассеров за заданный интервал времени для измерения поля скорости потока жидкости или газа. Распределения частиц в потоке в заданные моменты времени регистрируются с помощью цифровой камеры. Выбор моментов времени для регистрации осуществляется путем кратковременной импульсной подсветки потока развернутым в плоскость лазерным лучом (так называемым «лазерным ножом»). В этом методе яркость изображения используется для определения положения частиц в измерительной области, и не интерпретируется количественно. Метод PIV применим в оптически прозрачных жидкостных и газовых средах. Подробное описание различных аспектов этого метода приводится, например, в работе [1].

Простейшая конфигурация прибора для измерения поля скорости в потоке подразумевает использование одной камеры. В этом случае результатом измерения является мгновенное двухкомпонентное поле скорости в сечении лазерного ножа. Поскольку турбулентные течения имеют сложный трехмерный характер, информации о двух компонентах скорости зачастую недостаточно. Для измерения трех компонент скорости в плоскости потока используется метод PIV в стереоскопической конфигурации (Stereo PIV). Метод основан на тех же фундаментальных принципах, что и человеческое зрение при определении движения по направлению к наблюдателю и от него: для восстановления третьей, нормальной к плоскости матрицы компоненты скорости используются две камеры, регистрирующие перемещения частиц с разных направлений [2], при этом камеры калибруются по координатной

мишени. Дальнейшее расширение метода - томографический PIV (Tomo-PIV) позволяет измерять мгновенное трехкомпонентное поле скорости в объеме потока. Основной особенностью Tomo-PIV является стадия реконструкции трехмерных изображений трассеров по двумерным проекциям, полученным с нескольких камер. Расчет поля смещения трассеров затем происходит, как в обычном PIV, с применением корреляционных алгоритмов в трехмерном пространстве, либо по двумерным проекциям трехмерного объема. Для получения измерений с высоким временным разрешением все модификации метода PIV могут быть реализованы с использованием высокоскоростных лазеров и камер. В экспериментах с использованием таких систем можно получать полную пространственно-временную картину течения.

Для измерения полей таких физических величин, как температура, концентрация радикалов (в реагирующем течении), либо концентрация пассивной примеси используется метод плоскостной лазерно-индуцированной флуоресценции (ПЛИФ) [4]. Способ реализации метода во многом схож со способом реализации PIV: измерительная плоскость подсвечивается лазерным ножом и регистрируется на цифровую камеру. При этом камера регистрирует распределение яркости свечения флуорофора, на основании которого затем рассчитывается распределение физической величины. В методе ПЛИФ длина волны излучения лазера определяется спектром поглощения флуорофора, что накладывает дополнительные ограничения на используемое оборудование. Более жесткие требования предъявляются и к регистраторам, поскольку исходный сигнал (яркость изображения) интерпретируется количественно. В ряде случаев яркость люминесценции оказывается крайне низкой, и для её регистрации необходимо использовать интенсифицированные цифровые камеры. Метод ПЛИФ реализуется как в жидкостях, так и в газовых средах. В жидкость для регистрации распределения температуры обычно подмешивают чувствительный к температуре люминесцентный краситель, например, Родамин В, в малой концентрации. В газовой среде для этих целей также обычно подмешивается люминесцентный молекулярный маркер (насыщенные кетоны – 3-пентанон или ацетон, либо толуол). Методы ПЛИФ и PIV могут комбинироваться для получения информации о распределении скорости жидкости или газа и температуры в потоке. Такая информация позволяет рассчитывать корреляции между тепловым потоком и потоком импульса и важна для понимания процессов переноса, как в классических задачах, так и в реальных технологических установках. Помимо ПЛИФ реализация панорамной термометрии возможна на основе Рэлеевского рассеяния или комбинационного рассеяния света. Эта группа методов применяется в основном для реагирующих потоков (пламен), в которых использование подмешанных молекулярных трассеров невозможно.

Смежными с методом ПЛИФ также метод люминесцентных преобразователей давления (ЛПД, принятое международное сокращение – PSP). Метод ЛПД применяется для бесконтактных полевых измерений давления и температуры на поверхности [5]. Наиболее широко данный метод распространен в области исследования аэродинамики летательных аппаратов и их элементов, однако находят применение также в задачах газотурбостроения и энергетических приложениях. Суть метода заключается в том, что на исследуемую поверхность наносится чувствительное к давлению люминесцентное покрытие, затем поверхность подсвечивается источником возбуждающего излучения (диодным или лазерным), на камеру регистрируются картины люминесценции и на их основе рассчитывается распределение давления. В люминесцентных составах используются органические люминофоры, что ограничивает рабочий диапазон температур метода значениями от -15°C до 80°C (кратковременно – до 150°C). При этом диапазон измеряемых методом ЛПД давлений составляет от 0,1 бар до 5 бар. Существуют различные реализации этого метода, позволяющие измерять осредненные по времени (стационарные) либо нестационарные (с характерными частотами до 10 кГц) распределения давления. Следует отметить, что ЛПД на сегодняшний день является безальтернативным методом измерения полей давления на обтекаемой поверхности.

Перечисленный спектр методов был реализован в линейке измерительных комплексов «ПОЛИС», созданных на основе разработок ИТ СО РАН и коммерциализируемых компанией ООО «СИГМА-ПРО». В настоящее время произведено более четырех десятков измерительных комплексов, внедренных в научный и образовательный процессы в институтах РАН, исследовательских университетах и научно-технических центрах. Например, при участии ИТ СО РАН в период с 2012 г. по 2015 г. было выполнено оснащение аэродинамической базы ФГУП «ЦИИИмаш» комплексом оборудования для реализации методов PIV (в стандартной и скоростной конфигурации) и ЛПД, адаптированного для условий аэродинамических испытаний. С использованием этого оборудования ведутся исследования сверхзвуковых потоков в модельных и прикладных постановках [6,7].

Непосредственно на базе ИТ СО РАН создан уникальный для России комплекс для проведения комбинированных панорамных оптических измерений. Комплекс включает в себя лазеры на красителях с перестраиваемой длиной волны, интенсифицированные цифровые камеры, высокоскоростные лазеры и регистраторы, а также ряд вспомогательного оборудования. Комплекс позволяет проводить широкий спектр измерений температуры, скорости потока, концентрации интермедиатов в процессах горения [8].

При участии сотрудников ИТ СО РАН с использованием панорамных оптических методов неоднократно проводились исследования в интересах предприятий отрасли. Так, в 2014 г. в интересах ОАО "Авиадвигатель" (г. Пермь) были проведены исследования структуры течения и распределения концентрации пассивной примеси в изотермическом потоке за фронтным устройством (устройство, осуществляющее перемешивание топлива и окислителя) в модели камеры сгорания ГТУ при высоких числах Рейнольдса [9]. В 2015 г. метод стерео-PIV измерения был успешно применен для анализа характеристик турбулентности на стенде ТС-2 центрального института авиамоторостроения (ЦИАМ) [10]. В ходе измерений были определен уровень турбулентных пульсаций по трем компонентам скорости и характерные масштабы турбулентности. Подобные данные чрезвычайно важны для корректного моделирования турбулентности в практических приложениях.

Помимо использования классических алгоритмов обработки изображений и анализа данных, тенденцией последних лет стало применение методов машинного обучения для этих задач. В настоящее время исследования в этом направлении совершенствования панорамных оптических методов ведутся и в ИТ СО РАН. В частности, для

анализа трассерных картин был реализован нейросетевой алгоритмы кластеризации на базе карт Кохонена для нахождения пар частиц в объеме потока, снятых в разные моменты времени. Для обработки изображений двухфазного пузырькового течения был разработан алгоритм распознавания перекрывающихся образов пузырей на базе сверточной нейронной сети. После обучения нейронной сети на модельных данных метод позволил получить пространственные распределения газосодержания в турбулентной пузырьковой струе и статистические данные о взаимодействии дисперсной и газовой фазы. [11]. В рамках проекта федеральной целевой программы ведется исследование применения методов машинного обучения для анализа картин визуализации факельного сжигания газового и угольного топлива и возможности управления процессами сжигания. Важный результат, полученный в этом направлении – возможность отслеживания режима горения топлива по картинам визуализации пламени в реальном времени с использованием предобученной сверточной нейронной сети.

Обобщая представленный материал, можно заключить, что панорамные оптические методы измерения за последние годы прошли значительный путь развития, и на сегодняшний день уже не являются исключительно узкоспециализированными лабораторными методами. Существует потребность в расширении доступной для отраслевых научных подразделений инструментальной базы за счет подобных методов. Данное направление работ открывает новые перспективы, как совершенствования самих методов, так и развития прикладных исследований. Как показывает предыдущий опыт, новые технологии и подходы в смежных областях позволяют качественно усовершенствовать методы измерений. В связи с наметившейся тенденцией широкого применения методов машинного обучения для широкого круга задач, следует ожидать, что в ближайшее время новые решения в области панорамных оптических методов диагностики также будут связаны с этим направлением.

Работа поддержана Минобрнауки России (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.604.21.0162).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Raffel M., Willert C.E., Kompenhans J. Particle image velocimetry, a practical guide. 2nd ed. / Berlin Heidelberg New York: Springer. 2007. 448 с.
2. Маркович Д. М., Токарев М. П. Алгоритмы реконструкции трехкомпонентного поля скорости в методе Stereo PIV // Вычислительные методы и программирование. 2008. Т. 9. № 1. С. 311-326.
3. Bilsky A.V., Lozhkin V.A., Markovich D.M., Tokarev M.P. A maximum entropy reconstruction technique for tomographic particle image velocimetry // Meas. Sci. Technol. 2013. Т. 24. С. 1-10.
4. Sakakibara J., Hishida K., Maeda M. Measurements of thermally stratified pipe flow using image-processing techniques // Experiments in Fluids. 1993. № 16. С. 82–96.
5. Мошаров В.Е. Люминесцентные методы исследования течений газа на поверхности // ПТЭ. №1. 2009. С. 5-18.
6. О.А. Гобызов, Ю.А. Ложкин, Ю.Х. Ганиев, Е.П. Захаров, С.Е. Филиппов: Исследование поля потока в рабочей части сверхзвуковой аэродинамической трубы методом анемометрии по изображениям частиц // Космонавтика и ракетостроение. 2014. №4 (77). С. 26-33
7. Ганиев Ю. Х., Гобызов О.А., Ложкин Ю. А., Рябов М. Н., Рабецкий А.С., Филиппов С. Е., Шманенков В. Н. Исследование сверхзвукового обтекания плоской пластины с расположенными на ней преградами методом люминесцентных преобразователей давления // Космическая техника и Технологии. 2017. № 2 (17). С. 90-97.
8. Чикишев Л.М., Дулин В.М., Гобызов О.А., Лобасов А.С., Маркович Д.М. Исследование смесеобразования в модели камеры сгорания ГТУ с использованием панорамных оптических методов // Теплофизика и аэромеханика. 2017. № 3. С. 357-364.
9. Chikishev L.M., Gobysov O.A., Sharaborin D.K., Kravtsov Z.D., Dulin V.M., Bilsky A.V., Markovich D.M. PIV characterization of high Reynolds flow in turbine test facility // AIP Conference Proceedings. 2016. Т. 1770. С. 30022.
10. Poletaev I.E., Pervunin K.S., Tokarev M.P. Artificial neural network for bubbles pattern recognition on the images // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. Т. 754. С. 072002.

АППАРАТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА

- Кислов К.В.¹, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, тел. +7 (909) 957-13-06, kvkislov@yandex.ru*
Гравиров В.В.^{1,2}, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, вед. инж. ИФЗ РАН, тел.: +7 (903) 744-97-49, gravirov@mail.ru
Лиходеев Д.В.², к.ф.-м.н., с.н.с. ИФЗ РАН, тел. +7 (499) 254-90-80, dmitry@ifz.ru
Котов А.Н.², аспирант, инженер ИФЗ РАН, тел. +7 (967) 165-17-98, and250195@yandex.ru
*1 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН),
http://www.mitp.ru, Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32,
тел.: +7 (495) 333-4513, mitran@mitp.ru*
*2 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), http://www.ifz.ru, 123242, г. Москва,
Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, тел.: +7 (499) 766-26-56, direction@ifz.ru*

INSTRUMENTAL COMPLEX FOR MEASURING THE DEPTH OF SOIL FREEZING

Kislov K.V.¹, Gravirov V.V.^{1,2}, Likhodeev D.V.², Kotov A.N.²

Annotation

The report is devoted to the development of a new type instrument - freezometer, which allows monitoring the depth of the ground freezing point in automatic mode.

Keywords

Freezometer, seismic survey, monitoring.

Аннотация

Доклад посвящен разработке прибора нового типа – мерзлотомера, позволяющего в автоматическом режиме осуществлять мониторинг глубины промерзания грунта.

Ключевые слова

Мерзлотомер, сейсморазведка, мониторинг.

Мониторинг мощности мерзлого слоя грунта необходим для многих научных и прикладных задач. Глубина промерзания грунта оказывает влияние на точность сейсмоакустических методов в горном деле, сейсмоакустическом каротаже, при инженерно-геологических изысканиях для изучения геологического строения массива, нарушений угольных пластов, оценки напряжённого состояния геологической среды, при малоглубинной томографии.

С научной точки зрения представляют интерес такие вопросы, как распространение сейсмических и звуковых волн в приповерхностном слое, электрические свойства мерзлых грунтов разной толщины и другие. Этот вопрос имеет актуальное и немаловажное значение для сейсморазведки и малоглубинной геофизики в целом, при определении разрешающей способности сейсмостанций, изучении сейсмических шумов и может быть полезен при сейсмическом микрорайонировании территорий с мерзлыми грунтами. [1]. Результаты мониторинга можно использовать при обработке данных структурной сейсморазведки на этапе введения различных поправок (в том числе динамических) на неоднородность строения верхней части геологической среды [2]. Нахождение зависимостей параметров среды от глубины промерзания позволит, например, следить за деградацией вечной мерзлоты в условиях глобального потепления, выделять природные и техногенные талики, осуществлять прогноз активизации криогенных процессов (растрескивание, солифлюкция, криогенное оползание), других мерзлотных явлений и т.д.

Среди прикладных задач мониторинг необходим для обеспечения проведения работ на слабых, рыхлых, болотистых грунтах для определения возможной нагрузки, при эксплуатации дорог, малозаглубленных инженерных сетей, трубопроводов и др.

Наиболее близкие задачи обычно решают с помощью двух приборов – мерзлотомеров Ратомского и Данилина [3]. Они предназначены для определения глубины сезонного промерзания грунта и глубины проникания в грунт нулевой температуры. По их показаниям назначают глубины заложения и выбирают типы фундаментов зданий и сооружений, разрабатывают мероприятия, исключающие возможность появления недопустимых деформаций оснований и фундаментов, назначают глубины заложения трубопроводов (водопровода, канализации и т.п.) и разрабатывают их конструктивные решения, удовлетворяющие требованиям морозоустойчивости. Также они служат для разработки конструктивных решений и мероприятий, исключающих возможность появления недопустимых деформаций земляного полотна и покрытия автомобильных дорог. То есть их задача – определить

наибольшую глубину промерзания грунта в данной местности. Эти приборы не могут служить для мониторинга мощности мерзлого слоя грунта, ни как среднего его значения, ни как его значения на отдельных участках.

В качестве альтернативы можно применить расчетный метод распределения температуры в грунте. Основным источником тепла, поступающего в почву, является лучистая энергия солнца, которая поглощается поверхностным слоем. Зная количество поступающего тепла и основные характеристики грунта (для случая однородного грунта, что на практике является скорее исключением) вычислить температуру на разных глубинах довольно просто. В таких алгоритмах учитываются тип грунта, его влажность и плотность, толщина снежного покрова, широта местности, а также динамика температуры воздуха. Вычисления опираются на непосредственные измерения в одной – двух точках обычно с помощью вытяжных термометров. Есть даже возможность интерактивных расчетов распределения температуры в грунте [4]. С помощью подобных расчетов создаются синтетические карты вплоть до сетки вычислений 1 x 1 км. Расчеты позволяют не только получать оценку текущего состояния грунта, но и прогнозировать его состояние, соответственно среднеклиматическим изменениям температуры и влажности почвы. Данные расчета удобны, например, для оценки теплового баланса грунт-атмосфера. Но для целей мониторинга толщины мерзлого слоя грунта, необходимого для многих вышеупомянутых научных и прикладных целей, нужны более плотные и точные экспериментальные данные. Для их получения существует потребность в создании специализированной измерительной системы мониторинга температурных режимов объектов и территорий, которые могут требовать различной точности измерений по вертикали, и разной дискретности по времени. Это позволит получать усредненные данные для значительных площадей, при необходимости выделять локальные особенности, оперативно корректировать вычисленные значения мощности мерзлого слоя грунта. Для определенного круга исследований важна не столько глубина границы промерзания грунта, сколько толщина мерзлого грунта. Осенью, а особенно в весенний период, зачастую верхние слои грунта имеют положительную температуру, а значительно ниже располагается замерзший слой. Измерения должны проводиться не в одной конкретной точке, и тем более не на подготовленной площадке, а охватывать значительную территорию с различными условиями расстановки датчиков. При этом единичных измерений, проведенных с интервалом в несколько часов, будет явно недостаточно. Для усреднения данных, так же, как и для выделения локальных особенностей необходимо иметь измерительный прибор, состоящий из нескольких групп датчиков (термокос), расположенных на значительном расстоянии друг от друга в разных условиях (разные типы грунтов, обдуваемость площадки, растительность, затененность и т.п.).

Нами разработан макет аппаратного комплекса, предназначенный для автоматизированного измерения глубины промерзания грунта в нескольких точках наблюдения. При проектировании комплекса была использована оригинальная технология, позволяющая проводить измерения без использования сложных и дорогостоящих цифровых систем сбора информации, за счет применения схемы преобразования аналоговых сигналов, поступающих с термодатчиков, в цифровой вид без использования аналого-цифровых преобразователей. Обобщенная структурная схема разработанного комплекса представлена на рисунке 1. В ходе первых испытаний опытный макет аппаратного комплекса для измерения глубины промерзания грунта показал свою пригодность для проведения как научных, так и прикладных исследований. Однако, надо помнить, что основная цель измерений с помощью данного комплекса – не получение точного абсолютного значения мощности мерзлого слоя, а выявление динамики процесса с учетом местных локальных условий.

При работе с такой измерительной системой, как и почти с любой новой системой, естественно возникают трудности методического характера. Так, например, если 7 термокос расположить в лесу (в котором к тому же образуется толстый слой снега), а восьмую – на открытом участке, будет ли это отражать тот факт, что 7/8 исследуемой территории покрыто лесом? Как располагать датчики и как проводить усреднение мощности мерзлого слоя – вот основные вопросы, которые требуют решения. Подспорьем в решении этих вопросов может явиться привязка результатов измерений к значениям, взятым из синтетических карт. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку детальной инструкции проведения измерений.

Предварительные результаты проведенных измерений показывают, что абсолютная мощность мерзлого слоя грунта и динамика глубины промерзания очень сильно зависят от условий в месте установки термодатчика (тип грунта, его влажность и плотность, толщина снежного и растительного покрова, освещенность и продуваемость). Максимальная зафиксированная разница по абсолютному значению составила 20% толщины мерзлого слоя. Также получены первые результаты по динамике температурных процессов. Например, в то время как на открытом месте происходило резкое увеличение глубины промерзания грунта (в среднем на 10 см за два дня), датчик, расположенный под защитой деревьев и снега практически не отмечал никакой динамики.

Для расширения функциональных возможностей аппаратного комплекса в ближайшее время будет проведен ряд работ по его корректировке и модернизации, а также разработке детальной инструкции проведения измерений.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ 5545.2018.5.

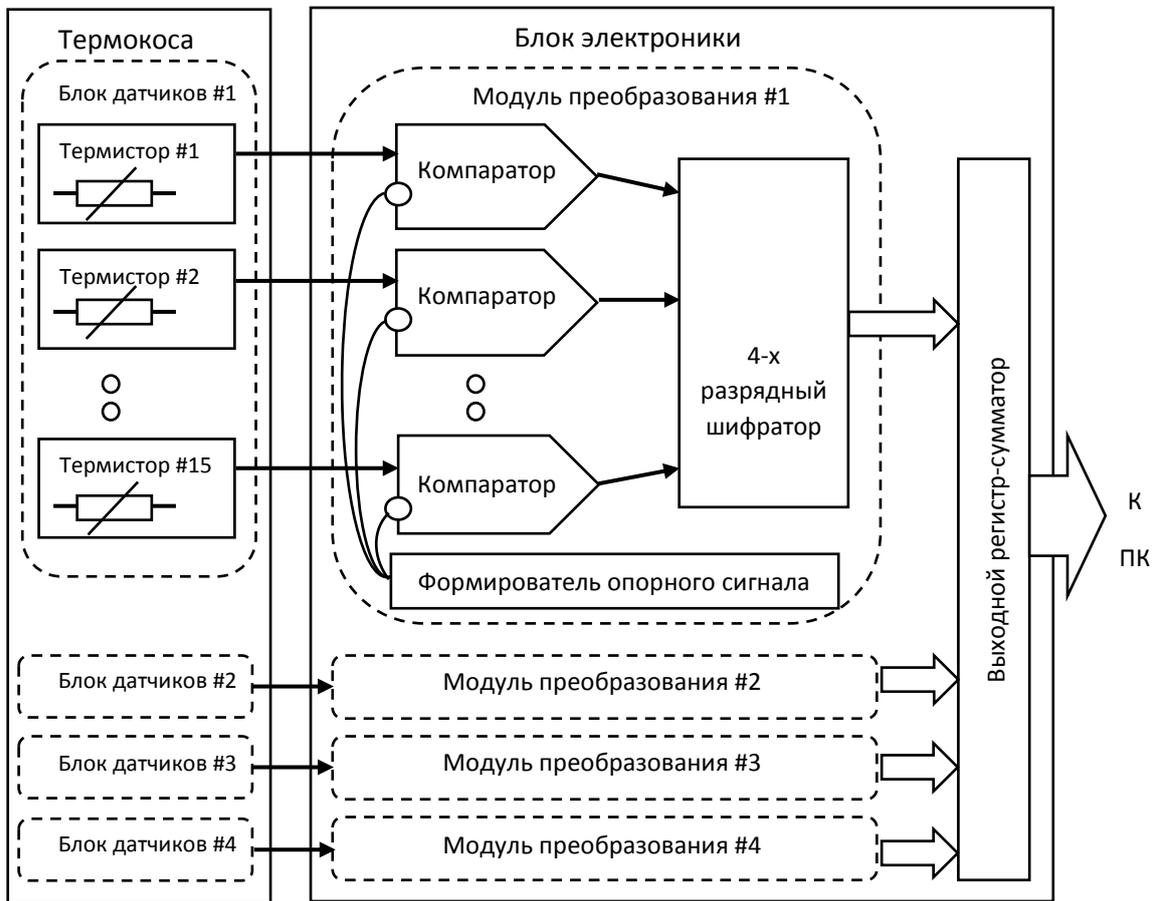


Рисунок 1 – Структурная схема аппаратного комплекса для измерения глубины промерзания грунта.

Список литературы

1. Джурик В.И., Лещиков Ф.Н. Экспериментальные исследования сейсмических свойств мерзлых грунтов. Международная конференция по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. Якутск, 1973, вып. 6.
2. Мельников В.П., Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Дубровин В.А. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью сейсмических методов // Геология и геофизика. 2010, Т. 51, № 1, С. 171—180.
3. ГОСТ 24847-81 ГРУНТЫ. Методы определения глубины сезонного промерзания ГОСТ 24847-81 ГРУНТЫ. Методы определения глубины сезонного промерзания.
4. Климатический справочник города Санкт-Петербурга. Температура грунта (почвы) и её распределение по глубине в г Санкт-Петербург и Ленинградской обл. URL: http://www.atlas-yakutia.ru/weather/spravochnik/temp_grunt/climate_sprav-temp_grunt_260630687.php (Дата обращения 27/03/2018).

ПРЕЦИЗИОННАЯ АВТОНОМНАЯ МОДУЛЬНАЯ 24-Х РАЗРЯДНАЯ СИСТЕМА СБОРА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Гравиров В.В.^{1,2}, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, вед. инж. ИФЗ РАН, тел.: +7 (903) 744-97-49, gravirov@mail.ru

Кислов К.В.¹, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, тел. +7 (909) 957-13-06, kvkisllov@yandex.ru

Лиходеев Д.В.², к.ф.-м.н., с.н.с. ИФЗ РАН, тел. +7 (499) 254-90-80, dmitry@ifz.ru

Нумалов А.С.², аспирант, ИФЗ РАН, тел. +7 (999) 522-57-95, nartems@bk.ru

*1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), <http://www.mitp.ru>
Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, тел.: +7 (495) 333-4513, mitpan@mitp.ru*

2 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им.

О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), <http://www.ifz.ru>, 123242, г. Москва, Б.

Грузинская ул., д. 10, стр. 1, тел.: +7 (499) 766-26-56, direction@ifz.ru

PRECISION AUTONOMOUS MODULAR 24-BITS GEOPHYSICAL DATA ACQUISITION SYSTEM

Gravirov V.V.^{1,2}, Kislov K.V.¹, Likhodeev D.V.², Numalov A.S.²

Annotation

There was developed a new small-size low-power data acquisition system based on a 24-bit analog-to-digital converter. The system is built on a modular-block principle that allows ones to flexibly change as the number of completely independent input data channels used and the type/model of the controlling controller in accordance with the requirements of tasks being solved. A variant of constructing data acquisition system functioning on the base of a Raspberry Pi microcomputer will be present as one of the possible configurations.

Keywords

ADC, data acquisition system, monitoring.

Аннотация

Разработана новая малогабаритная малопотребляющая система автоматического сбора информации, созданная на базе 24-х разрядного аналого-цифрового преобразователя. Система построена по модульно-блочному принципу, что позволяет гибко менять как количество используемых полностью независимых входных каналов данных, так и тип/модель управляющего контроллера в соответствии с требованиями решаемых задач. В качестве одной из возможных конфигураций будет представлен вариант построения системы сбора информации, функционирующей на базе микрокомпьютера типа Raspberry Pi.

Ключевые слова

АЦП, система сбора информации, мониторинг.

Современные геофизические наблюдения невозможно представить без использования разнообразных электронных систем сбора информации. Какой параметр или явление мы не пытались бы зарегистрировать или измерить везде присутствует обязательный элемент – аналого-цифровой преобразователь (АЦП). С его помощью производится преобразование любого аналогового сигнала в современную цифровую форму (двоичный цифровой код), который далее может быть передан в любую компьютерную систему для последующего хранения или специальной обработки.

При первом взгляде на существующий сегодня рынок разнообразных систем сбора информации может показаться, что для любой задачи уже существуют системы, отвечающие ее требованиям. Но при ближайшем рассмотрении выясняется, что это не так. Во-первых, в реальности производителей качественных систем сбора не много. Во-вторых, 24-х разрядные системы представлены на рынке не широко ввиду того, что зачастую их входной частотный диапазон ограничен десятками или в крайнем случае сотнями Герц [1, 2]. По этой причине круг потенциальных пользователей подобных систем сильно сужается. Это в свою очередь вызывает ограничение количества предлагаемых моделей и существенное увеличение цены на подобные устройства.

Специфика геофизических исследований заключается в необходимости работать с большими динамическими диапазонами. Это связано с тем, что система сбора информации должна быть в состоянии качественно записывать как сейсмический шум, так и сигналы от сильных землетрясений отличающиеся амплитудами друг от друга на несколько порядков. Ввиду этого, в геофизических исследованиях многие задачи оказываются «штучным товаром» для которого необходимо иметь свою систему сбора, обладающую своими специфическими характеристиками. Это вынуждает исследователей разрабатывать все новые варианты систем сбора вплоть до настоящего времени.

В настоящее время найти малогабаритные внешние автономные блоки АЦП высокого разрешения отечественного производства оказывается совсем не простой задачей. Если не брать во внимание предлагаемые на отечественном рынке импортные системы и платы, а также платы и компоненты, встраиваемые внутри

персональных компьютеров, то становится очевидно, что сейчас можно найти только качественные внешние блоки АЦП производства двух российских фирм: L-Card и Zetlab. К сожалению, в настоящее время внешний 24-разрядный модуль производства L-Card [3] уже снят с производства, но во многих научных организациях до сих пор используются многочисленные системы и установки на его основе. Свободно сейчас можно купить только изделия фирмы Zetlab, например, модуль ZET-220 [4]. К его несомненным достоинствам следует отнести возможность одновременного использования большого числа аналоговых входов, а также реализованную возможность работы в автономном режиме без подключения к компьютеру, позволяющую сохранять данные преобразования во внутреннюю память модуля (флэш-диск) с возможностью их дальнейшей передачи через контроллер USB или Ethernet. К очевидным недостаткам модуля следует отнести существенный уровень межканального проникновения сигналов и повышенный уровень шумов преобразования при тактовых частотах порядка 100 Гц.

Вышеперечисленное явилось причиной начала работ по проектированию авторами собственной прецизионной модульной системы сбора. Также немаловажным преимуществом разработанной системы является низкая себестоимость системы, что достигается использованием одноканальной системы, с возможностью увеличения количества каналов, при необходимости, в дальнейшем.

В результате к разрабатываемой системе сбора данных были сформулированные следующие требования:

- Разрешение преобразования – 24 бит,
- Эффективная разрядность – не хуже 22 бит,
- Тип аналогового входа – дифференциальный,
- Входное аналоговое напряжение – 10В (+/-5В),
- Количество входных каналов – 1 с возможностью расширения до 16,
- Тактовая частота – от 1 до 100 Гц,
- Динамический диапазон – не хуже 132 дБ,
- Межканальное проникновение – не хуже 122 дБ,
- Потребляемая мощность – не более 1 Вт.

При этом при разработке системы важной задачей было уменьшение ее себестоимости при соблюдении вышеуказанных параметров и сохранении общей надежности системы.

Проанализировав имеющиеся на сегодняшний день на рынке микросхемы было принято решение использовать изделия фирмы Analog Devices [5]. Выбор остановился на использовании АЦП с балансировкой заряда или как их еще называют сигма-дельта АЦП, поскольку, их основное достоинство связано с практически достижимой очень высокой точностью и разрядностью преобразования, обусловленную крайне низким уровнем собственных шумов. Благодаря своей структуре фактически сигма-дельта модулятор является фильтром низких частот для входного аналогового сигнала, и фильтром высоких частот для шума дискретизации, причем оба фильтра имеют одинаковую частоту среза. В итоге шум, сосредотачивается в высокочастотной области спектра и легко удаляется цифровым ФНЧ, который также входит в состав АЦП. Таким образом основными достоинствами сигма-дельта АЦП [6] являются:

- Низкая стоимость.
- Высокая разрешающая способность.
- Превосходная дифференциальная нелинейность.
- Низкая потребляемая мощность, но ограниченная полоса пропускания.
- Простые ключевые концепции реализации, но сложная внутренняя математика.
- Наличие избыточной дискретизация.
- Проведение эффективной фильтрации шума квантования.
- Идеальная применимость для устройств обработки сигналов разнообразных датчиков.

Из большого разнообразия предлагаемых микросхем был выбран чип, требующий минимального количества внешних соединений и комплектующих. Кроме этого в нем отсутствует встроенная схема формирования опорного напряжения, что позволило нам создать систему с высокостабильным источником опорного напряжения. Для стабилизации опорного напряжения использована схема, включающая в себя как прецизионный источник опорного напряжения, так и буферный выходной каскад, позволяющий исключить влияние АЦП на источник опорного напряжения в моменты преобразования, то есть когда входные цепи АЦП активно обращаются и используют опорное напряжение.

Обобщенная структурная схема разработанной платы АЦП системы сбора данных включает в себя входной блок, блок внутреннего питания, блок коммутации, блок индикации, непосредственно саму микросхему АЦП с необходимыми резисторами и конденсаторами, и блок опорного напряжения. Плата соединяется с управляющим микрокомпьютером через 40 контактный разъем GPIO Raspberry Pi 3. Размер разработанной платы не превышает базовых габаритов микрокомпьютера Raspberry Pi 3. Базовые характеристики для одноканального варианта исполнения системы приведены в Таблице 1.

В настоящее время нами разработаны и изготовлены опытные образцы описанной прецизионной системы сбора геофизических данных. Предстоит важный этап полномасштабных испытаний и возможных доработок по улучшению параметров системы.

Разработанная система сбора данных будет обладает характеристиками превосходящими многие зарубежные и отечественные аналоги, а по некоторым параметрам и превосходит их. Несомненным плюсом системы является её гибкость и лёгкая замена одной модели управляющего компьютера на другую. В дальнейшем планируется разработать собственную плату управляющего контроллера, что должно существенно снизить общее энергопотребление всей системы в целом и сделать её ещё более мобильной. За счёт применения в плате АЦП

широко распространённых микросхем известных производителей удалось существенно уменьшить её себестоимость.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ 5545.2018.5.

Таблица 1. Основных характеристик разработанной платы сбора информации

Параметр	Значение
Разрешение преобразования	24 бит
Входное напряжение (диф. вход)	5В (10В)
Количество входных диф. каналов (каналов)	1
Коэффициент усиления входного сигнала	1
Частота среза входного НЧ фильтра	8 Гц
Тактовая частота, фиксированные значения	16 и 100 Гц
Программируемая тактовая частота	0,01-25 Гц
Потребляемая мощность аналоговой части	< 0,6 Вт
цифровой части	< 0,05 Вт
Напряжение питания аналоговой части	5В
цифровой части	3,3В
Межканальное проникновение	Отсутствует

Список литературы

1. Колясев В.А., Молин С.М. Особенности применения сигма-дельта АЦП // В сборнике: Приборостроение в XXI веке - 2011. Интеграция науки, образования и производства. Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 2012. С. 53-57.
2. Жмудь В.А. Применение ЦАП и АЦП в системах управления высшей точности // Автоматика и программная инженерия. 2013. № 4 (6). С. 68-79.
3. Буткевич В., Невзоров В. Изделия L-Card: отечественные платы ацп/цап с сигнальным процессором / Электроника: Наука, технология, бизнес. 1999. № 3. С. 32-33.
4. АЦП ЦАП ZET 220. URL:<https://zetlab.com/shop/izmeritelnoe-oborudovanie/moduli-atsp-tsap/atsp-tsap-zet-220> (Дата обращения 20/04/2018).
5. Аналого-цифровые преобразователи фирмы Analog Devices. URL:<http://www.analog.com/ru/products/analogto-digital-converters.html> (Дата обращения 20/04/2018).
6. Гришин Е.И. Применение АЦП для измерения различных физических величин // В сборнике: Перспективы развития информационных технологий сборник материалов XXXVI Международной научно-практической конференции. 2017. С. 68-72.

ПРЕЦИЗИОННЫЕ УЗКОДИАПАЗОННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ

- Лиходеев Д.В.¹, к.ф.-м.н., с.н.с. ИФЗ РАН, тел. +7 (499) 254-90-80, dmitry@ifz.ru*
Гравиров В.В.^{1,2}, к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, вед. инж. ИФЗ РАН, тел.: +7 (903) 744-97-49, gravirov@mail.ru
Кислов К.В.², к.ф.-м.н., с.н.с. ИТПЗ РАН, тел. +7 (909) 957-13-06, kvkisllov@yandex.ru
Долов С.М.³, инженер-исследователь, ФИЦ ЕГС РАН, тел. +7 (960) 424-22-84, dol-sp@yandex.ru
 1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), <http://www.ifz.ru>, 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, тел.: +7 (499) 766-26-56, direction@ifz.ru
 2 – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук (ИТПЗ РАН), <http://www.mitp.ru> Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, тел. : +7 (495) 333-4513, mitpan@mitp.ru
 3 – ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), <http://www.gsras.ru>, Россия, г. Обнинск Калужской обл., пр. Ленина, 189, тел.: +7 (495) 912-68-72, frc@gsras.ru

PRECISION NARROW BAND DIFFERENTIAL TEMPERATURE SENSOR

Likhodeev D.V.¹, Gravirov V.V.^{1,2}, Kislov K.V.², Dolov S.M.³

Annotation

In order to study the fine structure of temperature fields in the rock stratum, precision narrow-band temperature sensors have been created that allow carrying out temperature measurements with a relative error at least 0.005 °C. There are considered principal ways how to achieve the required accuracy of measurements and calibration, how to set up sensors necessary operating temperature range.

Keywords

Temperature sensors, the Earth's thermal field, monitoring.

Аннотация

С целью исследования тонкой структуры температурных полей в толще горных пород, созданы прецизионные узкодиапазонные температурные датчики, позволяющие проводить температурные измерения с относительной погрешностью не хуже 0,005 °C. Рассмотрены принципиальные способы достижения требуемой точности измерений, калибровки, установки необходимого рабочего температурного диапазона датчиков.

Ключевые слова

Температурные датчики, тепловое поле Земли, мониторинг.

Исследование тонкой структуры температурных полей в толще горных пород, в связи с малой скоростью распространения температурных возмущений и высокой долговременной температурной стабильностью, требует высокоточных измерений вариаций температуры. Такое высокоточное измерение временных вариаций температур позволит получить оценку динамики температурных полей в толще горных пород уже в течение относительно непродолжительных сроков наблюдения. Установка подобных датчиков после их предварительной одновременной калибровки с разнесением их по вертикали, позволит проводить экспериментальные прецизионные измерения динамики теплового потока. В качестве полигона для тестирования системы температурного мониторинга была выбрана лаборатория, располагающаяся в штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (БНО ИЯИ РАН) на расстоянии 4100 метров от устья штольни [Собисевич и др. 2008].

Температурные измерения, проводившиеся в БНО ИЯИ РАН с использованием различного типа датчиков [Голубев, Лиходеев, 2006; Лиходеев, 2013], позволили получить предварительную (грубую) оценку температурных полей в ее окрестностях (рис. 1). Для получения температурных данных высокой точности в вырубке штольни были пробурены отверстия глубиной до 5 м. Глубокое заложение датчиков в данные отверстия с их последующей изоляцией практически полностью исключит влияние температурного режима вырубке штольни на исследуемое тепловое поле горного массива.

Для прецизионного измерения температур в условиях их высокой стабильности была разработана схема специализированного узкодиапазонного дифференциального термометра, состоящего из нескольких взаимосвязанных блоков, его общая схема представлена на рис. 2.

Основным термочувствительным элементом термометра является платиновый терморезистор, обладающий практически линейной температурной зависимостью изменения внутреннего сопротивления от внешней температуры, великолепной долговременной стабильностью базовых характеристик, позволяющий проводить оперативную и легкую замену в случае неисправности одного терморезистора на другой ввиду практически идентичных терморезистивных значений (с точностью до единиц Ом), а также отличной терморезистивной точностью (соответствием реальных и теоретических значений зависимости сопротивления от температуры) в большом температурном диапазоне. Терморезистор входит в состав модуля формирования выходных сигналов, где текущее значение сопротивления терморезистора преобразуется в напряжение выходного

дифференциального сигнала. За счет этого используя однополярный источник питания оказывается возможным не только в два раза увеличить выходной динамический диапазон прибора, но и активно бороться с любыми помехами, которые могут быть наведены в проводах и линиях связи между отдельными платами, поскольку внешние электромагнитные помехи, в этом случае, будут наводиться на оба выхода одновременно и одинаково.



Рисунок 1 – Динамика температуры в конце вырубki. Длительность записи 6 месяцев. Измерение поверхностных температур производилось при помощи миниатюрных термографов (Логгеров) High Capacity Temperature Loggers iButton. Точность измерения 0.1 °C [Лиходеев, 2013]

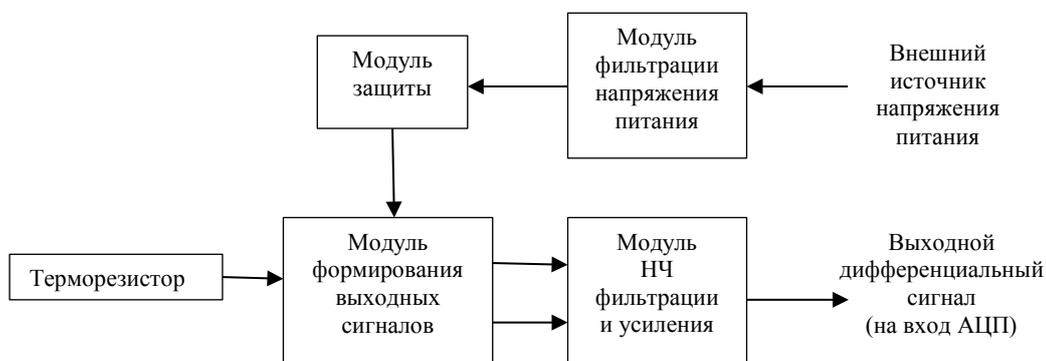


Рисунок 2 – Базовая блок-схема термометра

Так как при разработке прибора была поставлена задача получить разрешение термометра не хуже, чем 0,005 °C, то особое внимание было уделено мерам по дополнительному снижению уровня возможных электромагнитных шумов и локализации их источников. Разумеется, что при такой высокой чувствительности динамический диапазон термометра оказывается весьма ограничен. Поэтому для решения широкого класса задач по наблюдению термодинамического режима разнообразных объектов было разработано семейство дифференциальных термометров, обладающих как разной чувствительностью V/°C, так и рабочим температурным диапазоном. Характеристики некоторых из них представлены на рис.3.

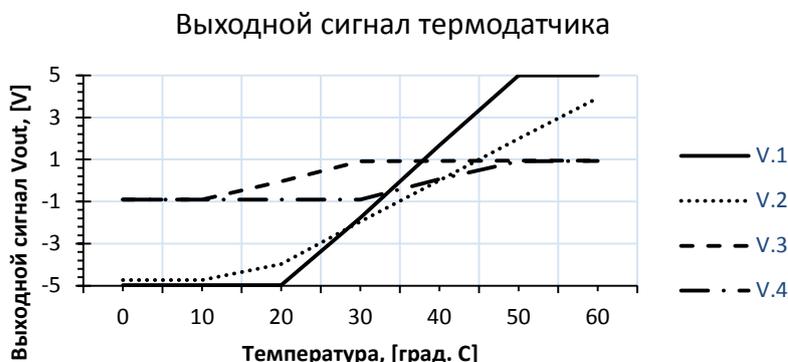


Рисунок 3 – Семейство зависимостей выходного сигнала термометра от температуры.

Из представленных характеристик видно, что варианты V.3 и V.4 обладают существенно уменьшенным рабочим диапазоном как по температуре, так и по значениям выходных дифференциальных напряжений. Это связано с тем, что данная модификация термометра, обладающая пониженным уровнем собственных и наведенных

шумов, должна использоваться совместно с последующим низкочастотным фильтром-усилителем, осуществляющем как фильтрацию измеренных температурных сигналов, так и их усиление до величины полного рабочего динамического диапазона. Амплитудно-частотная характеристика фильтра-усилителя при единичном коэффициенте усиления, показана на рисунке 4.

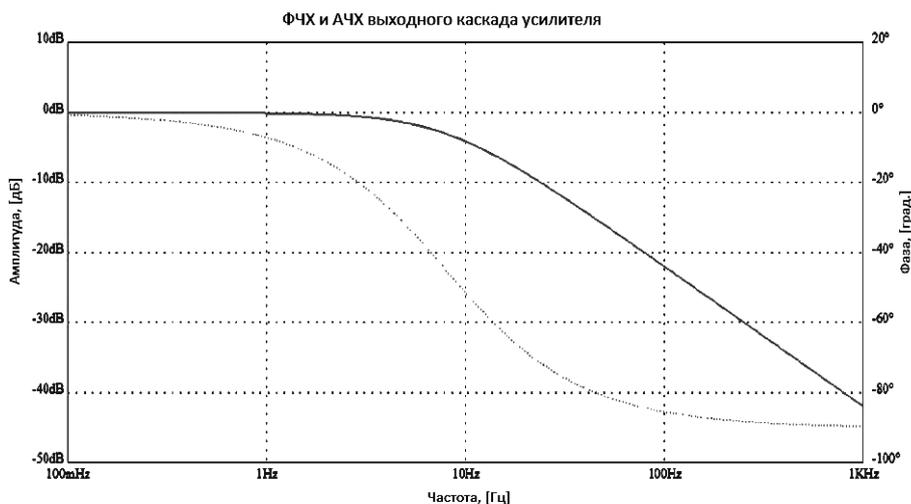


Рисунок 4 – Фазо-частотная (пунктирная линия) и амплитудно-частотная характеристики (сплошная линия) фильтра-усилителя при единичном коэффициенте усиления.

Низкочастотный фильтр настроен на частоту среза 8 Гц по уровню -3дБ. Это позволяет избавиться от большинства средне- и высокочастотных наведенных шумовых гармоник. Кроме этого, в схему прибора также была введена схема низкочастотной фильтрации по шине питания, настроенная тоже на частоту 8 Гц, что позволило убрать не только гармоники кратные частоте сетей питания 50 Гц, но и всевозможные помехи которые могут возникать при использовании для питания термометра импульсных блоков питания, модулей AC-DC и DC-DC, шин питания систем сбора информации и т.п.

Функционально элементы дифференциального термометра расположены в двух герметичных корпусах. В первом миниатюрном корпусе расположены схемы модуля формирования выходного сигнала и модуля защиты. Далее полученный дифференциальный сигнал передается по витой паре во второй корпус, где смонтированы схемы модуля фильтрации напряжения питания и схемы модуля НЧ фильтрации и усиления.

Выходные дифференциальные сигналы разработанного термометра лежат в диапазоне от 0 до +5 В, что позволяет его легко подключать к большинству современных электронных систем сбора информации.

Постоянный температурный мониторинг в штольне Баксанской Нейтринной обсерватории с использованием разработанных датчиков, позволит получить высокоточные данные о динамике температурного поля в окрестности вулкана Эльбрус и внесет важный вклад в продолжающееся комплексное изучение Эльбурского вулканического центра [Маловичко и др., 2014; Масуренков и др., 2009], что особенно актуально в свете активно развивающейся туристической инфраструктуры как в Баксанском ущелье, так и в Приэльбрусье в целом.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ 5545.2018.5.

Список литературы

1. Голубев В.Г., Лиходеев Д.В. Система геотермического и климатического мониторинга Баксанской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. 2006. Т. 42. С. 29-36.
2. Лиходеев Д.В. Исследование тепловых и наведенных волновых процессов в районе Эльбурского вулканического центра: дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. 2013. 151 с.
3. Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Лиходеев Д.В., Заклюковская А.С., Преснов Д.А. Развитие системы разномасштабного сейсмического мониторинга в районе вулкана Эльбрус // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50, № 4. С. 47-57.
4. Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л., Лиходеев Д.В., Шевченко А.В. Тепловые аномалии Северного Кавказа // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 5. С. 667-670.
5. Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. № 1. С. 21-42.

КОМПАКТНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ БИОСЕНСОРНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Верещагин Ф.В.¹, Гусев В.М.¹, Компанец О.Н.¹, Павлов М.А.¹, Чулков Д.П.², Евдокимов Ю.М.³, Скуридин С.Г.³

1 – ФГБУН Институт спектроскопии РАН, 108840, Москва, Троицк, ул. Физическая 5, onkomp@isan.troitsk.ru

2 – ФГУП «РМП «Медтехника», 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, 19

3 – ФГБУН Институт молекулярной биологии им. В.А.Энгельгардта РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 32

A COMPACT OPTICAL BIOSENSOR ANALYTICAL SYSTEM FOR MEDICINE

Vereshchagin F.V.¹, Gusev V.M.¹, Kompanets O.N.¹, Pavlov M.A.¹

Chulkov D.P.², Yevdokimov Yu.M.³, Skuridin S.G.³

Annotation

An experimental sample of a compact highly sensitive biosensor analytic system for the rapid detection of the presence and concentration of antibiotics (daunomycin and its analogues) used in oncology clinics is created. The optimization of the operation modes of the dichrometer and the elements of the biosensor software was carried out, the biosensor system was calibrated for the example of recording the CD optical signal of containing DAU laboratory solutions.

Keywords

Biosensor, circular dichroism, DNA based biosensing units, dichrometer, daunomycin.

Аннотация

Создан экспериментальный образец компактной высокочувствительной биосенсорной аналитической системы для экспрессного обнаружения в условиях клиники наличия и концентрации используемых в онкологической практике антибиотиков (дауномицина и его аналогов). Проведена оптимизация режимов работы дихрометра и элементов программного обеспечения биосенсора, проведена калибровка биосенсорной системы на примере регистрации оптического сигнала КД содержащих ДАУ лабораторных растворов.

Ключевые слова

Биосенсор, круговой дихроизм, биодатчик на основе ДНК, дихрометр, дауномицин.

Цель работы – разработка компактной аналитической системы экспрессного определения наличия и концентрации дауномицина (ДАУ) как в модельных лабораторных растворах, так и в крови пациентов, терапия которых связана с использованием этого антибиотика. Это вызвано практическими потребностями лечения онкологических больных указанным антибиотиком, интерес к применению которого в клиниках РФ и за рубежом остается по-прежнему очень высоким в связи с его эффективностью.

Биосенсорный метод определения дауномицина в жидкости основан на использовании в качестве чувствительных элементов (биодатчиков) «жидких» частиц ДНК, самопроизвольно возникающих при фазовом исключении (конденсации) молекул ДНК из водно-солевых растворов полимеров [1, 2]. В результате фазового исключения жесткие, двухцепочечные молекулы ДНК низкой молекулярной массы упорядочиваются и образуют частицы (размером ~ 0,5 мкм) холестерической жидкокристаллической дисперсии ДНК, для которых характерна аномальная оптическая активность в полосе поглощения азотистых оснований ДНК ($\lambda \sim 270$ нм). Жидкокристаллическое упорядочение не нарушает реакционной способности молекул ДНК, и окрашенные противоопухолевые антибиотики (включая дауномицин) из биологической жидкости могут легко проникать внутрь таких частиц и встраиваться (интеркалировать) между парами азотистых оснований ДНК без нарушения характера упорядочения этих молекул. В результате этого процесса в области поглощения хромофоров ДАУ в спектре КД на длине волны примерно 515 нм возникает аномальная оптическая активность, которая регистрируется при помощи портативного дихрометра и при определенных условиях прямо пропорциональна концентрации дауномицина в жидкости.

Созданный экспериментальный образец (см. фото) автоматизированного компактного дихрометра способен работать с биодатчиком на основе комплекса [ДНК+ДАУ] на длине волны 512 нм и контролировать его качество на длине волны 270 нм.

В дихрометр встроен микрокомпьютер с расширенными коммуникационными возможностями. Габаритные размеры дихрометра 210x314x350 мм. Для распечатки результатов тестов предусмотрена возможность установки встраиваемого термопринтера. Для ввода информации о биодатчике предусмотрено подключение сканера штрих-кодов, имеется возможность передавать данные по беспроводным каналам Wi-Fi и Bluetooth, в сети Ethernet, а также интегрировать прибор в современные лабораторные информационные системы.

В дихрометре в качестве источников излучения применены светодиоды высокой яркости излучения S12LG2C-B и S12LR2C-B фирмы ProlightCompany, излучающие, соответственно, зеленый свет на длине волны 515 нм (в максимуме полосы КД комплекса [ДНК+ДАУ]) и красный свет на длине волны 635 нм, вдали от указанной полосы. Для



контроля качества используемого биодатчика применён светодиод UVTOP270, излучающий на длине волны 274,4 нм с полушириной спектра 10 нм. Источники включаются поочередно.

Введение контрольного излучателя (на длине волны 635 нм) позволяет учесть вклад фоновых сигналов в измеряемый сигнал

КД, соответствующий изменению оптических свойств КД биодатчика только под действием ДАУ из анализируемой жидкости. Для компенсации расходимости излучения светодиодов использованы коллимирующие линзы, а для сужения спектра излучения до 10-12 нм применены интерференционные фильтры, зеленый с максимумом пропускания на 512 нм и красный с максимумом пропускания на 633 нм. Излучение светодиодов направляется по одному пути с помощью дихроичных зеркал на поляризационную призму из KDP, выделяющую излучение с линейной поляризацией под углом 45° (Рис.1).

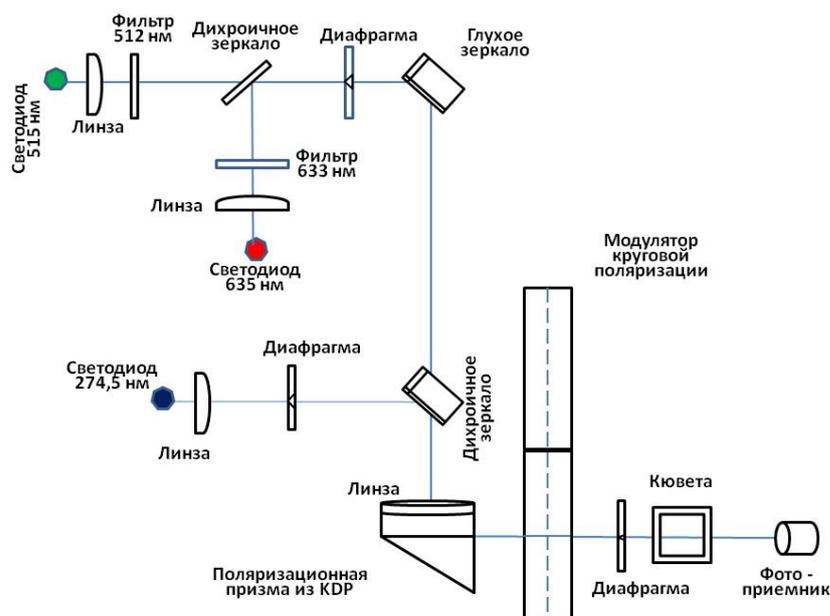


Рисунок 1 – Оптическая схема дихрометра

В дихрометре использован модулятор круговой поляризации фотоэластического типа из склейки двух брусков (из кристаллического и плавленого кварца), Узел для размещения образцов биодатчиков представляет собой блок для стандартной кварцевой кюветы с терморегулирующим устройством на основе элементов Пельтье. В качестве фотоприёмника использован фотодиод S1337-1010BQ, чувствительный и в УФ области. Система регистрации является основным элементом прибора, осуществляющим выделение, оцифровку сигнала кругового дихроизма, управление модулятором, термостатом и передачу полученных данных в компьютер для дальнейшей обработки.

Программное обеспечение (ПО) для встроенного в прибор компьютера посредством передачи на встроенную в прибор плату с микроконтроллером управляющих команд осуществляет установку режима работы до, во время и после проведения измерения таких параметров элементов дихрометра, как напряжение на модуляторе, коэффициенты усиления постоянной и переменной составляющих сигнала, ток на светодиоде; поддерживает заданную температуру в кюветном отделении, периодически считывая значение температуры с термодатчика и устанавливая напряжение на элементе Пельтье; передаёт команду на считывание величины изменений напряжения с фотодиода, после чего вычисляет значение сигнала КД образца. В эту же часть ПО входят некоторые вспомогательные функции, например, калибровка модулятора круговой поляризации.

Аналитическая часть ПО, используя элементы управления интерфейса, которые эта часть ПО выводит на экран, осуществляет операцию биосенсорного измерения концентрации дауномицина в пробе для анализа. В процессе этой операции измеряется исходное значение сигнала КД биодатчика (используется как базовый сигнал), затем измеряется значение сигнала КД аликвоты раствора дауномицина. Разность полученных значений A подставляется в формулу, описывающую калибровочную кривую вида $C = (\ln(C_2/(\lambda + C_1)))/C_3$ (калибровочные коэффициенты которой C_1, C_2, C_3 предварительно определяются в процессе отдельной операции калибровки тест-системы), в результате чего вычисляется значение концентрации дауномицина в аналитической пробе и, после учета коэффициента разбавления, в пробе для анализа. Также в эту часть ПО входят операции ввода информации об организации и операторе (проводящем анализ), операция ввода рабочих условий проведения анализа (температура, время накопления сигнала, количество повторов), операция калибровки биосенсорной тест-системы, при которой по серии измеренных значений сигналов КД образцов с известной концентрацией и с учетом значения

сигнала КД базового раствора симплекс методом определяются коэффициенты C_1, C_2, C_3 калибровочной кривой, операция вывода результатов анализа.

Значение сигнала КД в операции проверки биодатчика вычисляется как разность сигналов КД на длине волны 274,5 и 635 нм; в операциях калибровки тест-системы и определения концентрации – как разность сигналов на 515 и 635 нм.

В процессе выполнения работы проведена оптимизация режимов дихрометра и элементов программного обеспечения биосенсора, проведена калибровка биосенсорной системы на всех длинах волн по оптическому сигналу КД лабораторных растворов нескольких различных концентраций митаксантрона, интеркалированного в холестерической жидкокристаллической дисперсии ДНК (комплекса [ДНК+МХ]), проявляющих значимый сигнал КД на всех трех длинах волн, на которых работает дихрометр. Проверка правильности измерений прибором сигналов КД используемых растворов на длинах волн 274,5 нм, 515 нм и 635 осуществлялась с помощью полифункционального дихрометра СКД-2МУФ [3].

Таким образом, на основе компактного дихрометра с использованием ДНК-биодатчиков создан экспериментальный образец биосенсорной аналитической системы для определения ДАУ и проведено ее испытание. Такая биосенсорная аналитическая система сможет в автоматическом режиме, за несколько минут определять терапевтические концентрации ДАУ на уровне $\sim 5,0 \cdot 10^{-6}$ моль/л, что сопоставимо с пределами определения дауномицина при помощи классических методов и аппаратуры с их более длительными процедурами анализа.

Литература

1. Ю. М. Евдокимов, В. И. Салянов, С. В. Семенов, С. Г. Скуридин Жидкокристаллические дисперсии и наноконструкции ДНК (под ред. Ю.М.Евдокимова). - М.: Радиотехника, 2008, 296 с.
2. Ю.М.Евдокимов, В.И.Салянов, С.Г.Скуридин. Наноструктуры и наноконструкции на основе ДНК (под ред. Ю.М.Евдокимова). – М.: ССАЙНС-ПРЕСС, 2010, 256 с.
3. Ф. В. Верещагин, В. М. Гусев, О. Н. Компанец, М. А. Павлов, Д. П. Чулков. Портативный полифункциональный дихрометр новой биосенсорной аналитической системы биомедицинского назначения на основе ДНК-биодатчиков. - Биомедицинская радиоэлектроника, №3, 2013 г., с. 58-68.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВТМО ВИНТОВОГО ОБЖАТИЯ

Маслов М. Л., аспирант,

Дементьев В.Б. руководитель Института механики, д.т.н., с.н.с.,

*Коришунов А.И., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник
лаборатории Материаловедения и термомеханических процессов,*

ФГУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»,

426067, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Татьяны Барамзиной, д.34,

<http://udman.ru/>, тел. (3412) 20-34-66, demen@udman.ru, kai@udman.ru

AUTOMATED HARDWARE MONITORING SYSTEM OF VTMO SCREW COMPRESSION PARAMETERS

Maslov M. L., Dementev V.B., Korshunov A.I.

Annotation

The article deals with the VTMO process of screw compression, which involves heating, deformation and hardening during one technological operation. Monitoring the temperature of the treatment zone, forces and cooling rate is a necessary requirement for ensuring the efficiency of the process. For this purpose, a hardware complex has been developed that records the main parameters of the technological process that determine the structure and properties of the material of the reinforced product.

Keyword

High-temperature thermomechanical processing, screw compression, monitoring of process parameters.

Аннотация

В статье рассмотрен процесс ВТМО винтового обжатия, предусматривающий нагрев, деформацию и закалку в ходе одной технологической операции. Мониторинг температуры зоны обработки, усилий и скорости охлаждения является необходимым требованием для обеспечения эффективности процесса. С этой целью разработан аппаратный комплекс, регистрирующий основные параметры технологического процесса, определяющие структуру и свойства материала упрочненного изделия.

Ключевые слова

Высокотемпературная термомеханическая обработка, винтовое обжатие, мониторинг параметров технологического процесса.

Введение

Эффективность процесса высокотемпературной термомеханической обработки (далее ВТМО) зависит от параметров процесса [1]. Процесс ВТМО винтовым обжатием основан на совмещении горячей калибровки цилиндрических заготовок путем обжатия в трех гладких неприводных деформирующих роликах, расположенных по окружности под углом 120° и процесса закалки, который выполняется непосредственно сразу после калибровки, в единой технологической операции [2]. Общий вид установки приведен на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид установки ВТМО

Описание структуры и возможностей комплекса

С целью обеспечения непрерывного мониторинга параметров технологического процесса ВТМО винтовым обжатием разработан автоматизированный аппаратный комплекс мониторинга параметров операции (Рисунок 2).

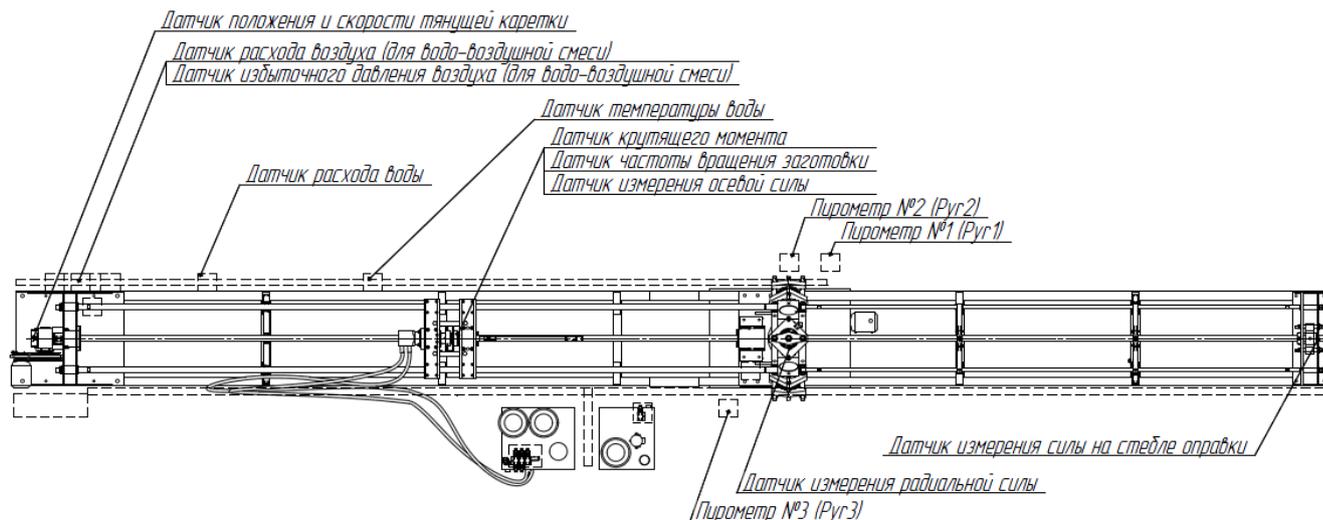


Рисунок 2 – Схема размещения датчиков системы мониторинга

Комплекс состоит из системы датчиков и аппаратуры для измерения и регистрации. Для измерения и регистрации силовых параметров применяется система тензодатчиков, размещенных, соответственно: на валу корпуса деформирующего узла для измерения деформирующего усилия; на переходной балке, воспринимающей усилие деформирования от заготовки для измерения осевой силы и крутящего момента; на стебле оправки для измерения приложенного усилия. Диаграммы распределения сил представлены на Рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример диаграммы распределения сил в процессе ВТМО

Важное значение имеет распределение температур в заготовке в процессе ВТМО. Для их оценки применены

лазерные пирометрические датчки, оценивающие температуру заготовки в зоне нагрева индуктором, в зоне деформирования и в зоне охлаждения соответственно. Соответствующие диаграммы распределения температур приведены на Рисунке 4. Полученные результаты позволили создать модель охлаждения цилиндрической заготовки [3].

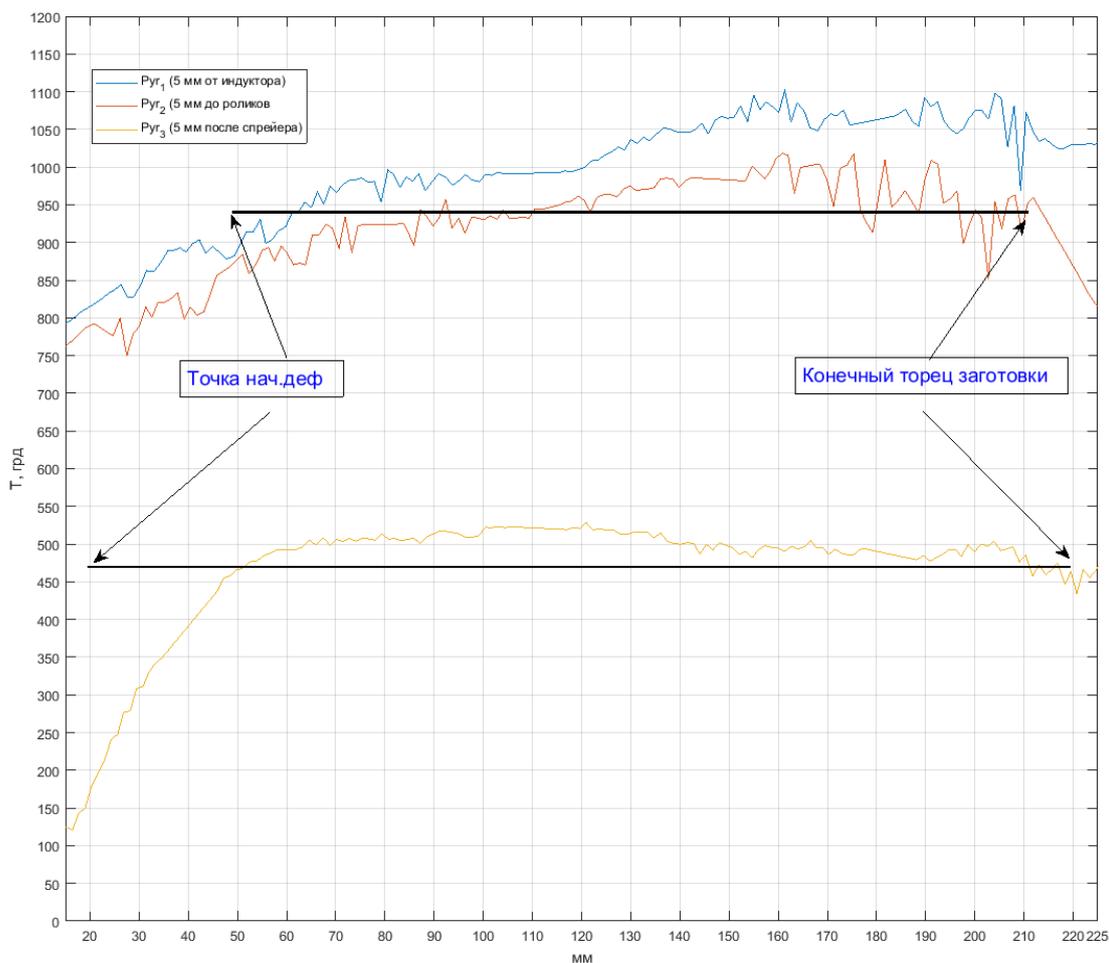


Рисунок 4 – Диаграмма распределения температур заготовки.

Заключение

Разработанный автоматизированный аппаратный комплекс мониторинга параметров операции ВТМО винтовым обжатием позволяют с необходимой точностью оценить весь комплекс параметров технологической операции ВТМО винтовым обжатием, значимо влияющих на качество и эффективность процесса. Результаты, полученные с применением разработанного автоматизированного комплекса используются для повышения эффективности процесса ВТМО, анализа внутренних процессов, происходящих в заготовке и отработке технологических режимов операции ВТМО винтовым обжатием.

Список литературы

1. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Определение критериев оптимальности при разработке упрочняющих технологий // Тракторы и сельхозмашины. № 12. 2015. С 29-33.
2. Дементьев В.Б., Макаров С.С., Чекмышев К.Э., Макарова Е.В. Охлаждение высокотемпературных стальных заготовок потоком жидкости / Международный союз ученых «Наука. Технологии. Производство». – С.Петербург, 2015 -№ 4(8). С. 92-95.
3. Dementyev V.B., S.S. Makarov, E.V. Makarova Mathematical Modeling of Cooling High-Temperature Cylindrical Workpieces. Procedia Engineering. Vol. 150. pp 393-399. 2016. XML Bib Tex Google Scholar.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯТОР ДЛЯ ТОКСИКОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАСТ-1

Доманский В.Л., к.б.н., ведущий научный сотрудник; Собакин И.А., ведущий инженер-электроник; Кошелев С.М., ведущий инженер-конструктор.
ФГБУН Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН.
<http://ntcup.ru>. 117342, Москва, ул. Бутлерова, 15, тел. 84953334404, domanski@ntcup.ru

AUTOMATED PACEMAKER FOR TOXICOMETRIC RESEARCH LAST-1

Domansky V.L., Sobakin A.I., Koshelev S.M.

Annotation

A standardized hardware-software technology for determining the summation-threshold value (SPP). This is an integral parameter that reflects the effect of toxic factors of different nature on the functional characteristics of the nervous system of laboratory animals. The created model for automated stimulator for mass toxicometric research is described. Its main technical features are given.

Keywords

Toxicometry, summation-threshold value, SPP, excitability threshold, automated electrical stimulator, standardized measurement technology.

Аннотация

Предложена стандартизованная аппаратно-программная технология определения суммационно-порогового показателя СПП, который является интегральным параметром, отражающим эффект воздействия токсических факторов различной природы на функциональные характеристики нервной системы лабораторных животных. Описана созданная модель автоматизированного электростимулятора для массовых токсикометрических исследований. Приведены его основные технические параметры.

Ключевые слова

Токсикометрия, суммационно-пороговый показатель СПП, порог возбудимости, автоматизированный электростимулятор, стандартизованная технология измерения.

Введение

Влияние на живой организм токсических факторов различной природы, как то: химических соединений – пестицидов, нейротоксинов; физических факторов – ионизирующей радиации, электромагнитных полей становится все более актуальной научной и практической проблемой [1]. Ее исследование невозможно без разработки технологий количественной оценки воздействия этих факторов на различные функциональные системы живого организма.

Особый интерес представляет определение влияния этих факторов на нервную систему на рефлекторные функции мозга, в частности на изменение чувствительности к электрическим стимулам, действующим с определенной частотой и скоростью нарастания их интенсивности. Обобщенным параметром, характеризующим влияние токсических факторов на центральную нервную систему является суммационно-пороговый показатель (СПП) [2]. Парадокс в том, что несмотря на относительную простоту и высокую информативность теста СПП, стандартизованных аппаратно-программных средств технологии для его практического применения – не существует. В исследованиях СПП часто используют обычные лабораторные стимуляторы типа ЭСУ с ручной установкой параметров импульсов [3, 4]. При этом неизбежным оказывается искажение результатов исследований, возникающее за счет произвольного выбора оператором параметров тестирующих воздействий. Отсюда вытекает и невозможность сопоставления результатов оценки СПП, полученных в разных сериях исследований.

Цель работы

Разработка стандартизованной аппаратно-программной технологии определения СПП и создание автоматизированного электростимулятора для массовых токсикометрических исследований, проводимых на партиях мелких лабораторных животных: белых мышах и крысах линии «Вистар».

Результаты

Разработан лабораторный автоматизированный электростимулятор ЛАСТ-1. Он предназначен для электроимпульсного тестирования возбудимости сенсомоторных структур нервно-мышечной системы лабораторных животных. Электростимулятор обеспечивает проведение исследований по следующему методикам:

- определение порогов электровозбудимости сенсорных и моторных структур;
- определение зависимости "сила-длительность" $V = F(t_u)$ сенсорных и моторных звеньев нервной системы.
- автоматизированное определение суммационно-порогового показателя (СПП).

Область применения: экспериментальные и учебные лаборатории физиологии и токсикологии научно-исследовательских, образовательных и испытательных учреждений, служба токсикологической экспертизы региональных центров гигиены и эпидемиологии

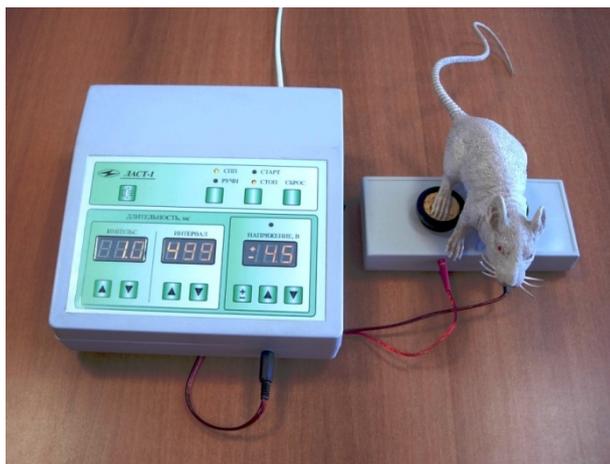


Рисунок 1 – Автоматизированный лабораторный электростимулятор ЛАСТ-1.

Технические характеристики

Форма выходных стимулов – однофазные и двухфазные прямоугольные импульсы, заполненные колебаниями с частотой звукового диапазона. Частота заполнения импульсов $F_3 = (10,0 \pm 0,1) \text{ кГц}$.

Значения амплитуды напряжения в импульсе V_u на активной нагрузке 1000 Ом устанавливаются в интервале $(0; 0,5; \dots 20) \text{ В}$ с шагом установки $0,5 \text{ В}$:

$$V_u = (0; 0,5; 1,0; 1,5; \dots 19,5; 20) \text{ В}.$$

Отклонение фактического значения амплитуды напряжения от установленного δV_u – не более 15%:
 $\delta V_u \leq 15\%$.

Длительность импульсов t_u устанавливается в интервале $t_u = (1,0; \dots 200) \text{ мс}$.

Длительность межимпульсного интервала t_{mi} устанавливаются в интервале $t_{mi} = (10; \dots 5000) \text{ мс}$.

Отклонение фактических значений длительности импульсов t_u и межимпульсного интервала t_{mi} от установленных значений – не более $\pm 5\%$.

$$\delta t_u \leq 5\%, \delta t_{mi} \leq 5\%.$$

Электростимулятор работает в двух режимах: ручном и автоматическом режиме СПП.

В ручном режиме фазность импульсов, значения их длительности, межимпульсного интервала и амплитуды напряжения устанавливаются оператором.

В режиме СПП период импульсов T_u фиксирован и равен 500 мс : $T_u = t_u + t_{mi} = 500 \text{ мс}$. Соответственно, частота следования импульсов равна 2 Гц . Значение длительности импульсов устанавливается оператором путем выбора из выше указанного диапазона. При этом значение длительности межимпульсного интервала устанавливается автоматически по формуле $t_{mi} = (T_u - t_u) \text{ мс}$.

В режиме СПП при запуске генерации командой СТАРТ амплитуда каждого последующего импульса дискретно и монотонно возрастает с периодом 500 мс и шагом $0,5 \text{ В}$, начиная от нуля и до включения команды СТОП при появлении моторного рефлекса.

Максимальное значение амплитуды импульсов $u_f u_{fuheprt} 1000 \text{ Ом}$

$$V_{u \text{ max}} = 20 \text{ В}$$

Устанавливаемые и текущие значения параметров индицируются цифровыми индикаторами и сохраняются при переходе стимулятора в состояние СТОП.

Питание электростимулятора: сеть переменного тока частотой $(50 \pm 1) \text{ Гц}$ и напряжением $(220 \pm 22) \text{ В}$.

Мощность, потребляемая электростимулятором от сети, – не более 30 ВА .

Масса электронного блока – не более $2,5 \text{ кг}$, а в полном комплекте поставки – не более $4,0 \text{ кг}$.

Габаритные размеры электронного блока – не более $290 \times 200 \times 100 \text{ мм}$.

Литература

1. Саноцкий И.В. (ред.) Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия). М. Медицина. 2010. 284 с.
2. Сперанский С.В. Учет показателей функционального состояния центральной нервной системы в объемно-токсикометрических исследованиях. Гигиена и санитария. 2007. С. 73-75.
3. Сперанский С.В. Экспериментальные исследования по объемной токсикометрии. Гигиена и санитария. 2007, № 9, С. 76 - 79.

Сперанский С.В. Метод оценки гепатотропных и нейрогенных эффектов в токсикологическом эксперименте. Гигиена и санитария. 2010. № 7. С. 50-52.

**АППАРАТ АМИС-8 ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОТ ВИРУСОВ
ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА САДОВЫХ КУЛЬТУР**

*Донецких В.И., к. физ.-мат. н., вед.н. с., тел., Упадышев М.Т., д. сел.-хоз. н., зав. отделом, ФГБНУ ВСТИСП;
115598, Москва, ул. Загорьевская 4, тел. (495) 329-32-33, E-mail: virlabor@mail.ru*

**DEVICE AMIS-8 FOR STIMULATION AND IMPROVEMENTS FROM VIRUSES
LANDING MATERIAL OF GARDEN CULTURES**

Donetskich V.I., Upadyshev M.T.

Annotation

The mean of new generation - device AMIS-8 controlled by a personal computer, for stimulation of growth and improvement from viruses of garden plants by periodic sequence of pulses of a magnetic induction in over low frequency a range is considered.

Keywords

A magnetic field, magnetic-pulse processing of plants, magnetic influence, electromagnetic radiation, garden cultures, improvement of plants from viruses.

Аннотация

Рассмотрено техническое средство нового поколения - аппарат АМИС-8, управляемый персональным компьютером, для стимуляции роста и оздоровления от вирусов садовых растений периодической последовательностью импульсов магнитной индукции в сверхнизкочастотном диапазоне.

Ключевые слова

Магнитное поле, магнитно-импульсная обработка растений, магнитное воздействие, электромагнитное излучение, садовые культуры, оздоровление растений от вирусов.

Успешное развитие сельскохозяйственного производства требует использования современных энергосберегающих технологий для повышения урожайности культур и получения экологически чистых продуктов. В связи с этим наибольшую актуальность приобретают малоэнергоёмкие технологии, основанные на использовании различных физических факторов, одним из которых является магнитно-импульсная обработка (МИО) [1, 2]. Она выгодно отличается от химических факторов своей экологической безопасностью, низкой энергоёмкостью, большей технологичностью. Однако механизм биорегуляторного действия МИО исследован недостаточно, режимы отработаны слабо, далеки от оптимальных и требуют дальнейшего совершенствования.

Используемые сегодня технические средства МИО узконаправленны, поэтому разработка новых и совершенствование уже имеющихся технических средств на основе информационных технологий является актуальной [3, 4]. В связи с этим нами проводились работы по поиску новых технических решений с целью создания современного устройства для МИО растений, имеющего более совершенные технические характеристики, пригодного для получения новых знаний, оздоровления и стимуляции жизненных процессов растений, выращиваемых *invitro* и *invivo*. Для решения данной задачи в 2016 г. в ФГБНУ ВСТИСП разработан аппарат магнитно-импульсной стимуляции для садовых растений АМИС-8, рис.1 (патент РФ №2573349) как элемент энергосберегающей технологии в садоводстве, предназначенный для обработки посадочного материала садовых растений программно формируемой с помощью персонального компьютера периодической последовательностью одно- или разнополярных импульсов магнитной индукции как немодулированных, так и модулированных затухающими колебаниями в сверхнизкочастотном (СНЧ) диапазоне в режиме частотного сканирования с одновременным дополнительным синхронным облучением импульсами света определенных длин волн оптического диапазона с целью оздоровления растений от вирусов *invitro*, стимуляции роста и развития растений и, как следствие, повышения урожайности.

Низкочастотные импульсные ЭМП биосферы или подобные низкочастотные импульсные поля искусственного происхождения, имеющие дополнительные высокочастотные модулирующие компоненты, обладают значительным энергоинформационным пулом, т.е. соответственно имеют высокую энтропию и значительную эффективность воздействия на живой организм [5]. Данный эффект реализован в аппарате АМИС-8 для программируемого воздействия на садовые растения магнитными импульсами с затухающими высокочастотными колебаниями в инфранизкочастотном диапазоне. Это дает возможность, используя сканирование по частоте таких модифицированных импульсов магнитной индукции, выявлять активные частоты воздействия и применять их в целевых программах обработки растений для получения наибольшего положительного эффекта в отношении стимуляции обменных процессов и адаптации к внешним факторам среды у растений различных культур.



Рисунок 1 – Общий вид комплекта стимулятора АМИС-8: 1 – блок электронный; 2 – индуктор ПСИ-1; 3 – ноутбук; 4 – мышь; 5 – излучатель света

Основой работы аппарата АМИС-8 с использованием информационных технологий является цифровое управление на базе созданного с помощью ПК командного файла в реальном времени или с использованием предварительно подготовленного на ПК командного файла управления частотным сканированием в диапазоне от 0,10-150,0 Гц импульсов магнитной индукции как немодулированных, так и модулированных затухающими колебаниями в необходимом временном интервале экспозиции.

Передача команд с файла производится либо непосредственно с ПК, либо от любого цифрового МП-3 аудиоплеера с перенесенным в него с ПК командным файлом МИО садового растения определенной культуры.

Принцип работы АМИС-8 основан на поочередном преобразовании электрической энергии двух накопительных конденсаторов С1 и С2 в воздействующие факторы – периодическую последовательность как модулированных, так и немодулированных одно- или разнополярных импульсов магнитной индукции с возможным дополнительным синхронным воздействием импульсами светового излучения определенных длин волн оптического диапазона.

Техническая характеристика аппарата АМИС-8

Тип	- переносной.
Частотный диапазон сканирования модулированных и немодулированных как однонаправленных, так и разнонаправленных импульсов магнитной индукции, Гц	- 0,10...150,00.
Время нарастания импульсов магнитной индукции, мс	- не более 0,2.
Время спада импульсов магнитной индукции, мс	- не более 3,0.
Длительность импульсов магнитной индукции на уровне 0,5 от максимального значения амплитуды, мс	- не более 1,5
Амплитудное значение импульсов магнитной индукции на частоте 20 Гц и расстоянии от поверхности индуктора ПСИ-1 (10...400 мм) вдоль его центральной оси:	
без источника световых импульсов, мТл	- (11,0...0,25);
с источником световых импульсов, мТл	- (9,0...0,20).
Диапазон временного интервала экспозиции встроенного таймера, с	- 10-1800.
Рабочая площадь индуктора ПСИ-1, см ² -	1800.
Источник питания	- 220 В, 50 Гц.
Количество обслуживающего персонала, чел.	- 1.
Максимальная потребляемая мощность, В•А	- 100.

Перед началом МИО выбирается командный файл с заданными параметрами: формой, частотой, количеством импульсов, их направленностью и характером изменения частоты в зависимости от сорта культуры. Аппарат АМИС-8 в комплекте с задатчиком сигнала приводится в рабочее состояние в режиме ожидания. Параметры обработки определяют использование дополнительного светового источника облучения.

На поверхности индуктора ПСИ-1 (рис. 2) располагают необходимое количество обрабатываемого материала. Затем на панели прибора оператор включает рабочий режим.

Как известно, обязательным условием получения здоровых саженцев и предотвращения потерь урожая от вирусных болезней является использование свободных от вредоносных вирусов подвоев и привоев.

Оздоровление от вирусов традиционно осуществляют путем термотерапии, хемотерапии и культуры меристем. Однако термостабильные вирусы не удается уничтожить термообработкой. Хемотерапия – эффективный способ оздоровления растений от многих вирусов, но некоторые противовирусные препараты опасны для здоровья людей, другие – малоэффективны или фитотоксичны, поэтому как перспективный метод оздоровления растений от вирусной инфекции можно рассматривать магнитотерапию *in vitro* с использованием аппарата АМИС-8.

Применение низкочастотных импульсных магнитных полей вызывает появление индукционных токов внутри как растений, так и находящихся в тканях растений микроорганизмов, что может оказывать на них как положительное, так и отрицательное воздействие, связанное с влиянием на поляризационные процессы и



Рисунок 2 – Проведение опыта по магнитотерапии подвоев груши *in vitro* от вирусов аппаратом АМИС-8 с использованием индуктора ПСИ-1

концентрацию отрицательно заряженных ионов. Биологический эффект при этом существенно зависит от экспозиции, амплитуды, частоты и формы магнитных импульсов, а также от культуры и сорта растений. Поэтому возникает необходимость проведения систематизированных исследований хотя бы на одном сорте культуры растений [6].

Проверка новых возможностей аппарата АМИС-8 в оценке эффективности оздоровления от вредоносных вирусов с применением магнитотерапии *in vitro* проводилась на культуре груши *in vitro*.

Проведенные нами в 2016 г. совместно с ФГНУ «Росинформагротех» приемочные испытания аппарата АМИС-8 (протокол № 15-1-16 от 30 сентября 2016 г.) показали, что эффективность оздоровления груши *in vitro* от вирусов зависела от режима МИО. Применение МИО с непрерывным линейным нарастанием частоты в диапазоне 50-100 Гц обеспечивало на подвое груши Березолистная наибольший выход здоровых растений от комплекса вирусов – 75 % .

Учет параметров вегетативного развития эксплантов подвоя груши показал, что применение МИО в интервале 50-100 Гц обеспечило увеличение числа и длины побегов на 23 % и 36 % по сравнению с контролем (без обработки). МИО в указанном диапазоне снижало гибель эксплантов после 2-ой пересадки на питательную среду в 2,6 раза по сравнению с контролем.

Заключение

Высокая технологичность аппарата АМИС-8 заключается в его широких технических возможностях регулировки различных параметров воздействия. Он позволяет с помощью ПК подобрать индивидуальные режимы, необходимые для эффективной МИО различных садовых культур. Использование сочетанного воздействия магнитных и световых импульсов обеспечивает получение новых знаний в области изучения ростовых процессов у растений за счет суммирования физико-химических процессов и биологических реакций.

Конкурентным преимуществом предлагаемого метода магнитотерапии аппаратом АМИС-8 перед классическими методами терапии растений, инфицированных вирусами, – хемотерапией и термотерапией – является отсутствие фитотоксичности, более низкая стоимость, универсальность, более высокий выход здоровых растений, автоматизация процесса обработки и экологическая безопасность.

Внедрение технологического приема МИО при оздоровлении растений позволяет получать сертифицированный посадочный материал с годовым экономическим эффектом в размере 970,6 тыс. руб., что свидетельствует о целесообразности использования МИО аппаратом АМИС-8 как в больших, так и в средних по объёму производства хозяйствах.

Литература

1. Упадышев М.Т., Донецких В.И., Бешнов Г.В., Упадышева Г.Ю. Использование магнитно-импульсной обработки при размножении садовых культур // Доклады РАСХН.– 2005.– № 3.–С.40-44.
2. Упадышев М.Т., Донецких В.И. Новый способ оздоровления ягодных и плодовых культур от вирусов методом магнитотерапии // Доклады РАСХН.– 2008.– № 4.–С. 12-15.
3. Куликов И.М., Донецких В.И., Упадышев М.Т. Магнитно-импульсная обработка растений как перспективный приём в технологических процессах садоводства. «Садоводство и виноградарство», 2015, №4, С. 45-52.
4. Донецких В.И., Бычков В.В., Упадышев М.Т., Тихонова К.О., Селиванов В.Г. Устройство магнитно-импульсного воздействия на посадочный материал садовых растений с управлением от персонального компьютера // Техника и оборудование для села.– 2014.– № 8 (206).– С. 8-13.
5. Донецких В.И., Упадышев М.Т., Шевкун В.А. Об использовании воздействия модулированного импульсного магнитного поля на растения. Плодоводство и ягодоводство России.-2016, т.46., С.93-96
6. Упадышев М.Т., Донецких В.И., Петрова А.Д., Метлицкая К.В. Магнитно-импульсная терапия при оздоровлении растений груши от вирусов *in vitro*. Тез.докл. Круглого стола «Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробiotехнологиях» 21.09.2016 г., Москва-Обнинск, 2016., С. 57-58.

ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛЕЙ СКОРОСТИ В ПОТОКАХ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ТРАССЕРОВ

Душин Н.С., к.т.н., научный сотрудник ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://iept.knc.ru/>, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, тел. (843) 212-55-79, ndushin@bk.ru

Михеев Н.И., д.т.н., руководитель ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://iept.knc.ru/>, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, тел. (843) 212-55-79, n.miheev@mail.ru

Саушин И.И., к.т.н., научный сотрудник ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://iept.knc.ru/>, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, тел. (843) 212-55-79, ilyasaushin@mail.ru

OPTICAL SYSTEM MEASURING VELOCITY FIELDS IN FLOWS WITH HIGH-DENSITY OF TRACER PARTICLES

Dushin N.S., Mikheev N.I., Saushin I.I.

Annotation

An optical system for measurements of velocity fields has been submitted. The proposed system exhibits better spatial and temporal resolution if compared to the similar ones. The system is based on high-speed recording of flow visualization with high concentration of tracer particles. The paper describes the fundamentals of the measurement method and experimentally proven capabilities of the system including the resolved characteristics of small-scale turbulence in different types of flows.

Keywords

Turbulence, optical measurement, smoke visualization, spatial resolution, dissipation, higher-order correlation, mass transfer, energy transport.

Аннотация

Представлен оптический комплекс для измерений полей скорости, имеющий лучшее пространственное и временное разрешение по сравнению с аналогами. Его работа основана на скоростной видеосъемке визуализации течений с высокой концентрацией трассеров. Изложены основные принципы метода измерений и приведены экспериментально подтвержденные возможности комплекса, в том числе при измерении характеристик мелкомасштабной турбулентности в различных типах течений.

Ключевые слова

Турбулентность, оптические измерения, дымовая визуализация, пространственное разрешение, диссипация, корреляции высокого порядка, массообмен, перенос энергии.

В настоящее время наибольшее распространение среди оптических методов измерения полей скорости потока получил метод ParticleImageVelocimetry (PIV) [1-3]. В стандартном методе PIV скорость потока оценивается по смещению засеянных в поток групп частиц-трассеров за промежутки времени между двумя последовательными кадрами. Ввиду малой межкадровой задержки и слабой отражающей способности отдельных частиц для подсветки потока обычно используют мощные твердотельные сдвоенные импульсные лазеры. Одним из существенных недостатков такого подхода является значительное время накачки ламп лазеров. Поэтому метод PIV хорошо зарекомендовал себя при изучении стационарных течений. Другой важный недостаток метода PIV – ограниченное пространственное разрешение. Оно связано с требованиями к максимальной плотности засева потока частицами [4]. Уменьшение масштаба измерения в методе PIV меньше допустимого затрудняет поиск максимума корреляционной функции и приводит к резкому увеличению доли случайных ошибок измерения. По этой причине метод PIV не позволяет надежно выполнять измерения членов уравнения баланса энергии турбулентности, рассчитываемых на основе пространственных производных пульсаций скорости, а также трейных и более высокого порядка корреляций пульсаций скорости потока.

Для оценки характеристик мелкомасштабной турбулентности требуются измерения на масштабах, соизмеримых с колмогоровским, при низком уровне шумов. Недавно были предложены подходы PTV с VIC+ [5], Shake-The-Box [6] и авторский метод SmokeImageVelocimetry [7], которые позволили кардинально увеличить пространственное разрешение, по сравнению с методом PIV. Подход Shake-The-Box является Лагранжевым методом отслеживания частиц (LPT), основанным на итерационной реконструкции частиц [8], которая позволяет реконструировать трехмерную траекторию частиц при их плотном (как в PIV) засеве. Для надежного отслеживания движения отдельных частиц этот метод требует набора значительной статистики, так как его точность сильно зависит от результатов фильтрации частиц-призраков, движение которых не согласуется с движением потока в течении длительного времени наблюдения [9]. Следовательно, этот метод трудно применить для нестационарных течений. Метод VIC+ в качестве исходных данных использует результаты PIV-измерений скорости частиц, а в случае подхода PTV – ускорения. Как следствие, точность VIC+ сильно зависит от качества исходных данных. В методе SmokeImageVelocimetry (SIV), в отличие от PIV, Shake-The-Box и PTV с VIC+, реализован принципиально иной подход к улучшению пространственного и временного разрешения, заключающийся в использовании значительно большей концентрации трассеров. Именно этот подход составляет основу предлагаемого измерительного комплекса. Вследствие высокой концентрации, трассеры на изображении регистрируются не в виде отдельных частиц, а в виде поля с непрерывным распределением яркости на изображении. Благодаря лучшей отражающей

способности такого потока удастся получить хорошее пространственное и временное разрешение при использовании светового ножа от непрерывного лазера сравнительно малой мощности (порядка 5 мВт) при высокой частоте видеосъемки.

Для засева трассерами газовых потоков можно использовать серийные генераторы дыма (генераторы аэрозоля), обеспечивающие диаметр частиц порядка 1 мкм и плотность дыма, близкую к плотности воздуха. Частицы с такими параметрами обеспечивают надежное слежение за пульсациями скорости турбулентного потока частотой до 10 кГц. При увеличении диаметра частиц их инерционность увеличивается, и отслеживаемая частота пульсаций скорости снижается. Увеличение диаметра частиц может происходить вследствие их коагуляции, динамика которой, главным образом, зависит от начальной концентрации. Согласно [10] максимальная начальная равновесная концентрация частиц, $n_0 \approx 10^5 \text{ см}^{-3}$. По данным [11] время, в течение которого число частиц за счет коагуляции уменьшится вдвое, что эквивалентно увеличению среднего диаметра частиц в $\sqrt[3]{2}$ раз, при $n_0 \approx 10^5 \text{ см}^{-3}$ составляет 5,5 ч. Однако время от генерации дыма до измерений его перемещения обычно на несколько порядков меньше. Таким образом, коагуляция частиц можно пренебречь и считать, что используемые частицы практически не укрупняются в процессе движения и перемещаются по линиям тока. При засеве потоков жидкости используются аналогичные подходы, только в качестве трассеров применяются частицы полиамида диаметром 20 мкм.

Таким образом, комплекс для измерений полей скорости в потоках с высокой концентрацией трассеров должен включать: скоростную видеокамеру, непрерывный лазер с насадкой формирующей световой нож, генератор дыма и компьютер со специализированным программным обеспечением, реализующим необходимый цикл подготовки видео к обработке, алгоритмы метода SIV и постобработки мгновенных полей скорости. Очевидно, что уникальной составляющей комплекса является программное обеспечение.

Центральным вопросом при реализации кодов программного обеспечения являлся алгоритм определения динамики векторного поля скорости по результатам дымовой визуализации, а именно измерения смещений фрагментов изображений на парах кадров. Вместо традиционного для PIV поиска максимума кросскорреляционной функции при оценке смещений с точностью до пикселя мы использовали алгоритм определения сходства между фрагментами [7], основанный на минимизации абсолютных разностей (Sum of Absolute Differences - SAD). Достоинствами этого алгоритма оказались низкий уровень ошибок при высоком пространственном разрешении, устойчивость к большим смещениям фрагментов изображений, высокое временное разрешение, сопоставимое с термоанемометрами постоянной температуры. Для ускорения процесса получения результатов измерений, вычисления выполняются на заданной пользователем сетке с ограничением области поиска.

Полученные целочисленные смещения с точностью до пикселя указывают на положение наиболее вероятного смещения фрагмента изображения. Далее положение минимума уточняется, для чего используются значения функционала абсолютных разностей в девяти точках в окрестности точки целочисленного приближения минимума, расположенных по схеме 3×3 точки с отклонением от центра ± 1 пиксель по координатам (x,y). По этим значениям функции в девяти точках функционал $\Phi(\Delta x, \Delta y)$ аппроксимируется поверхностью второго порядка. Как показали наши исследования, функционал имеет острый минимум, а форма поверхности $\Phi(\Delta x, \Delta y)$ в области минимума близка к конической, т.е. поверхности второго порядка. Дальнейший поиск минимума осуществляется с использованием полученных коэффициентов аппроксимации функционала поверхностью второго порядка.

После вычисления смещений фрагментов во всех узлах сетки, для каждой пары последовательных кадров рассчитывается векторное поле скорости. В каждой точке расчетной сетки оцениваются две компоненты вектора скорости по осям x и y, усредненные за промежуток времени, равный межкадровой задержке. При допущении о малости для масштабов задачи межкадровой задержки полученные значения скорости можно считать мгновенными и получить для каждого узла сетки осциллограммы компонент скорости. Анализ энергетических спектров, рассчитанных на основе осциллограмм скорости для различных типов течений, показал, что уровень шумов в результатах измерений составляет $10^{-4} - 10^{-5}$ м и начинает оказывать влияние на частотах свыше 1,5 – 2 кГц. Однако хорошее пространственное разрешение метода SIV позволяет отфильтровывать высокочастотный шум и получать данные, пригодные, в том числе, для оценки характеристик мелкомасштабной турбулентности. Конечно, удаление из сигнала высоких частот может приводить к недооценке диссипации энергии турбулентности в окрестности ее максимума, но достигнутая частота достоверно измеряемых данных на сегодняшнем этапе развития оптических методов измерений является хорошим показателем. Для сравнения можно привести работы [12-14], в которых при измерениях методом PIV спектры заметно искажались также при частотах порядка 1 - 2 кГц.

Таким образом, реализованный комплекс позволяет измерять широкий ряд характеристик течений и представлять их в виде профилей или пространственных полей. К числу наиболее востребованных характеристик, возможных для измерения, можно отнести: мгновенные поля скорости, осциллограммы компонент скорости, пульсации компонент скорости и их корреляции второго и третьего порядков, поля завихренности и пульсаций завихренности, генерацию, конвекцию и диссипацию энергии турбулентности, амплитудные и энергетические спектры. Примеры измерения перечисленных характеристик и их сопоставление с представленными в литературе данными, полученными другими методами, в том числе прямым численным моделированием, отражены в работах [7, 15-17]. Из полученных в этих работах результатов можно отметить хорошее согласование с литературными данными характеристик мелкомасштабной турбулентности, возможность измерений в вязком подслое, высокое пространственное и временное разрешение метода, позволяющее проводить измерения в быстроизменяющихся и нестационарных течениях.

Конечно, как и в любом другом методе измерений, не все оценки векторов скорости потока являются достоверными. Одной из причин этого может быть недостаточная степень индивидуальности исходных фрагментов, по которой их можно было бы распознать на следующем кадре. Для лучшего распознавания, распределение яркости пикселей в исходном фрагменте должно быть неоднородным и исходный фрагмент за промежуток времени между двумя кадрами не должен претерпевать значительных изменений. Степень неоднородности распределения яркости пикселей в методе SIV характеризуется величиной среднеквадратического отклонения яркости в пределах исходного фрагмента [7]. Как

показали выполненные эксперименты, фрагмент изображения можно считать в достаточной степени неоднородным, если среднеквадратическое отклонение яркости больше четырех. Что касается степени изменения фрагмента за промежутки времени между двумя последовательными кадрами, то в турбулентных течениях это значение зависит от пройденного турбулентными структурами расстояния. При этом следует учитывать, что «время жизни» структур турбулентности увеличивается с ростом их масштаба. Отсюда, критерий степени изменения фрагментов можно определить как отношение величины смещения фрагмента к его характерному размеру (интегральному масштабу турбулентности). Согласно экспериментальным оценкам, допустимое смещение фрагментов изображений может достигать расстояния, равного их характерному размеру. В то же время, при уменьшении смещения фрагментов, доля ошибочных векторов снижается и с практической точки зрения мы рекомендуем, чтобы максимальная величина смещения фрагментов имела порядок 1/3 от характерного размера фрагмента.

Выводы

Применение в представленном комплексе для измерений полей скорости высокой концентрации трассеров позволило существенно улучшить отражающую способность потока и при использовании сравнительно дешевого оборудования получить высокое пространственное и временное разрешение. Высокая концентрация частиц не приводит к увеличению их диаметра и инерционности. При высокой концентрации трассеров на кадрах визуализации часто видны не отдельные трассеры, а непрерывные распределения яркости пикселей. Для анализа пар кадров был применен отличный от широко используемого кросскорреляционного метода алгоритм. Смещения фрагментов изображений, в представленном комплексе определяются методом SAD. Подпиксельная интерполяция выполняется по координатам минимума поверхности второго порядка, аппроксимирующей форму поверхности функционала в окрестности его целочисленного минимума. Использованный подход позволил выполнять измерения с низким уровнем шума до частот пульсаций скорости порядка 2 кГц, а высокое временное разрешение (съемка исследуемых процессов с частотой до 25 кГц) дает возможность отфильтровывать высокочастотный шум из полезного сигнала. Для представленного комплекса экспериментально подтверждена возможность точного измерения мгновенных полей скорости, осциллограмм компонент скорости, пульсаций компонент скорости и их корреляций второго и третьего порядков, полей завихренности и пульсаций завихренности, генерации, конвекции и диссипации энергии турбулентности, амплитудных и энергетических спектров.

Список литературы

1. Westerweel J., Elsinga G., Adrian R. Particle Image Velocimetry for Complex and Turbulent Flows // *Annual Review of Fluid Mechanics*. 2013. Vol. 45. P. 409.
2. Raffel M., Willert C., Kompenhans J. Particle Image Velocimetry. A Practical Guide // Springer. Germany. 1998. 448 p.
3. Алексеенко С.В., Бильский А.В., Маркович Д.М. Применение метода цифровой трассерной визуализации для анализа турбулентных потоков с периодической составляющей // *Приборы и техника эксперимента*. 2004. №5. С. 145-153.
4. Tokgoz S., Elsinga G., Delfos R., Westerweel J. Spatial resolution and dissipation rate estimation in Taylor–Couette flow for tomographic PIV // *Exp Fluids*, 2012, 53(3):561–583.
5. Schneiders Jan F.G., Scarano F., Elsinga G. Resolving vorticity and dissipation in a turbulent boundary layer by tomographic PTV and VIC // *Exp. Fluids*, 2017, 58:27.
6. Schanz D., Gesemann S., Schröder A. Shake-The-Box: Lagrangian particle tracking at high particle image densities // *Exp. Fluids*, 2016, 57:70.
7. N. I. Mikheev and N. S. Dushin. A Method for Measuring the Dynamics of Velocity Vector Fields in a Turbulent Flow Using Smoke Image-Visualization Vide // *Instruments and Experimental Techniques*, 2016, Vol. 59, No. 6, pp. 880–887.
8. Wieneke B. Iterative reconstruction of volumetric particle distribution // *Meas Sci Technol*, 2013, 24:024008.
9. Elsinga G. E., Westerweel J., Scarano F., Novara M. On the velocity of ghost particles and the bias errors in Tomographic-PIV // *Exp. Fluids*, 2011, 50(4), 825-838.
10. Report. Assessment of Toxicity of Smoke Produced from ZR Fog Liquid // Trident Consultants Limited. J2962. 1997. 15 p.
11. Green H., Lane W. Particulate Clouds: Dusts, Smokes and Mists // Spon Ltd. London. 1964. 471 p.
12. Neal D.R., Sciacchitano A., Smith B.L., Scarano F. Collaborative framework for PIV uncertainty quantification: the experimental database // *Meas. Sci. Technol.*, 2015, (26) 074003, 17pp.
13. Coletti F., Cresci I., Arts T. Spatio-temporal analysis of the turbulent flow in a ribbed channel // *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 2013, 44, 181-196.
14. Atkinson C., Kitsios V., Soria J. The Temporal Coherence of Prograde and Retrograde Spanwise Vortices in Zero-Pressure Gradient Turbulent Boundary Layers, in: M. Stanislas, J. Jimenez, I. Marusic (Eds.) // *Progress in Wall Turbulence 2: Understanding and Modeling ERCOFTAC Series*, 2016, Vol. 23:147-157, Springer Verlag.
15. Mikheev N.I., Goltsman A.E., Saushin I.I., Dushina O.A. Estimation of turbulent energy dissipation in the boundary layer using Smoke Image Velocimetry // *Exp. Fluids*, 2017, 58:97.
16. Mikheev N.I., Dushin N.S., Saushin I.I. Capabilities of optical SIV technique in measurements of flow velocity vector field dynamics // *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 891, conference 1. Article 012094
17. Dushin N.S., Mikheev N.I., Dushina O.A., Zaripov D.I., Aslaev A.K. Validation of SIV measurements of turbulent characteristics in the separation region // *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 891, conference 1. Article 012091.

ПРОСТОЙ ДАТЧИК МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ*Завалишин В.А., к.ф.-м.н., в.н.с.**ИФМ УрО РАН, www.imp.uro.ran**620108 г. Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, д.18. тел.8(343)378-38-68, zavali@imp.uran.ru***SIMPLE MICRO-DISPLACEMENT SENSOR***Zavalishin V.A.***Annotation**

The design and obtained characteristics are described.

Keywords

Without hysteresis, without friction, Hall Converter.

Аннотация

Описана конструкция и полученные характеристики.

Ключевые слова

Без гистерезиса, без трения, преобразователь Холла.

Во многих физических измерениях требуется регистрация микроперемещений. Например, при измерении теплового расширения, пьезоэлектрической или магнитострикционной деформации. При регистрации малых перемещений очень важна безгистерезисность датчика и отсутствие в нем сил трения, а так же минимальное или контролируемое воздействие на измеряемый объект (иначе в измерения вносятся искажения). Существует много типов датчиков микроперемещения, из которых наиболее часто применяют LVDT-датчики (линейный дифференциальный трансформатор). Стоимость такого датчика (например, английский DG/2.5 с диапазоном +/- 2.5мм), порядка 500 евро, в то же время для измерения на малых объектах он непригоден из-за большого усилия возвратной пружины и присутствия силы трения.

В нашей лаборатории более 10 лет назад сконструирован и используется в измерениях самодельный безгистерезисный датчик перемещения на основе преобразователя Холла. Конструкция показана на рисунке 1, характеристики на рисунках 2, 3. На рисунке 4 приведено измерение этим датчиком магнитострикции в продольном магнитном поле никелевой проволоочки диаметром 0.15мм. Там же показан и дрейф температуры, который важно учитывать в таких измерениях (скачки температуры из-за разрешения измерительного прибора).

Параметры сконструированного датчика:

1. Коэффициент преобразования перемещения в напряжение ~ 40 В/м (при $I_x=90$ мА)
2. Диапазон перемещений до ± 1 мм
3. Жесткость ~ 10 грамм-силы/мм
4. Масса ~ 20 грамм

Из достоинств, кроме дешевизны (преобразователь Холла, использованный в конструкции, стоит около 500руб, см. прайс-лист), можно отметить:

1) Легкость. 2) Простота настройки начального усилия на объект путем измерения сигнала до подсоединения объекта и после подсоединения, и (зная жесткость датчика), подстройке разности к нужному значению путем сдвига кварцевой трубки 14 дилатометра относительно трубки 8 корпуса датчика в момент размягчения нагретым паяльником пицеиновой склейки 9. 3) простота настройки начального сигнала без изменения нагрузки на объект путем сдвига магнитной системы относительно корпуса датчика (не приклеена, а хорошо держится на трении от взаимного притяжения частей).

Заметим, что 1) для улучшения точности измерения проводят при прямом и обратном направлении тока через преобразователь Холла, после чего вычисляют разность показаний. Полезный сигнал при этом удваивается, а сигнал от паразитной термо-ЭДС вычитается, 2) при измерениях вблизи магнита (рис.4) датчик необходимо экранировать (поместить в отрезок железной трубы), чтобы поле магнита не влияло на показания.

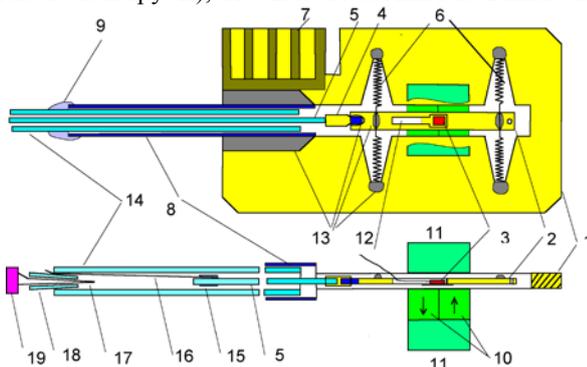


Рисунок 1 – Конструкция дилатометра и датчика перемещения

1 – корпус датчика (двухсторонний фольгированный текстолит $2 \times 30 \times 55 \text{ мм}^3$); 2 – подвижная планка (двухсторонний фольгированный текстолит $1 \times 3 \times 25 \text{ мм}^3$), подвешенная на пружинах ($d=0.2 \text{ мм}$) из латунной проволоки 6; 3 – преобразователь Холла (наклеен на медную фольгу внутри прорези подвижной планки); 4 – латунная соединительная муфта (носик пишущего узла от шариковой ручки), навинчиваемая на шпильку, припаянную к подвижной планке 2; 5 – кварцевый стержень-нить (конусное утолщение на левом конце вместе с надетым колечком из немагнитной нержавеющей стали 15 образуют подвижный захват для натяжения ленточных или проволочных образцов, а правый конец кварцевого стержня (в виде нити для усилия растяжения, а для передачи сжатия в виде тонкой кварцевой трубки) вклеен (наклеена на) в соединительную муфту 4); 7 – фольгированные контактные дорожки разъема подключения преобразователя Холла; 8 – трубка из немагнитной нержавеющей стали (правый конец припаян к корпусу датчика, а левый служит для крепления кварцевой трубки 14 с помощью пищевой (термо-размягчаемой) склейки 9); 10 – брусочки самарий-кобальтовых магнитов (стрелками показано направление намагниченности); 11 – брусочки отожженного армо-железа; 12 – провода преобразователя Холла в прорези подвижной планки через небольшую петлю припаяны к контактным дорожкам разъема 7; 13 – пайка; 14 – кварцевая трубка (вместе с конусной кварцевой втулкой 18 образует неподвижный захват натяжения образцов); 15 – колечко из немагнитной нержавеющей стали, служащее частью захвата, 16 – образец в виде ленточки или проволоки; 17 – кончик термопары; 19 – керамический чехол термопары.

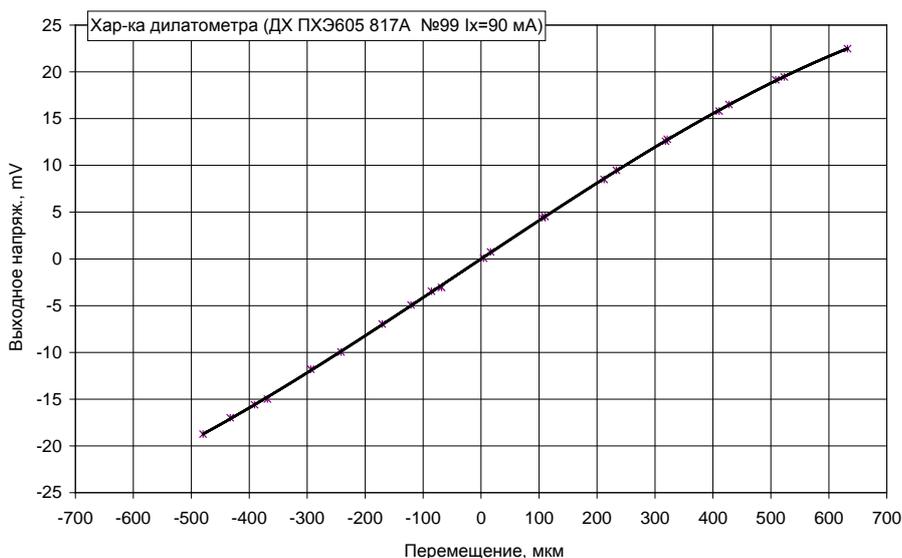


Рисунок 2 – Выходное напряжение датчика в зависимости от перемещения

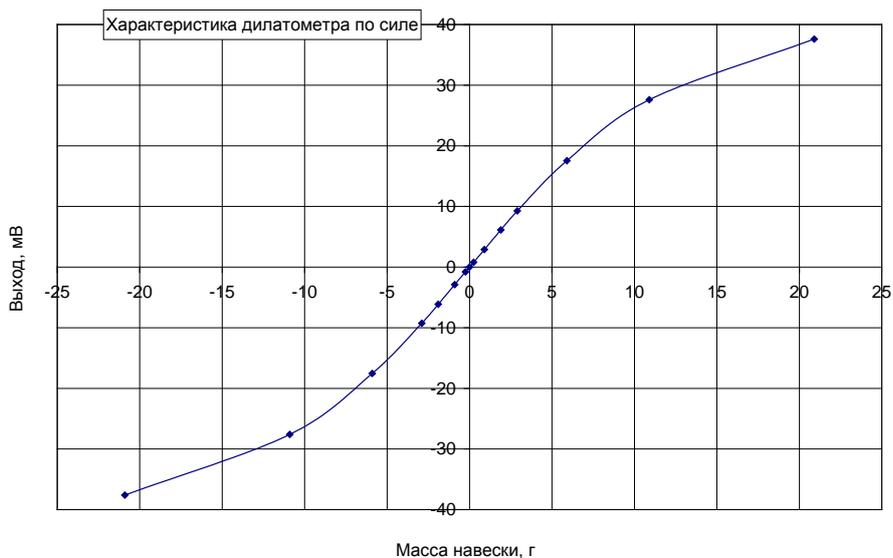


Рисунок 3 – Выходное напряжение датчика в зависимости от усилия

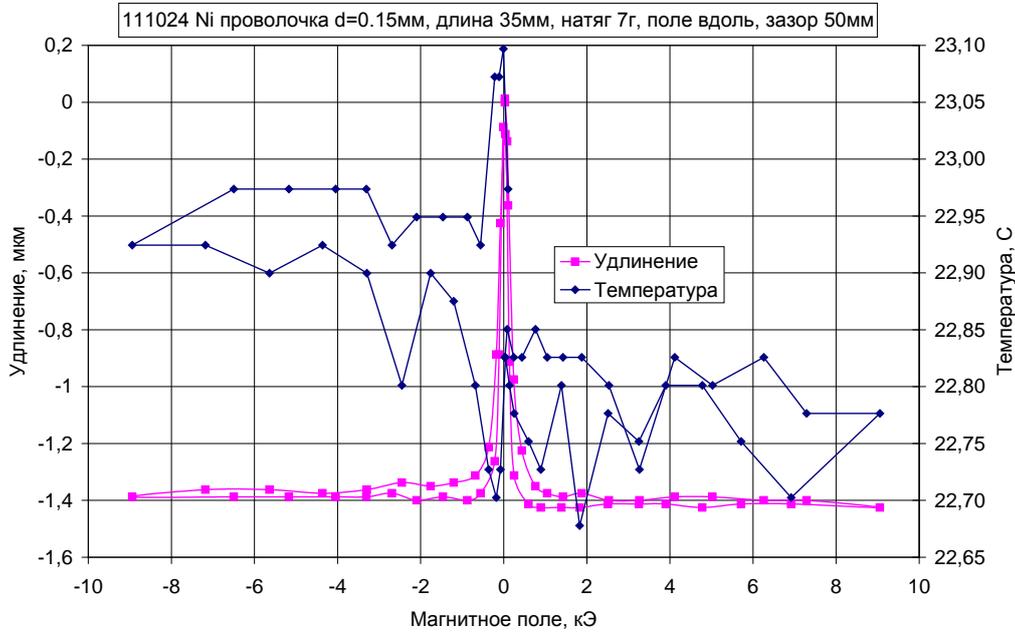


Рисунок 4 – Магнитострикция никелевой проволочки в продольном магнитном поле.

Приложение. Преобразователи Холла, выпускаемые предприятием ООО «Вега-Флекс», г. С.Петербург

ООО "Вега - Флекс"

Директор: В.А. Константинов, тел. (812) 325-02-62
 Главный конструктор: Л.В. Румянцева, тел. +7-931-360-27-21
 E-mail: info@sensorgpb.ru
[sensorgpb@ya.ru](mailto:info@sensorgpb.ru)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ХОЛЛА (11.04.2016 г.)

№	Тип	Номинальный ток, мА	Рабочая температура, °С	Вход. вых. сопротивление, Ом	Габаритные размеры, мм	Размеры чувствит. зоны, мм	Остаточное напряжение, мВ	Максимальная чувствит. мВ/мТл	Темп.коэф. между-ступ., %/°С	Температур. стабильность, мВ/°С	Коэф. нелинейности, %	Область применения	Цена, руб. с НДС (18%)
1	НМ101А	80	-10+70	<10	11,5x10x0,9	0,4x0,12	<200	>300	<0,8	<5	-	В бесконтактных датчиках тока, напряжения, мощности	495,60
2	НМ101А1	80	-10+70	<10	9x10x0,9	0,4x0,12	<200	>300	<0,8	<5	-		495,60
3	ПХ361А	30	-60+100	<50	6x4x0,5	0,4x0,12	<300	>300	<0,03	<5	-		495,60
4	ПХ361Б	30	-60+100	<50	6x4x0,5	0,4x0,12	<200	>200	<0,03	<5	-		495,60
5	НМ102А1-1	100	-60+100	<15	2x2x0,6	0,8x0,25	<150	>500	<0,5	<5	<2		538,08
6	НМ102Б1-1	100	-60+100	<15	2x2x0,6	0,8x0,25	<75	>200	<0,2	<5	<1		538,08
7	НМ102А2-1	100	-60+100	<15	1,5x1,5x0,6	0,6x0,2	<200	>500	<0,5	<5	<2		538,08
8	НМ102Б2-1	100	-60+100	<15	1,5x1,5x0,6	0,6x0,2	<100	>200	<0,2	<5	<1		538,08
9	НМ103Б1-1	100	-60+100	<10	2x2x0,6	0,8x0,25	<10	>50	<0,005	<1	<0,3		538,08
10	НМ103Б3-1	100	-60+100	<10	1x1x0,6	0,4x0,12	<50	>50	<0,005	<1	<0,3		538,08
11	ПХ36013	50	-60+125	<30	0,5x1,5x0,6	0,2x0,06	<300	>30	<0,01	<1	<0,5		534,00
12	ПХ361А1	30	-60+100	<50	1,5x1,5x0,6	0,4x0,25	<200	>300	<0,03	<5	<5	В качестве первичных измерительных преобразователей в приборах для измерения магнитной индукции, в установках для измерения параметров магнитных материалов, в измерителях топографии поля магнитных систем, в приборах для измерения линейных и угловых перемещений	495,60
13	ПХ361Б1	30	-60+100	<50	1,5x1,5x0,6	0,4x0,25	<150	>200	<0,03	<5	<5		495,60
14	ПХ3602117А	100	-60+100	<15	3x3x0,6	2x0,5	<100	>500	<0,2	<5	<5		519,20
15	ПХ3602118А	100	-71,5+100	<10	3x3x0,6	2x0,5	<30	>75	<0,02	<2	<1		519,20
16	ПХ3602118Б	100	-71,5+100	<10	3x3x0,6	2x0,5	<20	>50	<0,01	<1	<0,5		519,20
17	ПХ3602118В	100	-71,5+100	<10	3x3x0,6	2x0,5	<10	>30	<0,005	<1	<0,3		519,20
18	ПХ3603118Б	100	-71,5+100	<15	2x3x0,6	0,1x0,05	<100	>80	<0,01	<2	<1		566,40
19	ПХ360317А	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<30	>100	<0,03	<2	<2		495,60
20	ПХ360317Б	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<20	>80	<0,02	<2	<1,5		495,60
21	ПХ360317В	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<10	>60	<0,01	<2	<1		495,60
22	ПХ3605118А	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<30	>75	<0,02	<1	<2		495,60
23	ПХ3605118Б	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<20	>50	<0,01	<1	<1,5		495,60
24	ПХ3605118В	100	-71,5+100	<10	2x2x0,6	1x0,25	<10	>30	<0,005	<1	<1		495,60
25	ПХ3606117А	100	-60+100	<15	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<200	>500	<0,2	<5	<5		566,40
26	ПХ3606117Б	100	-60+100	<15	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<50	>200	<0,05	<5	<2		566,40
27	ПХ3606817Б	100	-71,5+100	<10	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<30	>80	<0,02	<2	<1		566,40
28	ПХ3606817В	100	-71,5+100	<10	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<20	>60	<0,01	<2	<0,5		566,40
29	ПХ3606118А	100	-71,5+100	<10	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<30	>75	<0,02	<2	<2		566,40
30	ПХ3606118Б	100	-71,5+100	<10	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<30	>30	<0,01	<2	<1	В качестве первичных измерительных преобразователей в приборах для измерения магнитной индукции, в установках для измерения параметров магнитных материалов, в измерителях топографии поля магнитных систем, в приборах для измерения линейных и угловых перемещений	566,40
31	ПХ3606118В	100	-71,5+100	<10	2x1,5x0,6	0,5x0,15	<20	>30	<0,005	<2	<0,5		566,40
32	ПХ3607817А	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<100	>100	<0,03	<2	<2		590,00
33	ПХ3607817Б	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<75	>80	<0,02	<2	<1,5		590,00
34	ПХ3607817В	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<50	>60	<0,02	<2	<1		590,00
35	ПХ3607118А	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<100	>75	<0,02	<2	<2		590,00
36	ПХ3607118Б	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<75	>30	<0,01	<2	<1		590,00
37	ПХ3607118В	100	-71,5+100	<10	1x1x0,6	0,5x0,15	<30	>30	<0,005	<2	<0,5		590,00
38	ПХ3607118А1	100	-71,5+100	<15	1x1x0,6	0,1x0,05	<100	>100	<0,1	<2	<1		590,00
39	ПХ3607118Б1	100	-71,5+100	<15	1x1x0,6	0,1x0,05	<30	>30	<0,02	<2	<1		590,00
40	ПХ360718А20	100	-60+100	<50	20x1x0,6	0,4x0,25	<100	>30	<0,005	<2	<2	Измерение топографии магнитной индукции с инверсным I/mx	6254,00
41	ПХИЗ12-1	1-3	-10+125	<3000	3x3x1,0	-	-	>150ВкАТ	<0,1	<50	-	В системах автоматического управления и контроля режимов работы агрегатов и механизмов, в робототехнике	118,00
42	ПХИЗ13	1-3	-10+70	≤2000	1,5x3x1,2	-	-	>150ВкАТ	≤0,1	≤0,05	-		118,00
43	ПХИЗ11	1-3	-10+55	600-1200	3x3x1,7	-	-	>100ВкАТ	<0,1	<50	-		141,60

Тип материала: ПХИЗ12, ПХИЗ13 – nGaAs-iGaAs; остальные – nInSb-iGaAs. Позиции №№ 1-4, 42-44 в корпусе, №№ 5-40 – кристалл с проволочными выводами: токовые – 200 мкм, опта – 220 мкм.

СТРУКТУРОСКОПЫ И АНИЗОМЕТРЫ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Захаров В.А., д.т.н., главный научный сотрудник

Молин С.М., к.т.н., ведущий научный сотрудник

Леньков С.В., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник

Колясев В.А., младший научный сотрудник

ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, <http://udman.ru/>, 426067, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т.Барамзиной, д. 34, тел.(3412)508-200, факс(3412)507-959, e-mail: udnc@udman.ru (Физико-технический институт).

STRUCTUROSOPES AND ANISOMETRS ON PERMANENT MAGNETS

Zakharov V.A., Molin S.M., Len'kov S.V., Kolyasev V.A.

Annotation

The paper presents magnetic control devices operating in the "applied field" mode of permanent magnets. Advantages of structuroscopes and anisometers, operating according to this principle of action, are described in comparison with known devices - "adherent coercimeters". The dependence of the instrument readings on the orientation of the axis of sensitivity of the magnetic field converter relative to the field of permanent magnets is studied. The possibility of determining the structure and stress-strain state of products from ferromagnetic materials under conditions of local measurement of the material parameters (including during long-term monitoring of the state of the object), as well as for progressive and rotational scanning of the sensor over the surface of the article is shown.

Keywords

Ferromagnetic materials, magnetic control, structuroscopes, anisometers, permanent magnets.

Аннотация

В работе представлены приборы магнитного контроля, работающие в режиме «приложенного поля» постоянных магнитов. Описаны преимущества структуроскопов и анизометров, работающих по этому принципу действия, в сравнении с известными приборами – «приставными коэрцитиметрами». Исследована зависимость показаний аппаратуры от ориентации оси чувствительности преобразователя магнитного поля по отношению к полю постоянных магнитов. Показана возможность определения структуры и напряженно-деформированного состояния изделий из ферромагнитных материалов в условиях локального измерения параметров материала (в том числе при длительном мониторинге состояния объекта), а также при поступательном и вращательном сканировании датчика по поверхности изделия.

Ключевые слова

Ферромагнитные материалы, магнитный контроль, структуроскопы, анизометры, постоянные магниты.

Введение

В настоящее время для контроля структуры и напряженно-деформированного состояния (НДС) изделий из ферромагнитных материалов широко применяются магнитные структуроскопы – коэрцитиметры с приставным магнитным устройством (т.н. «приставные коэрцитиметры») [1]. Они обладают существенными недостатками, а именно: большое энергопотребление из-за больших токов намагничивания; ограниченное быстродействие (цикл измерений около 5-10 сек); невозможность построения непрерывной картины распределения измеряемого параметра (коэрцитивной силы H_c) по изделиям с развитой поверхностью и протяженным объектам; неудобство крепления датчика на объекте в случае длительного мониторинга его состояния.

В данной работе описаны устройства, в которых приведенные недостатки известного структуроскопа удается исключить благодаря переходу на условия измерения параметров магнитного поля изделия, соответствующие начальной кривой намагничивания материала (режим «приложенного поля»). В этом случае не требуется больших магнитных полей для намагничивания изделия, поэтому возможно применение простого двухполюсного намагничивающего устройства на постоянных магнитах без магнитопровода.

Датчик структуроскопа

Наиболее простым из приборов, реализующих этот способ, является датчик структуроскопа, описанный в [2] (Рисунок 1). Преобразователь магнитного поля (ПМП), например, преобразователь Холла, устанавливается между полюсами магнитов на определенном расстоянии от плоскости полюсов. Такая конструкция позволяет не только максимально упростить датчик структуроскопа, но и благодаря специфическому распределению магнитного поля в межполюсном пространстве намагничивающего устройства обеспечить отстройку в некоторых пределах показаний прибора от влияния непостоянства зазора между рабочей поверхностью датчика и контролируемым изделием.

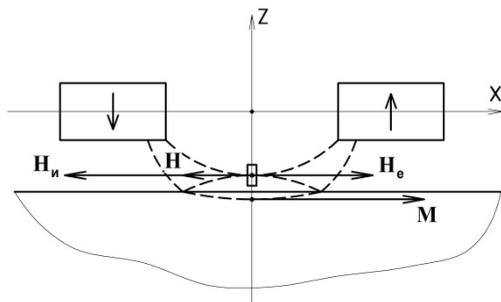


Рисунок 1 – Датчик структуроскопа

Напряженность поля \mathbf{H} в нейтральной плоскости устройства над поверхностью изделия (в месте расположения ПМП) равна сумме векторов напряженности поля магнитов (внешнего магнитного поля) \mathbf{H}_e и изделия \mathbf{H}_i : $\mathbf{H} = \mathbf{H}_i + \mathbf{H}_e$; показания ПМП как модули векторов, соответственно, равны $H = H_i - H_e$. Поскольку магнитное поле изделия практически не влияет на величину и ориентацию намагниченности магнитов, то показания датчика H определяются, прежде всего, величиной этого параметра.

При измерениях на образцах с различными коэрцитивными силами H_c параметр H однозначно зависит от H_c , благодаря чему рассмотренный структуроскоп может быть применен в тех случаях, когда H_c надежно коррелирует с контролируемым параметром, например, с твердостью изделия. В то же время, при повороте датчика вокруг оси Z или перемещении его по поверхности контролируемого изделия можно получать непрерывные зависимости показаний прибора от угла поворота или местоположения датчика при заданных направлениях намагничивания. Датчики удобны в эксплуатации, поскольку не требуют удержания и специального закрепления их на поверхности объекта (фиксация обеспечивается за счет силы притяжения постоянных магнитов).

Датчик анизометра

При вращении намагничивающего узла датчика по рисунку 1 вокруг оси Z , например, против часовой стрелки, благодаря наличию вращательного гистерезиса ферромагнитного материала происходит отставание вектора его намагниченности \mathbf{M} от напряженности внешнего магнитного поля \mathbf{H}_e (Рисунок 2). В результате появляются две составляющие вектора \mathbf{M} : M_x и M_y . При установке оси чувствительности ПМП перпендикулярно магнитному полю магнитов показания прибора пропорциональны составляющей M_y , т.е. устройство становится анизометром.

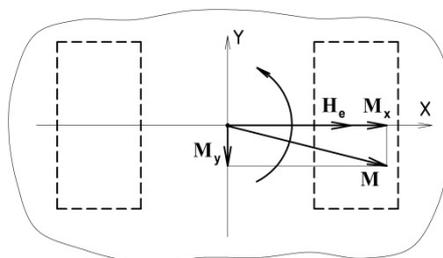


Рисунок 2 – Датчик анизометра на постоянных магнитах

В [3] нами показано, что данное устройство позволяет определять не только структуру материала, но и НДС ферромагнитных изделий, включая определение приложенных механических напряжений (деформаций). При этом сохраняются отмеченные ранее преимущества структуроскопа на постоянных магнитах, такие как простота конструкции и удобство закрепления датчика на объекте. Кроме того, существенно снижается уровень измеряемой напряженности магнитного поля, за счет чего исключаются промежуточные преобразования полезного сигнала ПМП. Это, в свою очередь, повышает достоверность контроля и упрощает измерительную аппаратуру.

Заключение

Использование предлагаемых датчиков структуроскопов и анизометров на базе постоянных магнитов позволяет существенно упростить аппаратуру и повысить достоверность контроля, расширить возможности диагностики различных изделий и объектов из ферромагнитных материалов.

Список литературы

17. Горкунов Э.С. Коэрцитиметры с приставными магнитными устройствами (обзор) / Захаров В.А. // Дефектоскопия – 1995. - №8. С. 69-88.
18. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В. // Патент РФ на полезную модель № 166304, 20.11.2016.
19. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. // Патент РФ на полезную модель № 173646, 04.09.2017.

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Кади́ров М.К., д.х.н., с.н.с., Будникова Ю.Г., Карасик А.А., Синяшин О.Г.
 ИОФХ им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, iorc.ru, 422008, г. Казань, ул. Ак. Арбузова, д.8,
 kataka59@gmail.com

NEW ELECTROCHEMICAL RESEARCH DEVICES FOR PHYSICAL CHEMISTRY AND ALTERNATIVE ENERGY

Kadirov M.K., Budnikova Yu.G., Karasik A.A., Sinyashin O.G.

Annotation

Results of the Institute for the Study and Development of Non-Platinum Catalysts for Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) are presented. The design and description of a miniature fuel cell for registration of short-lived paramagnetic intermediates by electron-paramagnetic resonance during the operation of the PEMFC and a half-cell FC for studying the activity and stability of non-platinum catalysts in a membrane-electrode assembly are given.

Keywords

Fuel cell, membrane-electrode assembly, free radical, non-platinum catalyst, catalyst activity, catalyst stability.

Аннотация

Приведены результаты Института по исследованию и разработке неплатиновых катализаторов для топливных элементов с протонообменными мембранами (ТЭПОМ). Представлены конструкция и описание миниатюрного топливного элемента для регистрации методом электронного парамагнитного резонанса короткоживущих парамагнитных интермедиатов в ходе работы ТЭПОМ и половинного топливного элемента для исследования активности и стабильности неплатиновых катализаторов в составе мембранно-электродного блока.

Ключевые слова

Топливный элемент, мембранно-электродный блок, свободный радикал, неплатиновый катализатор, активность катализатора, стабильность катализатора.

Нами [1] впервые были разработаны и протестированы мембранно-электродные блоки (МЭБ) с органическим никелевым комплексным иммобилизованным катализатором 1,5-ди-*p*-толил-3,7-дипиридин-1,5,3,7-диазадифосфацикло-октаном $[\text{Ni}(\text{P}^{\text{Py}}_2\text{N}^{p\text{-Tol}}_2)_2]^{2+}2[\text{BF}_4]^-$ (Схема 1) на углеродной саже Vulcan XC-72, функционирующим и как анодный катализатор реакции окисления водорода, и как катодный катализатор реакции восстановления кислорода в топливном элементе с протонообменной мембраной (ТЭПОМ).

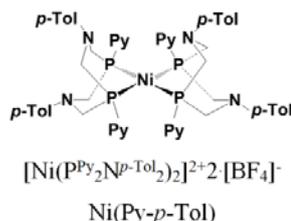


Схема 1 – Структурные и химические формулы комплексного катализатора $\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})$.

Результаты испытаний ТЭПОМ, полученные с использованием МЭБ с электродами, состоящими из катализатора $\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})$ для реакции окисления водорода (РОВ) и реакции восстановления кислорода (РВК), показали высокую каталитическую активность. В Табл. 1 сравниваются характеристики неплатинового ТЭПОМ с другими элементами, в которых один электрод был заменен стандартным электродом на основе Pt, аналогично полученным из каталитического материала Pt_{20}/C . Бесплатиновый $\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})/\text{Nf}/\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})$ ТЭПОМ имел напряжение холостого хода (НХХ) 0.51 В, показывая, что катализатор без благородных металлов работает при разумных перенапряжениях. $\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})/\text{Nf}/\text{Pt}$ обеспечивал значение НХХ всего на 0.045 В ниже по сравнению с величиной НХХ 1.0 В $\text{Pt}/\text{Nf}/\text{Pt}$ ТЭПОМ, работающего при тех же условиях. В ТЭПОМ с использованием $\text{Ni}(\text{Py}-p\text{-Tol})/\text{C}$ в качестве анода Pt/C на катоде максимальная плотность мощности достигла значения 14.66 мВт/см², что выше значения максимальной плотности мощности наилучшего известного из литературы на сегодня аналога (14 мВт/см²)[2].

Таблица 1. Напряжение холостого хода (НХХ), максимальная плотность тока и максимальная плотность мощности, генерируемые различными ТЭПОМ на основе Ni(Py-p-Tol) и Pt на саже (Vulcan XC-72) ^[a]

№ пп	Анодный катализатор	Катодный катализатор	НХХ [В]	Максимальная плотность тока [мА/см ²]	Максимальная плотность мощности [мВт/см ²]
1	Ni(Py-p-Tol)	Ni(Py-p-Tol)	0.51	2	0.22
2	Ni(Py-p-Tol)	Pt	0.955	56	14.66
3	Pt	Ni(Py-p-Tol)	0.77	58	10.34
4	Pt	Pt	1	1280	324

^[a] Рабочие условия: T = 80°C, скорость потока водонасыщенного H₂ газа = 10 мл/мин, скорость потока водонасыщенного O₂ газа = 20 мл/мин, влажность 100 %, активная площадь МЭБ = 1 см². Для изготовления МЭБ были использованы газодиффузионный слой из углеродной бумаги Sigracet® 25CC и Nafion® 115

При разработке и испытании неплатиновых катализаторов на анодной или катодной стороне, при рецензировании работ, посвященных неплатиновым катализаторам, резонно стоит вопрос возможного попадания платинового катализатора на противоположную неплатиновую сторону. Для определения активности и стабильности таких катализаторов необходимо устройство, способное испытать только неплатиновую половину МЭБ.

Представление (А) H₂/O₂ ТЭПОМ и кривые поляризации и плотности мощности при 80°C (В) для 25 % комплекса никеля с натриевой солью полигалактуроновых кислот PG-NaNi/Nf/PtH₂/O₂ ТЭПОМ показаны на Рис. 1. На Рис. 1С показана блок-схема половинного МЭБ PG-NaNi/Nf в сочетании с противозлектродом из платиновой проволоки в 0.5 М в растворе серной кислоты. Кривая зависимости плотности тока при положительных значениях потенциала в

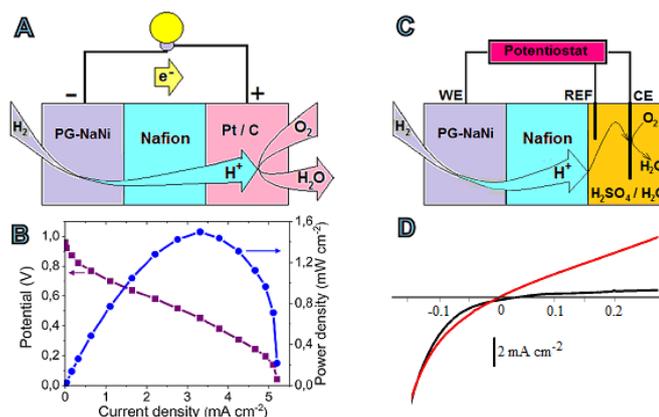


Рисунок 1 – Представление (А) H₂/O₂ ТЭПОМ и кривые поляризации и плотности мощности в нем.

атмосфере H₂ заметно выше кривой в инертной атмосфере, что свидетельствует о значительной каталитической активности катализатора PG-NaNi/C. Поляризация полной ячейки складывается из перенапряжения около 0.3 В на аноде из Рис. 1D при достижении оптимальной плотности тока в 3.5 мА/см², кроме того так как лучший Pt-катод имеет поляризационные потери в 0.43 В из-за плохой кинетики РВК, потенциал ячейки при пиковой мощности не может быть больше 1.23-0.3-0.43 = 0.5 В. С учетом неизбежных омических потерь и при практическом снижении производительности мы наблюдаем максимальную мощность при потенциалах чуть выше 0.4 В, что свидетельствует о корректности и сопоставимости проведенных независимых экспериментов на разных электрохимических установках.

ТЭПОМ работает в достаточно экстремальных условиях: высокая рабочая температура (от 80°C и выше), действие катализаторов, агрессивные топлива и радикальные продукты их разложения, в частности гидроксильный и супероксидный радикалы, HO· и HOO·. Использование техники электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для регистрации образующихся радикалов позволяет осуществить мониторинг и контроль реакций, происходящих на поверхности и в объеме протонообменной мембраны и в последующем может дать потенциальную возможность предсказать и предупредить деградацию мембраны и загрязнение катализатора. Нами были разработаны и запатентованы [3, 4] миниатюрные ТЭ для исследований методом ЭПР. Их общее устройство и преимущества показаны на Рис. 3. Этот ТЭ позволил зарегистрировать методом ЭПР спин-аддукты короткоживущих кислородных радикалов и использовать минимальные количества испытываемых катализаторов при разработке мембранно-электродных блоков.

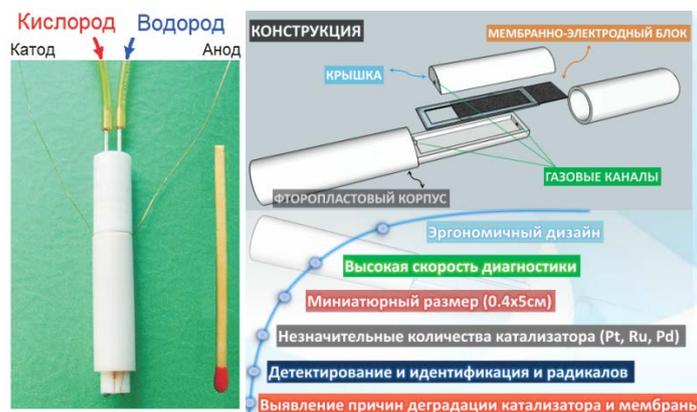


Рисунок 3 – Фотоснимок (слева), общее устройство и преимущества миниатюрного ТЭ (справа) для исследований методом ЭПР.

Для регистрации короткоживущих радикалов, образующихся в реальном ТЭ, применяли метод спиновых ловушек. Диамагнитная спиновая ловушка, реагируя с короткоживущим радикалом, образует стабильный радикал – спиновый аддукт. Мы использовали спиновые ловушки типа нитрон – диметилпирролиноксид (ДМПО). Спиновые аддукты проявляют характерные спектры ЭПР с расщеплениями от азота и ближайшего к радикальному центру протона.

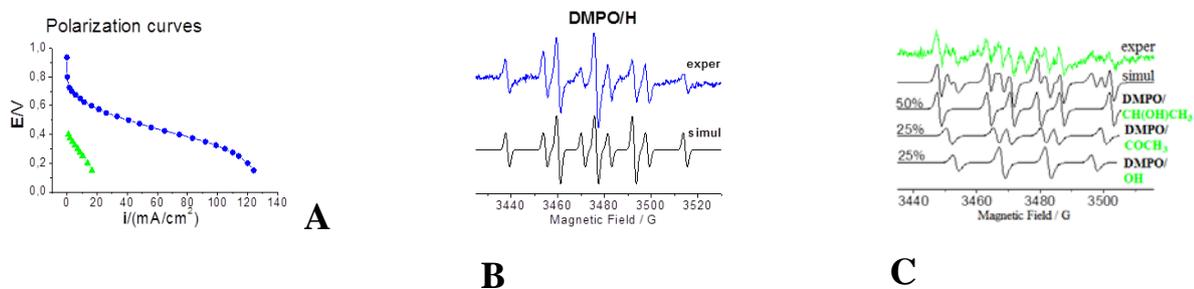


Рисунок 4 – Поляризационные кривые (А) водородного (синяя) и этанольного (зеленая) топлива, ДМПО/Н спиновый аддукт (В) и спин-аддукты распада этанола(С) в миниатюрном ТЭ.

На Рис. 4А приведены поляризационные кривые водорода и этанола, когда они применялись в качестве топлив в миниатюрном ТЭ. Образование атомарного водорода на платиновых частичках анода подтверждается регистрацией спектра ДМПО/Н-аддукта (Рис. 4В). Интересные результаты получаются, когда в качестве растворителя спиновой ловушки и одновременно топлива используется этанол. На катодной стороне видны (Рис. 4С) аддукты ДМПО как с гидроксильным радикалом, так и с $\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ -радикалом, являющимся результатом атаки молекулы этанола гидроксильным радикалом. А вот образование радикала COCH_3 , который является результатом переноса трех электронов, другими спектроскопическими методами до сих пор не регистрировалось.

Благодарности

Работа выполнена по программе фундаментальных исследований президиума РАН «Арктика - научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития».

Литература

1. М. Kadirov, A. Karasik, I. Nizameev, I. Strel'nik, K. Kholin, D. Kadirov, T. Ismaev, Y. Budnikova, O. Sinyashin. New Efficient Organometallic Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Bis-Ligand Nickel(II) Complex Of 1,5-Di-*p*-Tolyl-3,7-Dipyridine-1,5,3,7-Diazadiphosphacyclo-Octane Catalyst. EnergyTechnology, **2018**, DOI: 10.1002/ente.201700711.
2. Gentil, S.; Lalaoui, N.; Dutta, A.; Nedellec, Y.; Cosnier, S.; Shaw, W. J.; Artero, V.; Le Goff, A. Carbon-Nanotube-Supported Bio-Inspired Nickel Catalyst and Its Integration in Hybrid Hydrogen/Air Fuel Cells. Angew. Chem. Int. Ed. **2017**, 56 (7), 1845-1849.
3. М.К.Кадилов. Патент РФ 66540. Приоритет 14.05.2007.
4. М.И. Валитов, М.К. Кадилов. Патент РФ 117717. Приоритет 14.12.2011.

РЭМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ТОПОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СТРУКТУР С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НОРМОЙ ДО 45 НМ

*Казмирук В.В.¹, к.ф.-м.н., Руководитель лаборатории растровой электронной микроскопии № 15
Курганов И.Г.¹, младший научный сотрудник, Подкопаев А.А.¹, м.н. с., Савицкая Т.Н.¹, научный сотрудник
Бородин А.В.², д.т.н., зам. генерального директора по научной работе
Веретенников А.В.², к.ф.- м.н. руководитель инженерингового центра
Кузьмин М.Н.², инженер-конструктор ФГУП ЭЗАН*

1 – ФГБУН ИПТМ РАН, 142432, Московская область, г. Черноголовка, проспект Академика Осипьяна, д. 6.
+7 (495) 962-80-74, e-mail: general@ipmt-hpt.ac.ru, e-mail: kazmiruk@iptm.ru, http://www.ipmt.ru
2 – ФГУП ЭЗАН, 142432, Московская область, г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 9.
+ 7(495) 993-37-57, e-mail: info@ezan.ac.ru

SEM FOR MEASUREMENT AND TOPOLOGY VERIFICATION OF MICROELECTRONICS STRUCTURES WITH TECHNOLOGY NODES UP TO 45 NM

Kazmiruk V.V.¹, Kurganov I.G.¹, Podkopaev A.A.¹, Savitskaya T.N.¹, Borodin A.V.², Veretennikov A.V.², Kuzmin M.N.²

Annotation

Basic model MS 30 of a new series of MicroScan devices is presented in the report. SEMs of this series are intended for the solution of various technological and diagnostic problems of modern microelectronics.

Keywords

Scanning electron microscope, electron beam lithography, topology measurement, metrology of nanostructures.

Аннотация

В докладе представлена базовая модель новой серии приборов МикроСкан МС 30. РЭМ этой серии предназначены для решения различных технологических и диагностических задач современной микроэлектроники.

Ключевые слова

Растровый электронный микроскоп, электронно-лучевой литограф, измерение топологии, метрология наноструктур.

Базовая модель МС30.1 предназначена для работы непосредственно в технологической линейке, в основном, для контроля топологии резиста, проэкспонированного либо оптическим сканером, либо электронным литографом. Кроме того, РЭМ МС30.1 может быть эффективно использован на участке контроля шаблонов.

Основными особенностями серии МС 30 являются:

1. Сочетание высокой разрешающей способности (4-6 нм) при достаточно высоком токе пучка (1 – 4 нА) в диапазоне энергий 50 эВ÷5кэВ.
2. Возможность измерять с высоким разрешением топологию субмиллиметровых и миллиметровых объектов, например, КМОП СБИС с размерами до 16,5 x 13 мм².

Работа при низких и сверхнизких ускоряющих напряжениях (менее 100В) позволяет избежать подтравливания резиста, что неизбежно происходит при энергиях выше 1 кВ. Например, при контроле ширины линий или размеров окон непосредственно на резисте, для измерения уровня сигнала с погрешностью 5% требуется, чтобы каждый пиксель облучался не менее чем 600 электронами. При размере пикселя 4 нм доза облучения составит 700 ÷800 мкКл/ см², то есть превышает чувствительность резиста ПММА в 7-8 раз, а резистов с химическим усилением – более чем в 40 раз.

Для работы при сверхнизких ускоряющих напряжениях электронно-оптическая система (ЭОС) МС30.1 выполнена по принципу GEMINI колонны (Рис.1).

Поток электронов с катодного узла ускоряется специальным электродом – бустером, который играет роль анода и находится под постоянным потенциалом + 8 кВ. Бустер проходит через всю колонну и заканчивается в области полюсных наконечников объективной линзы. Фактически, бустер и магнитное поле линзы образуют новую, компандную линзу на магнитном и электростатическом полях. После выхода электронов из линзы они попадают в тормозящее поле между бустером и образцом, где и замедляются до требуемой энергии. Для вторичных и обратно рассеянных электронов (ВЭ и ОРЭ) поле бустера, наоборот, является ускоряющим. Поэтому поток ВЭ и ОРЭ сначала ускоряется, фокусируется магнитным полем объективной линзы и попадает на сцинтилляционный детектор, расположенный на оси линзы. Сцинтиллятор так же находится под потенциалом + 8 кВ.

Таким образом, использованная схема обеспечивает малые aberrации и высокую яркость первичного пучка и высокую эффективность сбора ВЭ и ОРЭ.

Другой серьезной проблемой является измерение размеров на больших кристаллах. Для ее решения в МС30.1 используется метод непрерывного перемещения стола с соответствующей синхронизацией развертки луча. В этом режиме каждая строка сдвигается на величину смещения стола. В результате нижняя строка каждого кадра изображения сдвинута относительно верхней на расстояние равное полю сканирования.

Поле сканирования равно 50 x 50 мкм, количество пикселей в строке 10000 – 12000, то есть размер пикселя составляет 4-5 нм. При длительности одного пикселя 10 нсек скорость сканирования одного кадра изображения составляет 1 сек, то есть 1 мм² за 400 сек. При этом относительная погрешность измерения отрезка 1 мм может достигать 5-10 ppm.

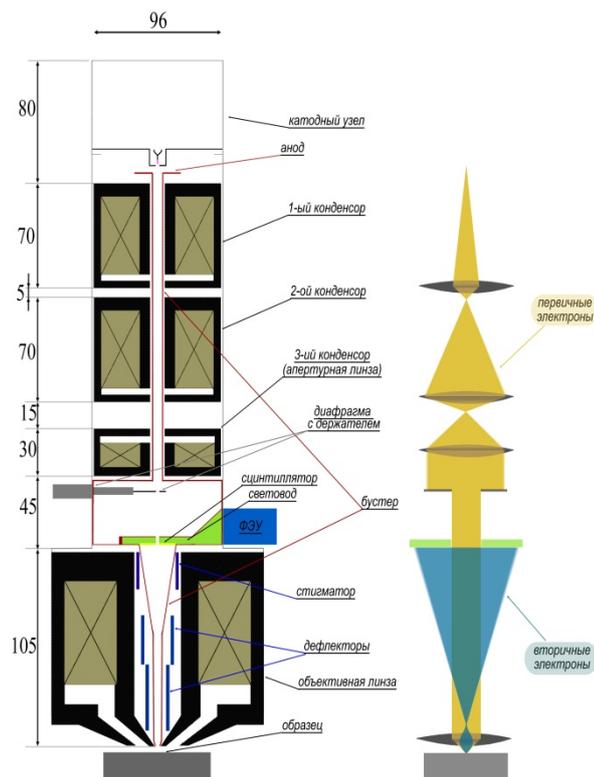


Рисунок 1 – Схематичное изображение ЭОС – слева; формирование первичного пучка и регистрация вторичных электронов – справа.

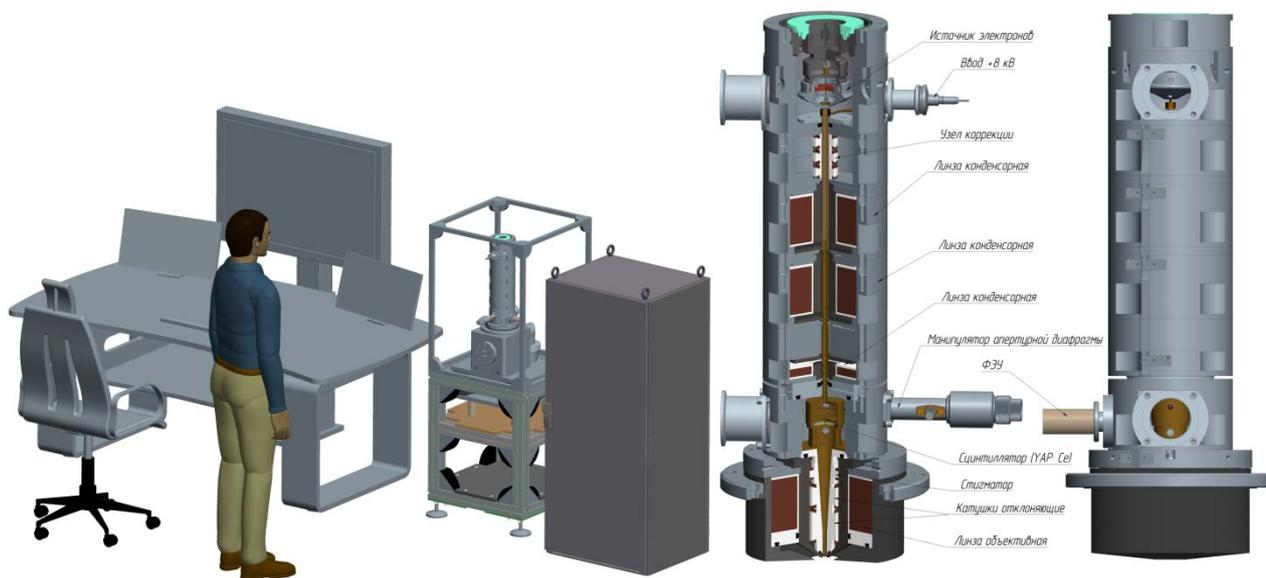


Рисунок 2 – Общий вид РЭМ и устройство его колонны

Технические характеристики МС 30.1	
Разрешение в режиме ВЭ	4 нм
Энергия электронов	1эВ -5 кэВ
Катод	LaB ₆ , CeB ₆
Диапазон тока пучка	0.5 – 10 нА
Вакуум в области катода	< 1 x 10 ⁻⁶ мбар
Время жизни катода	1500 часов
Стабильность тока	≤ 0.5% за 4 часа
Рабочий отрезок	5 мм
Увеличение	10 – 300 000 крат
Электронно-оптическая система	4-х линзовая система
Размер образца	до 25 мм
Максимальная тактовая частота, МГц	400
Видеоканал	256 градаций серого 200 Mhz Вторичные электроны Обратно рассеянные электроны Прошедшие электроны
Детектор ВЭ и ОРЭ	Высокоскоростной In-lens детектор
Отклоняющая система	Двухступенчатая электромагнитная
Коррекция поля	Коррекция вращения, ортогональности и увеличения
Режимы развертки	Полное поле, уменьшенное поле, Однократное сканирование Синхронизация с перемещением столика объектов
Разрядность ЦАП дефлекторов	16 бит (65536 пикселей)

По совокупности характеристик разрабатываемый РЭМ (Рис.2) соответствует критериям и требованиям ITRS на 2020 – 2025 гг. Таким образом, на момент завершения разработки данные приборы будут востребованы также и за рубежом. Следует отдельно отметить, что практически все предлагаемые приборы не имеют зарубежных аналогов, поэтому предлагаемая концепция является прорывной в области высоких технологий по целому ряду направлений и позволит российским производителям успешно конкурировать на мировом рынке. Анализ рынка и тенденций его развития показывает, что предлагаемое оборудование имеет также значительный экспортный потенциал. В настоящее время совместно с Экспериментальным заводом научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро Российской академии наук (ФГУП ЭЗАН) начата разработка промышленных образцов МС30.1 и подготовка их мелкосерийного производства.

Данная работа поддержана Министерством промышленности и торговли Российской Федерации в рамках договора о предоставлении субсидии на финансовое обеспечение части затрат на создание научно-технического задела по разработке базовых технологий производства приоритетных электронных компонентов и радиоэлектронной аппаратуры от № 16411.1950168580.11.010 от 26.10.2016 (идентификатор 00000000020163820002).

ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ ДЛЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Казначеев П. А., к.т.н., науч. сотрудник, Камшилин А. Н., к.ф.-м.н., вед. науч. сотрудник
ИФЗ РАН, ifz.ru, 123242, г. Москва, Б.Грузинская ул., д. 10, стр. 1
+7(903)568-40-54, p_a_k@mail.ru
+7(963)615-28-81, kamshilin@ifz.ru*

CURRENT DENSITY GAUGES FOR GEOELECTRIC AND SEISMOELECTRIC MONITORING

Kaznacheev P.A., Kamshilin A.N.

Annotation

Requirements for electrometric geophysical monitoring equipment make it possible to use less mobile, but more anti-interference gauges. Developed current gauge enables to measure current density vector components in small local area of conductive media by non-galvanic-contact technique. It can help to extract anomalous electric field variation in geoelectric monitoring with artificial field excitation. In seismoelectric monitoring with it's help, electric and seismic fields can be measured in the same point.

Keywords

Direct current electrical-exploration method, current density, local current gauge, geoelectric monitoring, seismoelectric monitoring.

Аннотация

Требования к аппаратуре электрометрического мониторинга позволяют использовать менее мобильные, но более помехозащищенные измерительные устройства. Разработанный измеритель тока позволяет бесконтактным способом определять отдельные компоненты вектора плотности тока в малой локальной области среды. При геоэлектрическом мониторинге с искусственным возбуждением поля это позволяет выделить вариации аномального электрического поля. Также появляется возможность регистрации электрического и сейсмического полей в одной точке среды в задачах сейсмоэлектрического мониторинга.

Введение

Геоэлектрический и сейсмоэлектрический мониторинг основаны на измерении электрического поля в проводящей среде, какой может быть геологическая или гидрогеологическая среда. От электроразведки мониторинг отличается специфическими требованиями к измерительным устройствам [Камшилин А.Н. и др., 2017]. Первое - повышенные требования к помехозащищенности, чувствительности и разрешающей способности аппаратуры, что связано с необходимостью определять не абсолютные значения электрических параметров среды (удельное сопротивление и т.п.), а их малые относительные изменения. Второе - возможность точного соотнесения измеренных параметров поля с определенной областью среды, что особенно важно в сейсмоэлектрическом мониторинге при одновременном измерении сейсмического поля. Третье - в отличие от электроразведки, измерительная и генерирующая аппаратура для мониторинга не должна быть мобильной и может быть стационарно установлена на длительное время. Эти требования определяют задачу разработки специфических измерительных приборов, ориентированных на электрометрические измерения при геоэлектрическом и сейсмоэлектрическом мониторинге.

Измеритель тока

Для решения этой задачи был разработан прибор [Пат. RU 2632589], представляющий собой измеритель плотности тока в проводящей среде (рис. 1). Основной особенностью прибора является бесконтактное измерение электрического поля за счет использования трансформаторного датчика тока. Отсутствие гальванического контакта устраняет помеховое влияние электрохимических процессов, характерное для традиционного способа измерения поля электродными парами. Непосредственно измеряемой величиной является ток, протекающий через измерительное отверстие. Показано [Казначеев П.А., 2011], что он зависит только от формы и размеров измерителя и составляющей плотности тока в среде, параллельной оси отверстия. Область среды, в которой происходит искажение поля, сопоставима с характерными размерами измерителя. Это существенно уменьшает объем, по которому происходит "интегрирование" поля, а также позволяет "управлять" его размерами [Пат. RU 2483332]. Вся аналоговая часть измерителя (преобразователь сигнала, блоки усиления и фильтрации) сосредоточена внутри корпуса вместе с блоком аналого-цифрового преобразователя; наружу по кабелю выходит уже оцифрованный сигнал. Все это обеспечивает существенное увеличение помехозащищенности электрометрических измерений.

Рабочий частотный диапазон разработанного измерителя находится в области частот стандартной электроразведочной аппаратуры - от долей до первых десятков герц (рис. 2). Эта область оптимальна для электрометрического мониторинга с инженерно-геологическими целями, поскольку находится в стороне от промышленных помех. Для возможности настройки измерителя под конкретную задачу предусмотрено программное регулирование аналогового усиления в диапазоне 26 дБ. Для защиты от помехового влияния сейсмических колебаний при сейсмоэлектрическом мониторинге датчик тока защищен виброгасящими элементами (см. рис. 1), эффективность которых подтверждена испытаниями [Казначеев П.А., 2016].

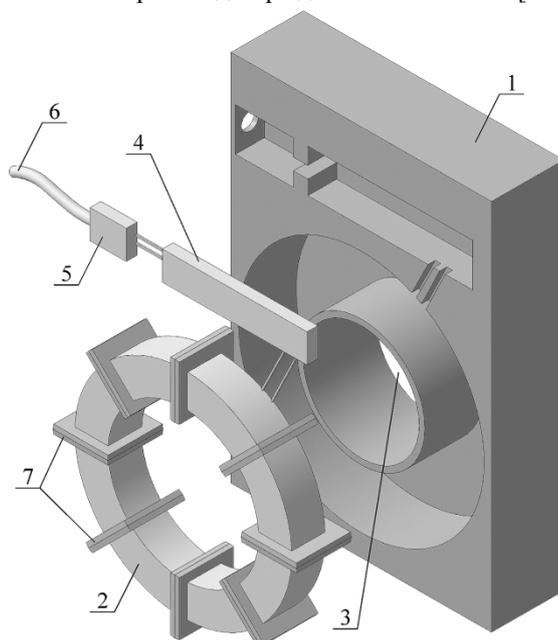


Рисунок 1 – Внешний вид измерителя плотности тока в разобранном состоянии. 1 - герметичный корпус из непроводящего материала (крышка снята и не показана, начинка извлечена из корпуса); 2 - трансформаторный датчик тока; 3 - сквозное измерительное отверстие; 4 - электронная схема аналоговой обработки, усиления и оцифровки сигнала; 5 - приемник-передатчик цифрового сигнала по длинной линии; 6 - кабель; 7 - виброгасящие элементы.

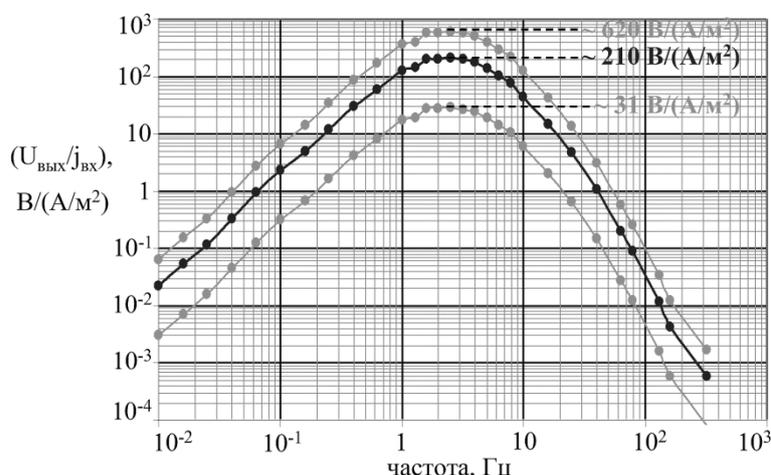


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная передаточная характеристика разработанного измерителя плотности тока. По вертикальной оси указан коэффициент преобразования входной величины плотности тока $j_{вх}$ в выходную величину - напряжение $U_{вых}$ которое непосредственно оцифровывается; по горизонтальной оси отложена частота входного сигнала. Черная кривая - АЧХ при номинальном коэффициенте усиления в аналоговой части, серые кривые - при минимальном и максимальном коэффициенте усиления; кружками показаны данные, снятые при калибровке, линиями – их аппроксимация.

С учетом возрастания актуальности задач мониторинга природно-техногенных систем можно предложить следующие возможные применения измерителя плотности тока. Активный геоэлектрический мониторинг предполагает использование нескольких измерителей тока в оптимальной конфигурации электрометрической установки, обеспечивающей максимальную чувствительность к аномальному полю от интересующего объекта или процесса [Камшилин А.Н. и др., 2017]. Такой мониторинг может проводиться для контроля карстовых явлений, оползней, устойчивости гидротехнических сооружений. Сейсмоэлектрический мониторинг предполагает

использование измерителя вместе с сейсмометрической аппаратурой и определение характеристик сейсмoeлектрического преобразования в диапазоне частот [Камшилин А.Н., 2017]. Сейсмoeлектрический мониторинг эффективен там, где малые изменения флюидонасыщенности, напряженного состояния объемов горных пород могут привести к существенному изменению сейсмoeлектрического отклика среды - при контроле разработок соляных месторождений, контроле шахтных сооружений.

Рекомендации по установке измерителя состоят в заблаговременном (за несколько недель до начала мониторинга) погружении измерителя в геологическую среду, чтобы она могла устояться после возмущения, контроле помеховых неоднородностей, проведении предварительной электроразведки для выбора оптимального размещения мониторинговой установки.

Выводы

В ходе разработки измерителя плотности тока для задач геоэлектрического и сейсмoeлектрического мониторинга был создан экспериментальный макет устройства, обладающий следующими характеристиками:

- возможность измерения плотности тока электрического поля в локальной области геологической (грунты) и гидрогеологической (жидкости) среды без гальванического контакта со средой;
- большая помехозащищенность в силу гальванической развязки с генерирующей аппаратурой, отсутствия контактных явлений на границе электрод – среда, малой длины и площади входного контура незащищенной входной электрической цепи, а также благодаря оцифровке сигнала непосредственно рядом с первичным датчиком поля;
- большой полный динамический диапазон входного сигнала (110 дБ);
- программно регулируемая чувствительность (максимальная - $620 \text{ В}/(\text{А}/\text{м}^2)$ на частоте около 2 Гц);
- экономичная аппаратная платформа из доступных электронных компонентов;
- возможность удаленного размещения прибора на расстоянии до сотни метров при простом подключении по USB интерфейсу к персональному компьютеру, при этом не требуются специальные драйвера для работы с прибором;
- возможность регистрации сигналов частотой от 0.01 до 10000 Гц (для работы в требуемом частотном диапазоне необходимо переконфигурирование только блока аналоговых фильтров);
- эффективное подавление электромагнитных и акустических помех;
- возможность интеграции в прибор датчиков других геофизических полей (например, сейсмометров) для одновременного измерения вместе с электрическим полем в одной локальной области среды;
- в геологической среде эффективна стационарная установка прибора на длительное время, в жидких проводящих средах возможно также частично мобильное использование прибора.

Литература

1. Казначеев П.А. Измерение сейсмoeлектрического сигнала при помощи локального измерителя тока // Научная конференция молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН, Москва, 25-26 апреля 2016 г. – М.: ИФЗ РАН, 2016 – С. 36.
2. Казначеев П.А., Камшилин А.Н., Попов В.В. Измерение локальной плотности тока в земной коре // Вестник МЭИ. - 2011. - № 5. - С. 57–63.
3. Камшилин А.Н., Казначеев П.А. Локальный измеритель тока - прибор для геоэлектрических измерений // Наука и технологические разработки. - М.: ИФЗ РАН. - 2017. - Вып. 1 (96). - С. 33-42.
4. Камшилин А.Н. О сейсмoeлектрических колебаниях // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 6-9 июня 2017 г.): материалы IV Всероссийской конференции с международным участием / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. ИДГ РАН. – М.: ГЕОС. 2017. – С. 387-391.
5. Пат. RU 2483332, МПК7 G01V 3/08. Устройство для измерения компонент вектора плотности тока в проводящих средах / Волкова Е.Н., Камшилин А.Н., Казначеев П.А., Попов В.В.; патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. № 2011149339/28; заявл. 05.12.2011; опубл. 27.05.2013. Бюл. № 15. 9 с.
6. Пат. RU 2632589 С1, МПК G01R 19/08, G01R 15/18, G01R 1/00, G01V 3/08. Устройство для измерения компонент вектора плотности тока в проводящих средах / Камшилин А.Н., Казначеев П.А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН). - № 2016126148/28; заявл. 30.06.2016; опубл. 06.10.2017, Бюл. № 28.

УНИКАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ УСТАНОВКИ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОФИЗИКИ УРО РАН

*Кайгородов А.С., к.ф.-м.н., заместитель директора по научной работе
Институт электрофизики УрО РАН, www.iep.uran.ru, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106
тел. (343)-267-87-96, admin@iep.uran.ru*

UNIQUE SCIENTIFIC EQUIPMENT OF THE INSTITUTE OF ELECTROPHYSICS UB RAS

Kaygorodov A.S.

Annotation

The latest developments in the field of the creation of pulse equipment capable of generating picosecond fluxes of charged particles, a voltage with a peak power of 6 GW at a pulse duration of 7 ns, an accelerating voltage of up to 1 MV, as well as X-ray radiation with a significantly reduced radiation dose are shown. With the help of the created equipment, such methods of powder synthesis as electrical explosion of the wires and laser evaporation, and also magnetic-pulsed pressing of such powders are realized.

Keywords

Pulsed equipment, nanomaterials, physical processes.

Аннотация

Показаны последние разработки в области создания импульсного оборудования, способного генерировать пикосекундные потоки заряженных частиц, напряжение с пиковой мощностью 6 ГВт при длительности импульса 7 нс, ускоряющее напряжение – до 1 МВ, а также рентгеновское излучение со значительно сниженной дозой облучения. С помощью созданного оборудования реализованы такие методы синтеза порошков как электрический взрыв проволоки и лазерное испарение, а также магнитно-импульсное прессование таких порошков.

Ключевые слова

Импульсная техника, наноматериалы, физические процессы.

Показаны последние разработки в области создания научного оборудования для получения/модификации материалов и для изучения физических процессов. Отличительной особенностью такого оборудования является режим его работы в импульсном режиме, что позволяет существенно расширить экспериментальные параметры.

В части исследования электрофизических процессов в ИЭФ УрО РАН созданы приборы, работающие в нано- и пикосекундных временных диапазонах.

В зависимости от момента возникновения эмиссии убегающих электронов (УЭ) на нарастающем фронте ускоряющего напряжения энергия частиц за анодом может составлять от десятков до сотен килоэлектронвольт. Типичная длительность импульсов ускоренных частиц с током до десятков ампер лежит в диапазоне вплоть до 40 пс при фронте нарастания 20–30 пс. Такие **ультракороткие потоки заряженных частиц** являются уникальным инструментом для инициирования разрядных процессов в газовых электродных промежутках и изучения пробоев с участием лавин УЭ [1]. Представляют интерес исследование процессов возбуждения катодolumинесценции диэлектриков (в частности, минералов) и полу проводниковых лазерных мишеней. Короткие вспышки тормозного рентгеновского или оптического излучений – важный инструмент для калибровочных измерений временного отклика сцинтилляторов и люминофоров.

Очевидным преимуществом полностью **твердотельных генераторов** является возможность стабильной работы с высокой частотой следования импульсов, их не критичность к нагрузкам и практически неограниченный ресурс. Наносекундный твердотельный генератор S-500 с полупроводниковым прерывателем тока (SOS) обеспечивает на нагрузках 40–100 Ом амплитуду импульса напряжения от 500 до 750 кВ с пиковой мощностью 6 ГВт при длительности импульса 7 нс и частоте следования импульсов в режиме пачки до 1 кГц [2]. В генераторе предложена и реализована новая схема накачки полупроводникового прерывателя тока (SOS) на основе двойной формирующей линии. Такая схема обеспечивает ввод в SOS обратного тока амплитудой 14 кА за время ~12 нс, затем SOS обрывает ток за ~2 нс. Фронт выходного импульса напряжения в передающей линии дополнительно укорачивается ферритовым обострителем до ~1 нс, затем полупроводниковым обострителем до ~0.5 нс. Генератор разработан для применения в области мощной СВЧ электроники.

Разработанные в ИЭФ УрО РАН **импульсные сильноточные ускорители** электронов серии УРТ, предназначены для радиационных технологий в производственных условиях [3]. Их основные параметры: ускоряющее напряжение – до 1 МВ, частота следования импульсов – до 300 Гц, размер пучка электронов 400x100 мм, длительность импульса около 100 нс. Особенностью конструкции является использование металлокерамических и металлдиэлектрических холодных катодов с несколькими излучающими элементами, позволяющие получать неравномерное распределение электронного пучка на выходной фольге не более 15%. Ускорители серии УРТ успешно используются для промышленной модификации пленочных полимеров, радиационной стерилизации, получения нанопорошков, разработке новых сорбентов и дозиметров, т.е. в радиационных технологиях на поверхности, в газах и слоях жидкости, сыпучих или твердых материалов с толщиной слоя до 0,3 г/см².

Импульсные рентгеновские аппараты различного типа в настоящее время все шире применяются в медицинской диагностике, дефектоскопии, досмотровых системах. Преимуществом комплексов, созданных на основе наносекундных импульсных генераторов, малогабаритных отпаянных рентгеновских трубок с холодным катодом и устройств визуализации, использующих рентгенолюминофоры, является значительное, в 10–20 раз снижение необходимой дозы облучения в сравнении с аналогичными комплексами на основе источников непрерывного рентгеновского излучения [4]. В лаборатории импульсных источников излучений разработана серия отпаянных взрывоэмиссионных рентгеновских трубок и компактных высоковольтных наносекундных импульсных генераторов с полностью твердотельной системой коммутации с выходным напряжением от 65 до 350 кВ, работающих в килогерцовом диапазоне частот. Такое решение значительно повысило срок службы и стабильность работы устройств для различного применения.

В части материаловедения в ИЭФ УрО РАН разработаны и успешно применяются установки для получения нанопорошков и их эффективного уплотнения. Для получения нанопорошков металлов сплавов и их химических соединений в институте используется **метод электрического взрыва проволоки (ЭВП)**. При протекании через проволоку импульса тока плотностью 10^8 А/см² за единицы микросекунд происходит нагрев металла а затем его взрывное диспергирование. В зависимости от условий взрыва после конденсации паров металла образуются частицы с характерным размером от десятков микрометров до нескольких нанометров. При ЭВП в атмосфере нейтрального газа отработано получение металлических нано порошков Al, Cu, Fe, Ni, Ti, W, Mo, Al-Mg, Ni-Fe и других с характерным размером частиц в области 50–100 нм. В кислородсодержащей среде получены порошки ряда оксидов: AlO₃, CuO, NiO, ZrO, FeO, ZnO, TiO, (MgAl) O и другие с размерами частиц в области 15–100 нм. Порошки слабо агрегированы, имеют форму частиц близкую к сферической, высокую чистоту и высокую химическую активность. Созданы образцы оборудования для получения нанопорошков разных типов. Установки ЭВП автоматизированы и обладают производительностью по порошку в диапазоне 50–400 г/час, в зависимости от типа материала. Процесс получения порошков является экологически чистым и позволяет производить порошки с варьированием характеристик путем изменения исходных условий [5].

В течении последних 10 лет в ИЭФ интенсивно развивается и исследуется **лазерный метод получения слабоагрегированных нанопорошков** сложных составов, который заключается в испарении твердой мишени излучением импульсно-периодического CO₂-лазера «ЛАЭРТ» и последующей конденсации паров в потоке буферного газа. Создан лазерный комплекс по получению нанопорошков в газах различного давления. С его помощью были получены нанопорошки простых и сложных оксидов: Al₂O₃, Fe_xO_y, Yb₂O₃, ScSZ, Nd:Y₂O₃, Nd:Lu_xY_{1-x}O₃, Nd:YAG и другие. Обнаружено, что средний размер наночастиц, полученных в воздухе атмосферного давления, не зависит от сорта материала мишени и лежит в диапазоне 11-16 нм. В тоже время за счет изменения давления и сорта буферного газа средний размер наночастиц можно изменять в пределах 7-40 нм. Производительность получения наночастиц зависит от свойств материала и составляет 20-80 г/час при энергозатратах лазерного излучения 8-30 кВт·ч/кг [6].

Исследования по **магнитно-импульсному прессованию** показали эффективность метода для компактирования широкого спектра порошковых материалов, особенно в нанометровой области размеров частиц. Применение МИП в сочетании с термообработкой перспективно для формирования из нанопорошков новых типов объемных наноструктурных материалов для различных конструкционных и функциональных назначений. Прессование характеризуется мягкой импульсной волной сжатия в порошке с амплитудой до 2 ГПа при длительности 10-1000 мкс и скоростями перемещения материала 10-100 м/с. Эти условия в сочетании с адиабатическим разогревом благоприятны для эффективного преодоления сильного межчастичного взаимодействия в нанопорошках, что обеспечивает получение состояний спрессованных порошков с повышенной плотностью, способствует разрушению агломератов частиц и генерации структурных превращений (микроискажений решетки, дефектов, фазовых переходов) [7].

Для магнитно-импульсного прессования нанопорошков различных материалов создано оборудование двух типов с использованием плоских и радиально сходящихся волн сжатия.

Список литературы

1. Picosecond runaway electron beams in air / G.A. Mesyats, M.I. Yalandin, A.G. Reutova, K.A. Sharypov, V.G. Shpak, S.A. Shunailov // Plasma Phys. Rep. – 2012. – Vol. 38, N 1. – P. 29–45.
2. A 6 GW nanosecond solid-state generator based on semiconductor opening switch / A.I. Gusev, M.S. Pedos, S.N. Rukin, S.P. Timoshenkov, and S.N. Tsyranov // Review of Scientific Instruments. – 2015. – Vol. 86, Iss. 11. – P. 114706.
3. Соковнин С.Ю. Ускоритель УРТ-1М для радиационных технологий / С.Ю. Соковнин, М.Е. Балезин, С.В. Щербинин // ПТЭ. – 2013. – №4. – С. 47–50.
4. Снижение дозовой нагрузки на пациента при проведении диагностики с помощью цифровых импульсных наносекундных рентгеновских комплексов / В.А. Бессонова, П.В. Гаврилов, С.Р. Корженевский, А.С. Чепусов, А.А. Комарский // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – № 2. – С. 53–57.
5. . Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders / Yu.A.Kotov // Journal of Nanoparticle Research. – 2003. - Vol. 5, № 5-6. - P. 539-550.
6. Применение мощного импульсно-периодического CO₂-лазера с высоким КПД для получения наноразмерных порошков/ Осипов В.В., Котов Ю.А., Иванов М.Г., Саматов О.М., Смирнов П.Б. // Известия Академии Наук. Серия физическая. – 1999. - т. 63, № 10. - С. 1986-1971.
7. Fine Grained Alumina-Based Ceramics Produced Using Magnetic Pulsed Compaction / V.V. Ivanov, A.S. Kaygorodov, V.R. Khrustov, S.N. Pararin // Ceramic Materials - Progress in Modern Ceramics. - 2012. - InTech. P. 228.

КАЛИБРОВКА (РЕГРЕССИЯ) СПЕКТРОМЕТРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРИГЛИЦЕРИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В ПРОДУКТАХ И СЫВОРОТКЕ КРОВИ

Калинин А. В.¹, Титов В.Н.²

*1 - Институт спектроскопии РАН, www.isan.troitsk.ru, к.ф.-м.н.
42190, Москва, Троицк, ул. Физическая, 5; kalinin@isan.troitsk.ru*

*2 - Российский кардиологический научно-производственный комплекс Минздрава, www.cardioweb.ru/
д.мед.н., проф., 119121, Москва, ул. 3-я Черепковская, 15А, корп.5, vn_titov@mail.ru*

CALIBRATION (REGRESSION) OF SPECTROMETERS FOR DETERMINATION OF TRIGLYCERIDES OF FATTY ACIDS IN FOODS AND SERUM

Kalinin A.V.¹, Titov V.N.²

Annotation

Triglycerides of fatty acids (TGFA) form an important part of human nutrition. The spectrometry of TGFA has obvious advantages over conventional chromatography and is possible with at least three types of near-infrared spectrometers. The report presents the results of calibration of these spectrometers by the regression method on latent structures to determine the content of clinically significant TGFA in food, preparations and blood serum of cardiac patients.

Keywords

Fatty acids, near infrared spectrometry, regression to latent structures.

Аннотация

Триглицериды жирных кислот (ТГЖК) составляют важную часть питания человека. Спектрометрия ТГЖК имеет очевидные преимущества перед традиционной хроматографией и возможна с применением, по крайней мере, трех типов спектрометров ближнего инфракрасного диапазона. В докладе приведены результаты калибровки названных спектрометров методом регрессии на латентные структуры для определения содержания клинически значимых ТГЖК в пище, препаратах и сыворотке крови кардиологических пациентов.

Ключевые слова

Жирные кислоты, ближняя инфракрасная спектрометрия, регрессия на латентные структуры.

Триглицериды жирных кислот (ЖК) являются существенными компонентами диеты человека, обладая при этом уникальной биологической активностью [1]. Содержание клинически важных ЖК и индивидуальных триглицеридов в пище и в биологических средах традиционно определяют способами газовой и жидкостной хроматографии [2]. Из-за сложности и дороговизны эти методы труднодоступны для лабораторий клинической биохимии. Кроме того, распространение в продаже фальсификатов жиरो-масляных продуктов питания приводит к потребности в портативном и оперативном анализаторе ряда характерных ЖК. Первая цель – адаптировать метод проекций на латентные структуры (ПЛС) [3] для оперативного определения содержания ЖК, в первую очередь пальмитиновой насыщенной и олеиновой мононенасыщенной ЖК, а также суммы полиеновых (эйкозапентаеновая+докозагексаеновая) ЖК в продуктах питания, пищевых добавках, рыбном жире с применением спектрометра ближнего инфракрасного (БИК) диапазона на линейке InGaAs фотодиодов, фото и Протокол измерения которого представлены на Рис.1. [4].

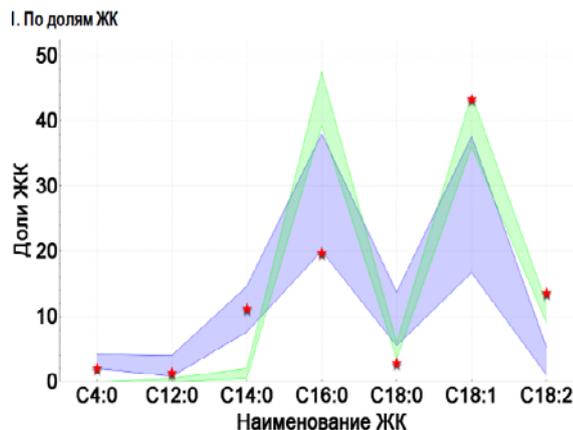


Рисунок 1 – Портативный БИК спектрометр - слева и Протокол определения 7-ми ЖК в среде с его помощью – справа: звездами обозначены доли ЖК, зеленым – поле возможных значений ЖК в пальмовом масле, сиреневым – в молочном жире.

При тестировании калибровок БИК спектрометра, являющимся прототипом портативного, для пальмитиновой и олеиновой, а также суммы полиеновых ЖК достигнуты значения множественного коэффициента корреляции 0.89, 0.85 и 0.96 и стандартной ошибки 0.53%, 1.43% и 0.39%, соответственно, что доказывает применимость метода для экспресс-анализа продуктов питания [5].

Вторая цель - разработать технологию оперативной оценки в сыворотке крови содержания клинически важных триглицеридов пальмитиновой насыщенной, олеиновой мононенасыщенной и других ЖК на основе ПЛС калибровки. Стандартизацию состава и содержания триглицеридов ЖК образцов для калибровки провели с традиционной экстракцией, метилированием и разделением индивидуальных ТГ с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа DIONEX Ultimate 3000 с использованием колонки Reprosil-Pur с наполнителем C18-AQ 3 мкм, 150×4,6 мм. В качестве детектора использовали масс-спектрометр модели ABSCIEX QTRAP 5500 при работе в режиме регистрации позитивно заряженных ионов. Спектры стандартизованных образцов сыворотки получены с применением Фурье-спектрометра МРА, Брукер, Германия, в диапазоне длин волн 1,0-2.2 мкм. Они иллюстрируются на Рис.2 б) для тех же длин волн, что и спектр поглощения доминирующей в сыворотке воды – Рис.2 а). Построенные по их производным – Рис.2 с), ПЛС модели были проверены стандартными образцами, не включенными в калибровку, и получены доказательства достоверного и селективного (в соответствии с [6]) количественного анализа названных ЖК в сыворотке крови без пробоподготовки. В результате сравнения калибровочных моделей для Фурье-спектрометра в различных участках БИК диапазона (по различным обертонам и комбинациям поглощения ЖК в сыворотке) был выбран спектральный диапазон 1.0-1.88 мкм в качестве оптимального для портативного спектрометра на базе линейки InGaAs фотодиодов. Кроме того, с применением спектрометра комбинационного рассеяния выполнена оценка содержания пальмитиновых и олеиновых триглицеридов в средах с небольшим (до8%) присутствием воды.

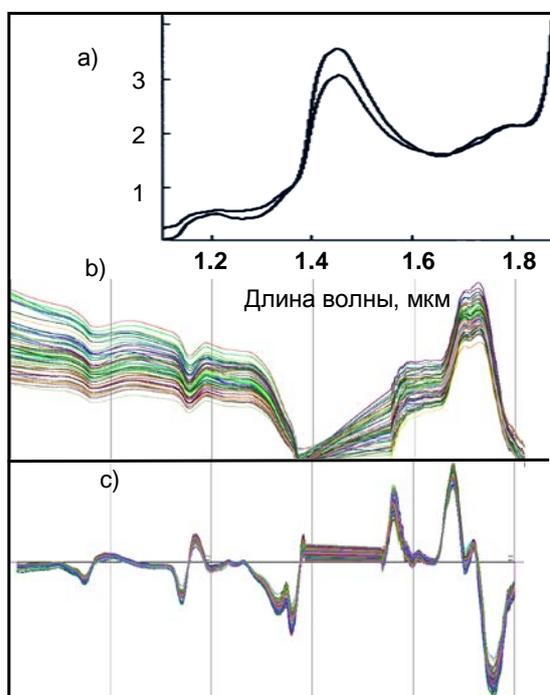


Рис.2 Спектральные значения:
 а) коэффициента поглощения (мм^{-1}) различных дистиллятов воды (в логарифмической шкале),
 б) оптической плотности 27 образцов сыворотки ;
 с) продифференцированной оптической плотности тех же образцов, видны вариации спектров, отнесенные к колебаниям, характерным для С-Н и С=С связей

Таблица – Параметры тестирования моделей по спектрам 123 образцов для определения триглицеридов (ТГ), холестерина (Ch) и 4-Х ЖК: К - число калибровочных, а L – число тестирующих образцов, Н – способ обработки спектров: GSDer и 2GSDer - сглаживание и дифференцирование спектра 1 или 2 раза, Rb - удаление базовой линии, n – число латентных переменных (сложность модели), r^2_p - коэффициент множественной корреляции, σ – среднеквадратичное отклонение

№(K,L)	H	TG			Ch			C16:0			C18:1			C18:2			C20:4		
		n	r^2_p	σ	n	r^2_p	σ	n	r^2_p	σ	n	r^2_p	σ	n	r^2_p	σ	n	r^2_p	σ
1+2+4(55,22)	GSDer	6	0.94	1.37	5	0.86	1.49	8	0.85	119	7	0.86	194	8	0.81	183	7	0.81	102
2+1 (30,25)	GSDer	5	0.83	1.36	5	1.79	0.61	9	0.86	117	7	0.84	126	8	0.83	112	10	0.76	113
	2GSDer	9	0.96	1.81	4	1.69	0.65	8	0.87	118	7	0.86	226	8	0.85	141	12	0.82	122
2+3 (26,42)	Rb	10	0.87	1.4	9	0.87	10.42	6	0.91	215	7	0.91	222	7	0.93	121	10	0.61	128
	GSDer	7	0.96	1.23	5	0.88	1.4	2	0.93	112	2	0.91	122	4	0.93	114	9	0.63	118

	2GSDer	10	0.81	1.55	12	0.77	1.56	2	0.92	113	2	0.91	124	2	0.91	116	8	0.63	118
2+4 (39,25)	GSDer	7	0.96	1.23	5	0.88	1.4	2	0.93	112	2	0.91	122	4	0.93	112	9	0.63	121
	2GSDer	10	0.81	1.55	12	0.77	1.56	2	0.92	113	2	0.91	124	3	0.91	118	10	0.64	118

Решение двух вышеизложенных задач позволило подготовить главный результат: прослеживание 4-х ЖК в пище и в сыворотке 38 пациентов показало нарушения метаболизма ЖК у 27-ми и состава ферментов у 16-ти. Их регулирование в течение 2-х недель привело к облегчению состояния ССЗ у 23 пациентов. С позиций общей биологии явно позитивно, если взрослые, особенно пожилые, откажутся от потребления сливочного жира и уменьшат в пище содержание продуктов богатых пальмитиновой ЖК: говядина, сметана, жирные сыры. Это реальный шаг в профилактике метаболических пандемий (атеросклероз и атероматоз, метаболический синдром, резистентность к инсулину, ожирение). В связи с новыми представлениями о патогенезе атеросклероза в свете филогенетической теории общей патологии [7] особое диагностическое значение имеет отношение ЖК С16:0/С18:1 и С16:0/С18:2 в плазме крови и тканях. В настоящей работе показано, что это отношение можно оперативно диагностировать с применением БИК спектрометра в диапазоне длин волн 1.0-1.88 мкм.

Благодарности

Авторы глубоко благодарны Е.А.Юровой, к.т.н., зав лабораторией технохимического контроля ВНИИ молочной промышленности РАН за предоставление стандартных образцов пищевых жиромасляных смесей.

Литература

1. Титов В.Н. Клиническая биохимия жирных кислот, липидов и липопротеинов. М. – Тверь: ООО «Издательство «Триада». 2008.
2. Орлова Т.И., Уколов А.И., Савельева Е.И., Радиков А.С. Определение свободных и этерифицированных жирных кислот в плазме крови методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием. Аналитика и контроль. 2015; 19(2): 183 -188.
3. Wold S., Sjostrom M., Eriksson L., "PLS regression: a basic tool of chemometrics", Chem. Intelligent. Lab. Syst. 58 (2001) 7:109–30.
4. Kalinin A.V., Krasheninnikov V.N., Detection of fatty product falsifications using a portable near Infrared spectrometer. EPJ. Web. Conferences. 2017; 132, 02009 DOI:10.1051/epjconf/201713202009.
5. Калинин А.В., В.Н Крашенинников, Свиридов А.П., Титов В.Н. Определение содержания диагностически значимых жирных кислот и индивидуальных триглицеридов в биологических средах на основе инфракрасной спектроскопии. Клиническая лабораторная диагностика. 2015; 60(11): 13 - 20.
6. F.Westad, A.Schmidt and M.Kermit, "Incorporating chemical band-assignment in near infrared spectroscopy regression models", J. Near Infrared Spectrosc. 16 (2008) 3: 265-73.
7. Титов В.Н. Филогенетическая теория общей патологии. Патогенез метаболических пандемий. Сахарный диабет. ИНФРА-М. М. 2014.

ПОРТАТИВНЫЙ ПРОТОННЫЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЙ РЕЛАКСОМЕТР В СОСТАВЕ ПРОТОЧНОГО ПРОТОННОГО МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО АНАЛИЗАТОРА ПАРАМЕТРОВ НЕФТИ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

*Кашаев Р. С., д. т. н., профессор кафедры «Приборостроение и мехатроника»
Казанского государственного энергетического университета,
Козелков О. В., к. т. н., заведующий кафедрой «Приборостроение и мехатроника»
Казанского государственного энергетического университета
ФГБОУ ВО «КГЭУ», <https://kgeu.ru/>
420066 г. Казань, ул. Красносельская, 51, тел. (843) 519-43-19,
e-mail: kashaev2007@yandex.ru, e-mail: ok.1972@list.ru*

PORTABLE PROTON MAGNETIC RESONANCE RELAXOMETER IN THE COMPOSITION OF THE PROTON PROTON MAGNETIC RESONANCE ANALYZER OF THE PARAMETERS OF OIL AND HYDROCARBON MIXTURES

Kashaev R.S., Kozelkov O.V.

Annotation

Presented advantages of use of on-line proton magnetic resonance PMR-analyzer (PMRA) for measurements of properties of oil-well liquid, crude oil and hydrocarbon mixtures. Described testing ground for representative selection of probes, portable relaxometer NMR, realizing measurement anaanalysis of results, schemes of stationary стационарного PMRA, using which can be constructed the installation of PMR-analyzer.

Keywords

Analyzer, measurement, method, relaxometer, accounting.

Аннотация

Представлены преимущества применения проточного протонного магнитно-резонансного метода и анализатора (ПМРА) для экспресс-анализа скважинной жидкости, сырой нефти и углеводородных смесей. Описаны стенд для представительного отбора проб, портативный релаксометр ПМР, осуществляющий измерения и анализ результатов измерений, чертежи стационарного ПМРА, по которым может быть создан ПМР-анализатор.

Ключевые слова

Анализатор, измерение, метод, релаксометр, учёт.

Введение

Измерение и контроль параметров любого технологического процесса – важнейший инструмент управления и оснащённость измерительной техникой определяет научно-технический уровень процесса.

К преимуществам анализатора состава и параметров скважинной жидкости, сырой нефти и многофазных потоков любых углеводородных (УВ) жидкостей и их смесей на основе протонного магнитного резонанса (ПМР) – анализатора ПМР (ПМРА) - можно отнести следующие:

1. Универсальность и полная автоматизация анализа, легкая встраиваемость в технологические линии и неразрушающий контроль технологических параметров водород содержащих жидкостей; измерение свойств и технологических параметров непрозрачных и оптически плотных УВ-жидкостей в режиме реального времени
2. Большая номенклатура контролируемых параметров и показателей продукции: скорости потока v , концентрации воды W , концентрации нефти O , газонасыщенности G , плотности ρ , вязкости η , содержание водорода H , концентрации парафина P , асфальтенов A , серы, фазового состава; многокомпонентный анализ одним прибором; отбор пробы из трубопроводов диаметром от $\varnothing 30$ мм до $\varnothing 1000$ мм)
3. Отсутствие контакта расходомера и анализатора с исследуемой жидкостью и соответственно нет разрушающего действия агрессивных сред на оборудование, отсутствие потребности в расходных материалах; минимальное техническое обслуживание и отсутствие движущихся блоков в схемотехнике ПМР-релаксометра (ПМРР);

Описание ПМРА и стенда

Режим работы ПМР-анализатора – автоматический, непрерывно-циклический, время однократного измерения - не более 2 минут. Длина линии связи (в целях взрывобезопасности) с контроллером ЭВМ - $\lambda/4$ (около 15 м). Информация о результатах измерений по радиоканалу может передаваться на центральный диспетчерский пульт управления скважинами и групповыми замерными установками.

Это позволяет: увеличить производительность путем непрерывного контроля технологических параметров нефтяного сырья и нефтепродуктов, улучшить управление технологическими процессами; своевременно выявлять некондиционные продукты и повысить качество нефтепродуктов; в значительной степени снизить эксплуатационные расходы производства.

В качестве примеров применения ПМРА можно привести следующие:

- контроль и управление добычей нефти (управление погружным насосом и плунжерным насосом – станком-качалкой) по измерениям технологических параметров (дебита Q , концентрации воды W , нефти O , газа G , плотности ρ и вязкости η нефти) скважинной жидкости (СКЖ) на устье скважин и при поочередном опросе скважин на групповой замерной установке (ГЗУ);
- контроль параметров сырой нефти (СН) в процессе подготовки и переработки по следующим физическим и технологическим параметрам – водородосодержанию H , концентрациям воды W , нефти O , газа G , парафинов P , асфальтенов A , смол S , плотности ρ , вязкости η , фазовому составу;
- контроль параметров сырой нефти (СН) в процессе обезвоживания и подготовки водо-нефтяных, водо-мазутных и водо-битумных эмульсий;
- контроль параметров в процессе переключения и смешения потоков СН;
- контроль загрязненности сточных и отработанных вод нефтью и нефтепродуктами в диапазоне 0.1 - 100% с абс. точн. $\pm 0.03\%$, загрязненность (концентрации N парамагнитных ионов тяжелых металлов) солями тяжелых металлов (Ni, Cr, Co, V, Fe, Zn, Cu и др.) в диапазоне от 0.05 мг/л.

На кафедре «Приборостроение и мехатроника» Казанского государственного энергетического университета разработан Портативный релаксометр ПМР-NP2 (переносной, автономный с питанием от аккумулятора), защищенный несколькими патентами и получивший Золотую медаль на Московском Салоне инноваций и инвестиций, Национальный сертификат качества. Разработан стенд (рис.1) для отработки системы представительного пробоотбора стационарного проточного ПМРА. Для автоматизированного управления электроприводом пробоотборного патрубка ПМРА (рис.2, 3) используется комплект управления от микроконтроллера *ATMEGA 8515L*, а для его разработки - отладочный набор и система проектирования *STK500* для AVR флэш-контроллеров фирмы *Atmel* на панели с маркировкой *SCKT3000D3*.

Разработана схемотехника портативного ПМР-релаксометра для анализа сигналов и магнит с датчиком, к которому по трубке подводится СКЖ, отобранная из потока через патрубок, вставленный в коническое расширение трубы от устья скважины или магистрального трубопровода.

В настоящий момент в кооперации с «Нефтеавтоматика» и КФ ВНИИР идет работа над стационарным и переносным вариантами ПМРА.



Рисунок 1 – Учебный стенд по изучению системы пробоотбора и анализа ПМРА.

Слева – магнит с датчиком, к которому по трубке подводится СКЖ, отобранная из потока через патрубок, вставленный в коническое расширение в трубе от скважины или магистральном трубопроводе. Ниже – кинематическая схема перемещения патрубка. Справа – контроллер, управляющий отбором пробы для анализа ПМРА. В нижнем правом углу – Портативный ПМР-NP1.

Заключение

Способы, устройства и модель измерения физико-химических параметров скважинной жидкости с помощью проточных ПМР-анализаторов по нашим патентам [1-27] обладают следующими преимуществами:

1. Магистральная труба может быть любого диаметра, т.е. верхний диапазон измерений расхода практически неограничен, а нижний соответствует $Q = 0$;
2. В устройстве пробоотбора осуществляется существенная гомогенизация СКЖ без гомогенизаторов, создающих сопротивление потоку;
3. Подача пробы в датчик ЯМР-анализатора производится перепадом давлений, регулируемых положением патрубка в расширителе, при этом не требуются насосы и задвижки, можно «остановить» поток в датчике ЯМР;
4. Расход в трубе осуществляется предварительным определением влажности W , выбора из базы данных ЭВМ зависимости скорости релаксации от потока, соответствующей данной W , измерением эффективного времени релаксации, которые могут быть измерены с большей точностью, чем фаза и амплитуда сигнала и определения скорости потока по скорости релаксации;
5. Расход в трубе можно осуществлять выбором положения патрубка, соответствующего значениям максимальной крутизны скорости релаксации;

6. Возможно сканирование скорости потока по сечению трубы перемещением патрубка;
7. Возможно измерение ФХП жидкости в «остановленном» потоке.

Список литературы

1. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш., Даутов И.Р. Пат. РФ №74710, 10.07.2008. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом ЯМР.
2. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш. Пат. РФ № 2519496 С1. Способ оперативного контроля качества нефти» 24.12.2012. Бюлл. 2014. №16.
3. Кашаев Р.С., Темников А.Н., Идиятуллин З.Ш. Патент РФ № 2544360. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентных жидкостей методом ядерного магнитного резонанса Оpubл. 20.03.2015. Бюлл. № 8.
4. Идиятуллин З.Ш., Кашаев Р.С., Темников А.Н. Пат. РФ № 67719 РФ. Портативный релаксометр ЯМР G01N24/08 / Приоритет от 25.06.2007 г.
5. Идиятуллин З.Ш., Кашаев Р.С., Темников А.Н. Патент РФ на изобретение №23191138. 4.05.2006 г. Устройство термостатирования образца в датчике магнитного резонанса.
6. Кашаев Р.С. Универсальный портативный экспресс-анализатор на основе импульсного ЯМР. Фундаментальные исследования. 2009, №5.
7. Кашаев Р.С., Малацион С.Ф., Самигуллин Ф.М. Исследование структурно-динамических параметров и дисперсных характеристик водно-мазутной эмульсии методами ЯМР. Изв. вузов. Пр.энергетики. 2004. Т. 1–2. С. 139–146.
8. Кашаев Р.С. Аппаратура и методики ЯМР-анализа нефтяных дисперсных систем. Lambert Academic Publishing, 2012. -91 с.
9. Kashaev R.S., Temnikov A.N., Idiattullin Z.Sh., Charitonov M.V., Farachov T.I. NMR-Analyser for Automatic Control of Physical-Chemical Parameters of Crude Oil and Bitumen//Extended Abstracts “Magnetic Resonance & Related Phenomena”, XXVIII Ampere Congress, 1996, Canterbury, England, p.295-296.
10. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Проточные протонные магнитно-резонансные анализаторы для контроля скважинной жидкости по ГОСТ Р 8.615-2005 ГСИ. Изв. Вузов. Пробл. Энерг., 2017, № 1-2. С. 137-151.
11. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Способы и мехатронные комплексы нефтедобычи. Современные наукоемкие технологии, 2017, №6 с.52-57. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36697>.
12. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Малев Н.А., Кубанго Б.Э. Автоматическое управление УЭЦН используя измерения СКЖ проточным ПМР-анализатором (статья в журнал ВАК). Изв. Вузов. Пробл. энергетики, 2017, №5-6. С.
13. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Система оптимизации работы группы нефтегазовых скважин. Заявка на патент №2017127877 от 03.08.2017.
14. Kubango B.E., Kashaev R.S Electric drive control system of oil producing wells from the flow NMR-analyzer. XII Intern.conf. Science, Technology and Higher Education (Westwood, Canada), 21-22 дек. 2016 г. p.115-124.
15. Кубанго Б.Э., Кашаев Р.С. Управление электроприводами по ЯМР-параметрам скважинной жидкости. Межд. н./техн. конф. "Пром-Инжиниринг" (Inter. Conference on Industrial Engineering – ICIE 2017), СПб, 2017, с.1-3.
16. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Хазиахметова Л.Р. Автоматизация электроснабжения котельных и система контроля их параметров релаксометром ЯМР // Автоматизация. Современные технологии. 2017, т.71, №1, с.10-15.
17. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Кубанго Б.Э. Способы и мехатронные комплексы нефтедобычи. Современные наукоемкие технологии, 2017, №6 с.52-57. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36697>.
18. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Идиятуллин З.Ш., Темников А.Н., Ожерельева Е.Н., Перелевский Е.В.. Приборы и методы контроля концентрации парафина в нефти. Изв. Вузов. Пробл. энергетики, 2017, №3-4, с. 159-167
19. Кашаев Р.С., Козелков О.В., Малев Н.А., Кубанго Б.Э. Автоматическое управление УЭЦН используя измерения СКЖ проточным ПМР-анализатором Изв. Вузов. Пробл. энергетики, 2017, №5-6. С.
20. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборы и методы анализа физико-химических свойств нефти. Успехи современного естествознания, ISSN 1681-7494, 2017, №7, с. 12-17. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36470>
21. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборно-мехатронный комплекс отбора пробы из потока нефти. Фунд. исследования, ISSN 1812-7839, 2017, №8 (ч.1), С.38-43.
22. Кашаев Р.С., Козелков О.В. Приборостроение и мехатроника в нефтяной промышленности и энергетике (монография). Изд. Palmarium academic publishing, Saarbrucken, Germany. 2017, – 110 с.

**СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ АППАРАТУРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СКВАЖИН**

*Киргизов Д.И., к.т.н. - Зам. начальника Научно-Технического Управления ООО «ТНГ-Групп»
e-mail: kirgizov@tngf.tatneft.ru, www.tng.ru, тел: 8-917-274-54-36*

MODERN HIGH-TECH HARDWARE SYSTEMS USED IN GEOPHYSICAL STUDIES OF WELLS

Kirgizov D.I.

Annotation

The report describes the technologies and equipment used in TNG Groups and demanded by customers in Russia and CIS. The experience of working with various geophysical instruments developed and manufactured in TNG Groups is described.

Keywords

Geophysical instruments, TNG Groups, logging in drilling, nuclear magnetic resonance, neutron generators, core investigation, acoustic logging.

Аннотация

В докладе рассказывается о технологиях и аппаратуре используемой в ТНГ-Групп и востребованной заказчиками в РФ и СНГ. Описывается опыт работы с различными геофизическими приборами разработанными и изготовленными в ТНГ-Групп.

Ключевые слова

Геофизические приборы, ТНГ-Групп, каротаж в бурении, ядерно-магнитный резонанс, генераторы нейтронов, исследование керна, акустический каротаж.

ООО «ТНГ-Групп» одна из крупнейших сервисных геофизических компаний России. Мы работаем не только в России но и за рубежом – в Узбекистане, Казахстане, Ливии, Сирии, Анголе. Заказчиками являются такие нефтяные и газовые компании, как «Татнефть», ЛУКОЙЛ, «Газпром», ТНК-ВР, «Роснефть», «Газпромнефть», «Славнефть» и многие другие.

С момента образования в 1952 году на предприятии ведутся собственные научно-технические разработки. Основной задачей научных и опытно-методических подразделений, входящих в состав ООО «ТНГ-Групп», является разработка и внедрение востребованных в производственной деятельности инновационных технологий в области геофизики, а также методическая поддержка производственных подразделений ТНГ-Групп. Во многом благодаря собственным разработкам были оснащены наши производственные подразделения - порядка 40% геофизической аппаратуры и оборудования, сохраняя приоритет в области ядерно-магнитного каротажа, гидродинамических исследований, импульсных управляемых нейтронов и, в значительной степени – акустического каротажа.

Стратегической целью компании является создание своих высокотехнологичных разработок не уступающих, а по возможности и превосходящих западные аналоги.

Важнейшим направлением является создание системы каротажа в процессе бурения (LWD). В настоящее время прошли испытания модули электрического (ЭКПБ), индукционного (ЭМКПБ), нейтронного (ННКПБ) каротажа для работы с электромагнитным и гидравлическим каналом связи. Ведутся испытания гамма-гамма плотностного каротажа (ГТКПБ), изготавливается модуль акустического каротажа (АКПБ). Начат выпуск малой серии этих приборов на диаметр 120 мм и разработка подобных приборов на диаметр 178 мм.

Использование данных модулей позволит оптимизировать положение ствола скважины относительно наиболее продуктивной части пласта, проводить каротаж в процессе бурения и в перспективе отказаться от промежуточного и окончательного каротажа. Это позволит оптимально проводить горизонтальные скважины как в карбонатном, так и терригенном разрезе. Кроме этого, нами разрабатывается собственное программно-методическое обеспечение для обработки данных получаемых в процессе бурения. Использование данного программно-методического обеспечения позволяет вести непрерывную комплексную интерпретацию с выдачей фильтрационно-емкостных свойств пород в режиме «on-line» и при необходимости корректировать положение ствола скважины.

В ТНГ-Групп разработан и изготавливается собственный автономный комплекс приборов для исследования на бурильных трубах (АКБТ). В состав данного комплекса входят 7 различных приборов: 1) нейтрон-нейтронный каротаж (АННК), 2) инклинометрический каротаж (АИНК), 3) электрический боковой каротаж (АЭКК), 4) индукционный каротаж (АЭМК), 5) спектрометрический гамма каротаж (АСГК), 6) акустический каверномер-профилемер (АКП), 7) волновой акустический каротаж (АВАК).

Одним из важных направлений исследований в ТНГ-Групп является разработка аппаратуры для исследования методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). Это направление работ традиционно для нашей компании (более 50 лет). ТНГ-Групп имеет на вооружении скважинные приборы ядерно-магнитного каротажа в поле постоянного магнита (МРКТ, ЯМК1 и ЯМТК). Приборы дают возможность определять

пористость общую, эффективную, позволяют проводить распределение пор по размерам. Сейчас решается задача определения характера насыщения в скважине по технологии 2D при каротаже.

Нами совместно с Казанским государственным университетом разработан скважинный прибор (КМРК), принцип действия которого основан на явлениях ядерного магнитного резонанса с одновременно дополнительной функцией оценки диэлектрической проницаемости по стволу скважины, а также программное обеспечение для обработки данных КМРК. В этом приборе имеется функция - выделения обводненных пресной водой прослоев (2D). У нас имеются как приборы являющиеся аналогами зарубежных приборов (например MRIL), так и абсолютно уникальные обладающие повышенной глубиной исследования (радиус $R=20\text{см}$), благодаря тороидальной форме магнитного поля на встречных магнитах, в отличие от классической цилиндрической формы. Наши приборы ЯМР обладают наилучшей разрешающей способностью в сравнении с конкурентами (до 2,5 см по вертикали). Ведется разработка аппаратуры и технологии исследований фильтрационно-емкостных свойств горных пород методом ядерно-магнитного резонанса в искусственном поле прибором прижимного типа. Целью является расширить возможности метода при определении фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения пород.

У нас имеется уникальная мобильная установка ядерно-магнитного резонанса для исследований полноразмерного керна (диаметром $D=100\text{ мм}$). Даная установка (ЯМР-КЕРН) позволяет проводить исследования керна прямо на скважине, непосредственно после его извлечения, без каких-либо подготовительных работ по его подготовки. По стандартным технологиям в лабораторных условиях для получения подобной информации о керне требуются месяцы более. Результаты исследования на установке ЯМР-КЕРН аналогичны результатам, которые получаются на стационарных установках известных зарубежных марок (Bruker, Oxford Instruments и др).

Ещё одним важным направлением исследований в ТНГ является разработка аппаратуры на основе управляемых генераторов нейтронов. **Это направление работ также традиционно для нашей компании с момента образования.** ТНГ-Групп полностью обеспечивает себя приборами собственного производства с широкой номенклатурой различных диаметров и термобаростойкости. Мы обладаем уникальными приборами. Например, мы производим скважинный прибор с генератором нейтронов являющийся самым компактным в России, его внешний диаметр всего 30 мм и длина 3 метра. Данный прибор используется для определения насыщения скважины без остановки добычи и доставляется к интервалу исследования через зазор между обсадной колонной и трубой через которую происходит добыча. Совсем недавно у нас прошли успешные испытания импульсного генератора нейтронов в процессе бурения (ИНКПБ). В последние годы разработана аппаратура, позволяющая производить автономную запись и реализующая метод импульсного нейтронного каротажа (ИНК). Этим прибором успешно проведены исследования на морской буровой платформе в Каспийском море. Основная решаемая задача – определение характера насыщения пласта без использования постоянного (химического) источника ионизирующего излучения.

Следующим важным направлением является проект комплексного прибора **широкополосного акустического каротажа и акустического сканера (АКМФ-Орфей).** **Оценив возможности зарубежной аппаратуры типа XMAC, MPAL, UBI, SonicScanner, компания нашла ряд технологических и методических решений по объединению нескольких отдельных приборов акустического каротажа в единое целое. Прибор «АКМФ-Орфей», испытываемый в настоящее время, содержит два модуля: усовершенствованный модуль ВАК32, который определяет коэффициент анизотропии и направление анизотропии, азимута трещиноватости; второй модуль (САС) осуществляет акустическое сканирование стенки скважины с количественной оценкой углов наклона трещин и пластов за один спуск. «АКМФ-Орфей» позволяет оценивать эффективность гидравлического разрыва пласта (ГРП), определять кинематические и динамические параметры основных типов волн P,S,ST.**

В составе ТНГ-Групп имеется предприятие «Универсал» занимающееся мелкосерийным выпуском геофизических приборов и другого различного оборудования применяемого в геофизическом сервисе. На сегодня предприятие «Универсал» готово предложить для поставки следующее оборудование разработки ТНГ-Групп.

Это восьми секторная сканирующая аппаратура АКЦ-8СМ на преломленных волнах предназначена для определения качества сцепления цемента с колонной по восьми отдельным секторам периметра скважины, с выделением вертикальных каналов раскрытостью не менее 15° . Кроме этого данная аппаратура позволяет определять качество сцепления цемента с породой, так называемый «второй» контакт. В докладе представлен пример определения качества цементирования в интервале заколонного опереточка. По результатам исследований аппаратурой АКЦ-8СМ в цементном камне были выявлены каналы, которые явились причиной возникновения межпластового заколонного опереточка.

Следующим прибором является скважинная аппаратура видео каротажа (СВК). Она предназначена для визуального обследования элементов внутрискважинного оборудования при проведении аварийных и ремонтных работ. Обладает следующими преимуществами - малые габариты скважинного прибора (диаметр $D=44\text{мм}$). Исследования проводятся с помощью обычного 3-х жильного каротажного кабеля и не требуют использования оптоволоконных технологий. При необходимости аппаратура может быть оперативно доставлена на скважину при проведении аварийных работ. В докладе приведены примеры результатов исследований скважин с использованием скважинной видеокамеры.

Следующим является аппаратура сканирующей магнитной интроскопии. Прибор предназначен для выявления дефектов на внутренней и внешней стороне колонны при планировании ремонтных работ. Принцип работы основан на возбуждение постоянным магнитом вихревых токов в колонне и регистрации возникающих магнитных полей с помощью десятков датчиков магнитного поля расположенных вокруг прибора. В результате каротажа получается развертка внутренней поверхности трубы. Основным преимуществом является определение

дефектов обсадной колонны с повышенным разрешением. Это позволяет выявлять сквозные отверстия диаметром 4 мм. Исследования могут проводиться при заполнении скважины любым типом промывочной жидкости и даже в «сухих» скважинах (выше уровня жидкости). Имеются модификации для 5 и 6 дюймовых колонн. В докладе представлен пример заключения по одной трубке обсадной колонны, подготовленный с использованием программы автоматизированной интерпретации. При проведении исследований в интервале или по всему стволу заключение выдается в виде сводного альбома, состоящего из заключений по каждой отдельной трубке.

Следующим прибором является дистанционно-управляемый по кабелю многоканальный геофизический пакер (ПГЛК). Он предназначен для поиска интервалов не герметичности обсадных колонн. Суть метода заключается в многократных переустановках его на разные глубины в скважине, с последующей опрессовкой давлением, одновременной регистрацией и визуализацией параметров: подпакерного и надпакерного давлений; локации муфтовых соединений и фиксации раскрытия пакера. При использовании данного прибора работы по поиску не герметичности проводятся через стандартный геофизический подъемник без привлечения дополнительного оборудования на трубах, что существенно сокращает время ремонтных работ. В докладе показан пример скважины с нарушением герметичности колонны, выявленным по результатам применения дистанционного пакера.

Следующим прибором является эжекторная установка (струйный насос), который приводится в действие нагнетанием в НКТ рабочей жидкости (воды) насосным агрегатом, расположенным на поверхности. Снижение давления в подпакерном пространстве зависит от скорости прохождения жидкости через сопло и регулируется давлением насосного агрегата. В ТНГ-Групп налажено собственное производство различных типов подобных установок применяемых при освоении скважин с одновременным исследованием скважинными приборами проходящими через насос.

Следующим прибором серийно выпускаемым в ТНГ-Групп является гидравлический перфоратор. Применение этого прибора позволяет исключить применение взрывчатых веществ при проведении перфорации обсадной колонны. Особенно этот прибор востребован при проведении различных ремонтных работ с обсадной колонной. В докладе показан макет заколонного пространства с проколотой обсадной трубой и размытой каверной.

К сожалению, в рамках одного доклада не возможно рассказать обо всех технологиях и приборах применяемых в ТНГ-Групп.

Союз науки и производства в значительной мере позволил ТНГ-Групп стать одной из ведущих сервисных геофизических компаний в России, и едва ли не единственной компанией, создавшей и сохранившей свою «науку» в течение более 60 лет. ТНГ – Групп готово к взаимовыгодному сотрудничеству и готово предоставить дополнительную информацию по представленным приборам и технологиям.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Кобзев А.А., к.т.н., с.н.с., Корольков В. А., д.т.н., зам. дир. по НР,

Кураков С.А., н.с., Пустовалов К.Н., м.н.с., Тельминов А. Е., к.ф.-м.н., с.н.с. Тихомиров А. А., д.т.н., г.н.с.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, www.imces.ru, Академический пр., 10/3, г. Томск, 634055, Россия, тел. (3822) 492-265, e-mail: post@imces.ru

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR METEOROLOGICAL MONITORING

Kobzev A.A., Korolkov V.A., Kurakov S.A., Pustovalov K.N., Telminov A.E., Tikhomirov A.A.

Annotation

The report presents the development of IMCES SB RAS for monitoring of natural objects and measurement of meteorological characteristics with the use of unmanned aerial vehicles.

Keywords

Unmanned aerial vehicles, meteorological characteristics.

Аннотация

В докладе представлены разработки ИМКЭС СО РАН для мониторинга природных объектов и измерения метеорологических характеристик с применением беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, метеорологические характеристики.

В ИМКЭС СО РАН (г. Томск) ведётся разработка и производство измерительных средств на базе привязного аэростата и беспилотного летательного аппарата мультикоптерного типа, для вертикального зондирования характеристик пограничного слоя атмосферы.

Приземный слой атмосферы это относительно тонкий слой толщиной порядка 1 – 1,5 км, который оказывает существенное (а во многих случаях определяющее) влияние на самые различные стороны человеческой деятельности. Знание вертикальных профилей основных метеорологических величин: температуры, давления, влажности, скорости и направления ветра в атмосферном пограничном слое необходимо для решения многих научных и практических задач. Основными методами исследования его параметров являются дистанционные: лидарные и содарные методы обладающие существенным недостатком – неоднозначным решением уравнения зондирования. В настоящее время происходит интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов, которые даже в относительно простом исполнении способны достигать высот полета до 2 км, поэтому перспективно развивать альтернативный метод получения информации о параметрах в атмосферного пограничного слоя – размещение метеодатчиков на привязных и управляемых БПЛА.

В данной работе представлены некоторые результаты пробного вертикального зондирования пограничного слоя атмосферы с помощью портативной электронной метеостанции (рис. 1 а), размещенной на гексакоптере (рис. 1 б), и ультразвукового метеорологического комплекса АМК-03, размещенного на аэростате (рис. 1 в)

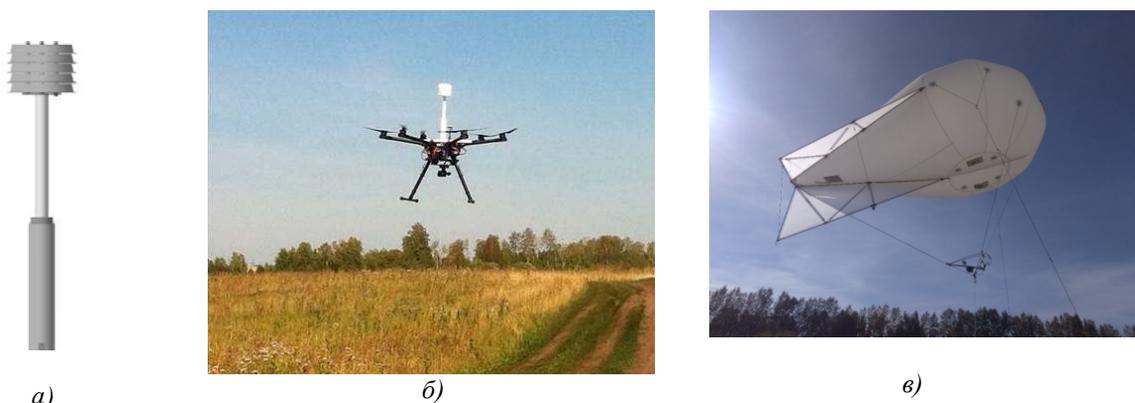


Рисунок 1 – Общий вид портативной электронной метеостанции (а), гексакоптер в полете с установленной на нем метеостанцией (б), внешний вид аэростата с установленной АМК-03 (в)

В состав метеостанции входят датчик влажности, температуры воздуха, которые размещены в верхней части измерительного блока в радиационной защите. Датчик давления установлен на печатной плате измерительного блока размещенной в цилиндрической нижней части. Для уменьшения влияния нагрева двигателей на измерение температуры и влажности метеостанция размещается над корпусом БПЛА. Данные от метеостанции передаются на землю по радиоканалу организованному с помощью радиомодулей XBee-PRO работающих на частоте 2.4 ГГц и обеспечивающих скорость передачи до 250 Кбит/с. Согласно спецификации данный модуль может передавать данные до 1500 м в прямой видимости.

Характеристики метеостанции приведены в таблице.

Таблица - Характеристики портативной электронной метеостанции

Характеристика	Значение
Диапазон измерения температуры воздуха	- 50 .. +50 °С
Погрешность измерения температуры	±0,2 при T ≤ +30°С; ±0,3 °С при T > +30 °С;
Диапазон измерения влажности	от 15 до 100 %;
Погрешность измерения относительной влажности	±2 % при T > 0 °С; ±5 % при T < 0 °С;
Диапазон измерения атмосферного давления	от 520 до 800 мм рт. ст.;
Погрешность измерения	±0,5 мм рт. ст.
Время автономной работы	10 часов

Метеостанция устанавливалась на гексакоптер фирмы DJI модель S900. Высокопроизводительный автопилот автоматически выравнивает корпус по горизонтали, что делает маневрирование БПЛА аккуратным и безопасным. Одной из функций автопилота является удержание позиции гексакоптера в одной точке, что расширяет возможности применения ПЭМС-БПЛА. В функции автопилота также входит автоматический возврат гексакоптера в точку старта при потере связи с пультом управления.

Система связи гексакоптера обеспечивает отображение телеметрии на дисплее. Фиксируются: высота, скорость полета БПЛА, координаты, показания компаса и гироскопа, состояние аккумуляторной батареи, режимы работы навигатора и автопилота. В качестве дисплея может выступать обычный смартфон. Система крепления аккумулятора позволяет оперативно менять батареи питания. Специальное наклонное расположение лучей, на которых установлены пропеллеры, обеспечивает дополнительную устойчивость во время маневрирования. Современные материалы, такие как углепластик, позволяют гексакоптеру быть прочным и легким. Полезная нагрузка может составлять до 3,3 кг при полном полетном весе 8,2 кг. Высота полета до 2000 м.

На рис. 2 приведены результаты измерения профилей метеорологических величин до высот 2000 м.

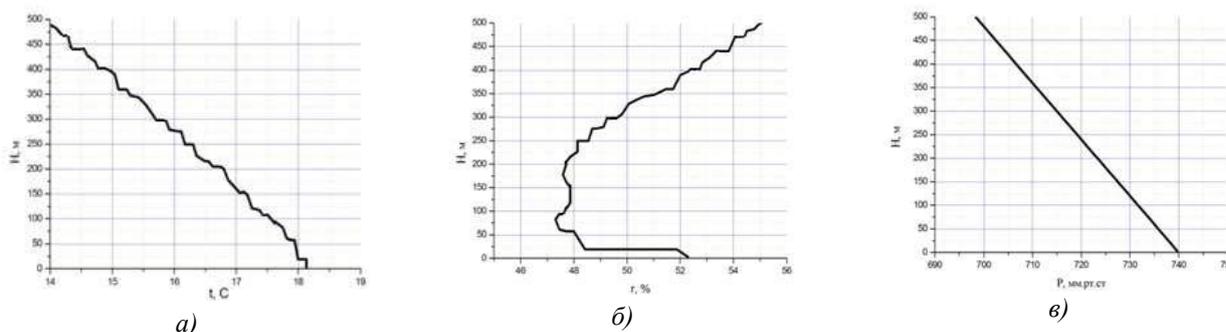


Рисунок 2 – Результаты измерения вертикальных профилей метеовеличин: температуры воздуха (а), влажности воздуха (б), атмосферного давления (в).

При подъеме БПЛА до высоты 500 м давление и температура воздуха линейно уменьшались с высотой, а влажность воздуха сначала уменьшалась до 25 метров затем начала возрастать линейно. Уменьшение влажности на первых 25 метрах можно объяснить инерционностью датчика влажности и увеличенной аспирацией при воздействии воздушных потоков от винтов БПЛА. Поэтому при проведении сравнительных экспериментов необходимо зависание БПЛА на фиксированных высотах.

Так же проводились измерения ультразвуковой метеостанцией АМК-03 устанавливаемой на борту привязного гибридного аэростата К-25М/А (изготовлен ОСКБ МАИ).

Ультразвуковая метеостанция устанавливалась на подвесе размещенным в 2 м ниже оболочки аэростата. Аэростат был способен поднимать до высоты порядка 1000 м. Данные передавались по радиоканалу XBee-PRO. Высота подъема аэростата осуществлялось оптическим дальномером. Помимо температуры, влажности воздуха и давления производились измерения 3D-вектора скорости ветра. На земле на уровне 4 м устанавливалась контрольная метеостанция того же типа. Сначала аэростат поднимался на 4 м и располагался в 10 м от контрольной метеостанции для проверки идентичности показаний (рис. 3).

Из рисунка видно что, профили температуры, скорости горизонтально ветра и относительной влажности в целом хорошо согласуются с теоретическими представлениями о вертикальном изменении этих метеорологических величин. На профиле вертикальной компоненты ветра, наблюдаются высокие (более 1 м/с) отрицательные значения, не характерные для атмосферных условий в момент измерения, они обусловлены образованием нисходящих потоков возникающих при обтекании аэростата.

На профиле относительной влажности воздуха хорошо заметны ступеньки, которые обусловлены инерционностью датчика влажности. Анализ скорости прихода значений относительной влажности воздуха к условиям среды на фиксированных уровнях во время останова длительностью 10, 5 и 3 минуты позволил сделать вывод о том, что для измерения надёжных значений относительной влажности на фиксированных уровнях необходимы остановки длительностью не менее 5 минут. В свою очередь измерение температуры ультразвуковым методом возможно при непрерывном движении.

Анализ результатов измерений позволяет, в целом, сделать вывод об эффективности использования БПЛА, как привязного, так и мультикоптерного типа с установленными на них контактными метеодатчиками для оценки вертикальных профилей метеорологических величин в пограничном слое атмосферы и мониторинга их изменения.

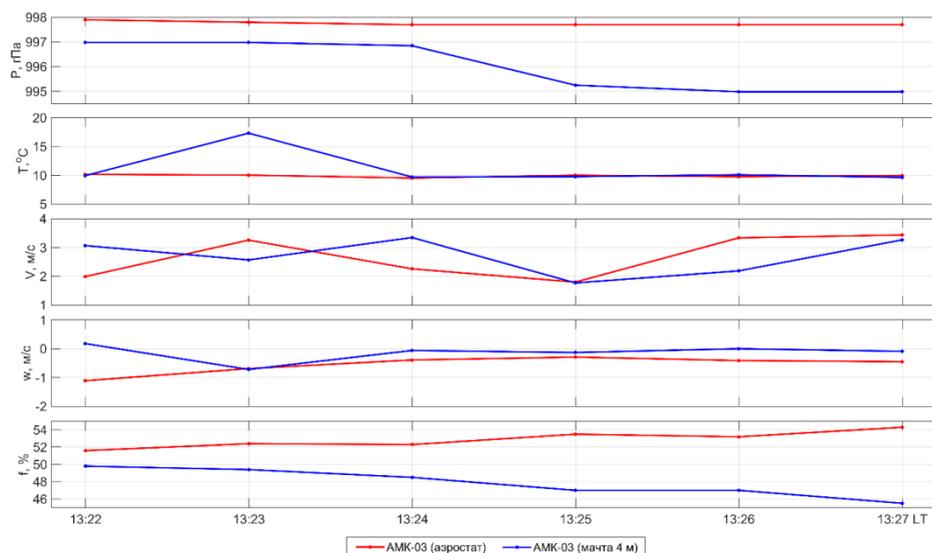


Рисунок 3 – Динамика атмосферного давления (P), температуры воздуха (T), скорости горизонтальной (V) и вертикальной (w) составляющих ветра, и относительной влажности (f), измеренная аэростатной и стационарной автоматическими метеостанциями АМК-03 на высоте 4 м.

Гексакоптер с портативной электронной метеостанцией позволяет весьма оперативно провести измерения вертикальных профилей температуры, влажности воздуха и атмосферного давления. Привязной аэростата с автоматической метеорологической станцией АМК-03 целесообразно использовать для долговременных наблюдений. Установлено, что для минимизации влияния оболочки аэростата на измеренные значения скорости вертикальной составляющей ветра расстояние от неё до полезной нагрузки должно составлять не менее 5 метров.

Определено, что для получения надёжных значений относительной влажности при вертикальном зондировании пограничного слоя атмосферы необходимы остановки длительностью не менее 5 минут.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ОСАДКОМЕРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И МИКРОСТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Кальчихин В.В., к.ф.-м.н., с.н.с., Кобзев А.А., к.т.н., с.н.с. Корольков В.А., д.т.н., зам. дир. по НР. Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, www.imces.ru, Академический пр., 10/3, г. Томск, 634055, Россия, тел. (3822) 492-265, e-mail: post@imces.ru

USE OF THE OPTICAL PRECIPITATION GAUGE FOR STUDY OF INTEGRAL AND MICROSTRUCTURAL PRECIPITATION CHARACTERISTICS

Kalchikhin V.V., Kobzev A.A., Korolkov V.A.

Annotation

The main advantages of the developed optical precipitation gauge over traditional devices for solving the task of measurements of precipitation characteristics are shown. The description of the measuring circuit features, the device construction and results of full-scale tests are presented.

Keywords

Atmospheric precipitation, rain, optical precipitation gauge.

Аннотация

Показаны основные преимущества разработанного оптического осадкомера перед традиционными приборами при решении задачи определения характеристик атмосферных осадков. Представлено описание особенностей измерительной схемы, конструкции прибора и результаты натурных испытаний.

Ключевые слова

Атмосферные осадки, оптический осадкомер.

Определение характеристик выпадающих атмосферных осадков является важной задачей при решении некоторых задачах научных исследований. Среди средств измерений, предназначенных для определения характеристик атмосферных осадков, наиболее перспективными являются приборы, основанные на оптических методах. Они обеспечивают возможность автоматического получения наиболее полной информации о характеристиках атмосферных осадков: времени начала и продолжительности выпадения, их виде (дождь, снег, град), интенсивности и количестве, а также об их микроструктуре. Кроме того, такие приборы должны легко интегрироваться в состав автоматических метеорологических комплексов, для расширения их измерительных возможностей. В статье приведено описание разработанного опытного образца оптического осадкомера, разработанного в ИМКЭС СО РАН. Принцип действия прибора основан на анализе теневых изображений отдельных частиц осадков, представлены результаты его лабораторных испытаний и натурных измерений характеристик дождевых и снеговых осадков и их сравнение с традиционными осадкомерами. Внешний вид и схема оптического осадкомера представлены на рис. 1.

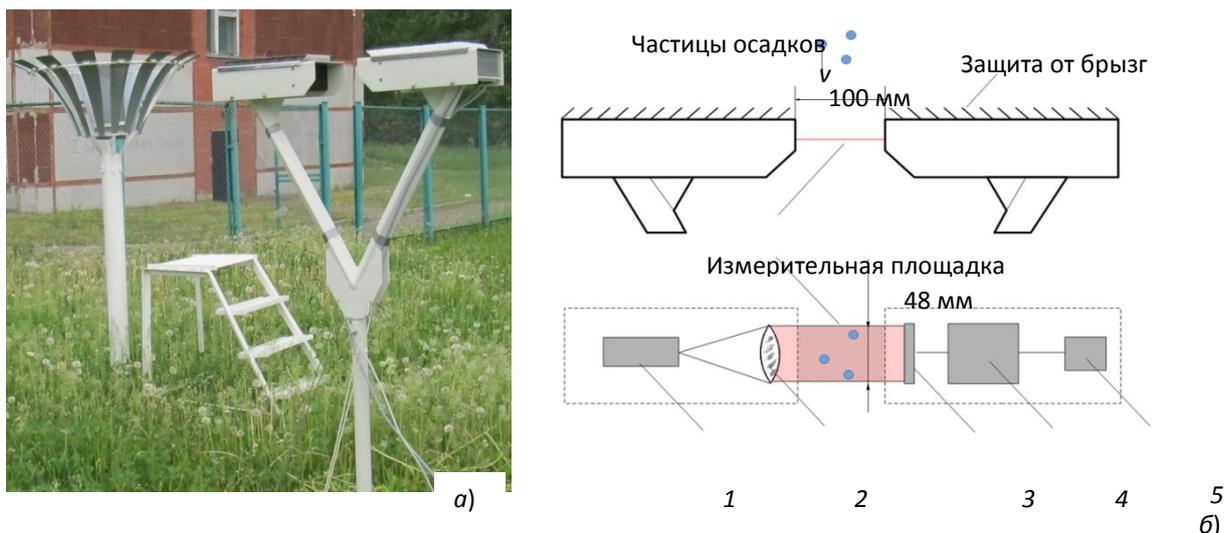


Рисунок 1 – Оптический осадкомер ОПТИОС: а – внешний вид прибора рядом со стандартным осадкомером О-1 на метеорологической площадке ИМКЭС СО РАН; б – функциональная схема ОПТИОС: 1 – источник оптического излучения; 2 – система оптических линз; 3 – линейный сенсор; 4 – блок формирования измерительной информации; 5 – выходной интерфейс.

Для реализации метода получения и анализа теневых изображений частиц осадков плоский горизонтальный световой поток от источника излучения 1, коллимированный с помощью цилиндрической линзы 2, направляется на приемник 3 (линейный оптический сенсор, содержащий 768 светочувствительных элементов размером 63,5×63,5 мкм каждый). При этом формируется измерительная площадка прибора (рис. 1б). Размеры последней определяются длиной оптического сенсора и размером открытой части измерительного канала, через которую проходят частицы осадков. Пересекая световой поток от источника излучения, падающие частицы вызывают затенение элементов линейного сенсора.

Высокая частота считывания информации о количестве затененных элементов (порядка 20 кГц) обеспечивает возможность многократного измерения горизонтальных сечений тени каждой частицы по мере ее прохождения через измерительную площадку. Сигнал с выходов линейного сенсора поступает в блок формирования измерительной информации 4, работающий под управлением встроенного микроконтроллера. После предварительной обработки измерительная информация через выходной интерфейс 5 поступает во внешнее обрабатывающее устройство (персональный компьютер – ПК) для дальнейшей обработки, визуализации и хранения. Число измеренных сечений каждой частицы зависит от скорости ее падения, вертикального размера и частоты сканирования линейного сенсора. На основании анализа размеров сечений каждой частицы восстанавливаются её эквивалентный диаметр и высота, форма, скорость падения, содержащийся в ней объём жидкости и другие параметры. Прибор точно определяет количество частиц, прошедших через измерительную площадку в единицу времени, что позволяет оценивать интенсивность осадков любого вида.

Погрешность измерений, производимых с помощью ОПТИОС, практически не зависит от количества, продолжительности и интенсивности зарегистрированных осадков, а чувствительность по количеству выпавших осадков у него существенно выше, чем у традиционных осадкомеров. Поэтому измерительная площадка такого прибора может иметь существенно меньший размер, чем приемное отверстие стандартного осадкомера. Основными критериями выбора этой величины, определяющими эффективность измерения, являются чувствительность прибора и объём формируемой измерительной информации. Результаты проведенных оценок показали приемлемость выбранного размера площадки – 48 см².

Существенное влияние на точность измерений параметров атмосферных осадков оказывает ветровой недоучет осадков (эффект Джевонса), проявляющийся в том, что при ветре количество собранной традиционным осадкомером влаги оказывается заниженным. Это происходит вследствие увеличения скорости воздушного потока непосредственно над приемным отверстием, поскольку при наличии ветра массивный корпус осадкомера существенно влияет на поток воздуха вблизи него. Оптимальным решением проблемы ветрового недоучета является применение конструкции прибора, обеспечивающей формирование виртуальной измерительной площадки на определенном расстоянии от основных элементов конструкции прибора. Результаты численного моделирования показали, что конструкция ОПТИОС и пропорции ее элементов обеспечивают ветровую прозрачность, достаточную для уменьшения погрешности, связанной с ветровым недоучетом.

При эксплуатации прибора может происходить регистрация объектов, не являющихся падающими частицами осадков: брызги осадков, запотевание и изморозь на защитных стеклах, а также насекомые, листья и т.д. Эти помехи приводят к ошибочным результатам, а в некоторых случаях – к сбоям в работе прибора.

Созданная система устранения внешних помех, использующая ряд технических и программных решений, обеспечивает повышение автономности работы прибора и увеличение временного интервала между его техническим обслуживанием. Для устранения помех, вызванных погодными явлениями с образованием влаги и ледяного покрытия на поверхности защитных стекол, применена система обогрева. Она включается и отключается автоматически при получении соответствующей информации. Программные решения исключают из анализа объекты, не относящиеся к падающим частицам осадков, путем применения фильтрации. Основными критериями для этого являются размеры объектов и время их нахождения в пределах измерительной площадки.

Разработанное программное обеспечение (ПО), кроме фильтрации измерительных данных, обеспечивает решение ряда других задач, направленных на автоматизацию процесса измерений. ПО состоит из двух программ. Первая программа выполняется в блоке формирования измерительной информации ОПТИОС и осуществляет преобразование сигналов с выходов линейного сенсора в измерительную информацию, первичную фильтрацию данных и их передачу в выходной интерфейс. Вторая программа работает на ПК и осуществляет обработку, корректировку и фильтрацию данных, вычисление параметров отдельных частиц (диаметр, объём, скорость), расчет интегральных характеристик осадков на основе разработанных алгоритмов, визуализацию, а также выдачу измерительной информации и формирование файлов данных.

Калибровка ОПТИОС заключалась в проведении процедуры получения значений поправочных коэффициентов, которые необходимо внести в алгоритм расчета суммарного объема жидкости, прошедшей через измерительную площадку.

Проведены лабораторные испытания ОПТИОС которые позволили уточнить систематические погрешности опытного образца прибора и ввести соответствующие поправочные коэффициенты в программу обработки результатов измерений. По результатам расчетов и испытаний получены следующие технические характеристики ОПТИОС: диапазон размеров регистрируемых частиц 0,5...10 мм; погрешность измерения размеров (D , мм) частиц не более $0,033(10 + D)$; диапазон оцениваемых скоростей падения гидрометеоров 0,2...20 м/с; погрешность измерения количества осадков (без учета пространственных вариаций и погрешности, создаваемой ветром) – не более 5%; диапазон измеряемой интенсивности дождя 0...2000 мм/ч; чувствительность по количеству выпавших осадков - не хуже 0,0001 мм; измерительная площадка – 48 см²; масса 8 кг; потребляемая мощность (без системы обогрева) – 0,5 Вт; рабочий диапазон температур -20...+60 °С; регистрация дождя, снега, града и смешанных осадков.

Во время натурных испытаний оптического осадкомера были проведены сравнения результатов измерений со стандартным осадкомером О-1 (с ветровой защитой Третьякова) и челночным осадкомером Davis Rain Collector (RC). Все

три прибора были установлены в непосредственной близости друг относительно друга (2-3 м), чтобы уменьшить погрешность, связанную с пространственными вариациями распределения осадков.

Пример сравнительного синхронного измерения интенсивности осадков I с помощью осадкомеров ОПТИОС и РС представлен на рис. 2а. Результаты получены 15 июня 2016 года, в период 18:45÷19:20. Видно, что временная динамика I у измерителей показывает хорошее совпадение. Отклонение значений, полученных ОПТИОС и РС в различных временных интервалах, может быть объяснено меньшим разрешением челночного осадкомера по количеству осадков (0,22 мм), что не позволяет производить с помощью РС точные измерения интенсивности осадков. Поэтому результаты измерений значений I для РС и ОПТИОС могут различаться на 25 процентов и более, в зависимости от выбранного временного интервала. Некоторое несовпадение моментов резкого изменения значений I объясняется особенностями алгоритмов усреднения данных, получаемых ОПТИОС, что может приводить к временному сдвигу результатов измерения на величину порядка 10 с.

Проведено также синхронное измерение количества собранных за сутки осадков Q с помощью ОПТИОС, РС и О-1. Показания О-1 снимались 2 раза в сутки (10:00 и 19:00 местного времени), показания РС и ОПТИОС снимались автоматически при регистрации выпадения осадков. За начало измерений в каждом сутках выбрано время 10:00. На рис. 2 б представлены результаты измерений количества осадков Q за период 14-19 июня 2016 года. Видно, что данные измерений ОПТИОС в целом хорошо согласуются с данными РС и О-1. Анализ данных измерений за 14 июня показал, что за эти сутки осадкомеры РС и О-1 не зарегистрировали осадков. В то же время количество выпавших осадков по данным ОПТИОС составило величину порядка 0,5 мм, что превышает заявленный порог чувствительности стандартных приборов. Возможно, такое малое количество осадков не было зафиксировано из-за погрешностей, связанных со смачиванием и испарением жидкости, поскольку 14 июня температура воздуха установилась в области 25 °С. С помощью ОПТИОС были зарегистрированы также совсем незначительные осадки 16-17 июня. За весь выбранный период количество измеренных осадкомером ОПТИОС осадков составило 14,46 мм, челночным осадкомером РС – 13,86 мм, а стандартным О-1 с ветровой защитой Третьякова – 13,2 мм.

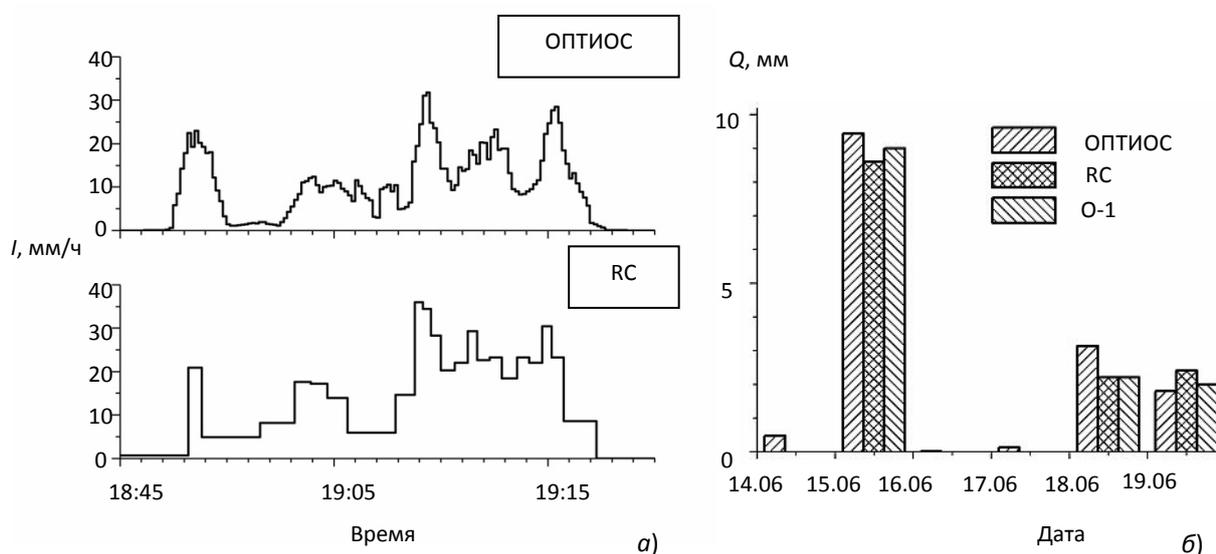


Рисунок 2 – Сравнение результатов измерения интегральных характеристик:
 а – интенсивность осадков ОПТИОС (вверху) и челночного осадкомера РС (внизу);
 б – количество осадков, измеренных с помощью ОПТИОС, РС и О-1.

Анализ результатов предварительных натуральных испытаний ОПТИОС совместно с традиционными измерителями О-1 и РС показал их достаточно хорошее совпадение. Погрешность измерения количества жидких осадков, не превышает 10 % по сравнению со стандартными приборами, полученное совпадение хода измеренной интенсивности выпадения дождя показывают. Таким образом показано, что применяемые алгоритмы обработки и фильтрации данных обеспечивают минимизацию случайных ошибок измерений. Вместе с тем, принципиальные различия в применяемых методах измерения не дают возможности для корректного сравнения ряда измеряемых параметров (например, для снеговых осадков), что требует применения дополнительных технических решений.

Оптический осадкомер, представленный в данной работе, требует минимального обслуживания в процессе эксплуатации, обеспечивает оперативное дистанционное получение и обработку измерительных данных, имеет программные и аппаратные средства автоматического контроля и восстановления работоспособности, предоставляет возможность автоматического определения вида осадков с точностью, сравнимой с точностью визуальных наблюдений. Совокупность этих характеристик позволяет сделать выводы о высоких показателях автономности данного измерителя характеристик атмосферных осадков и перспективности его применения в составе современных информационных систем, предназначенных для автоматического мониторинга и анализа метеовеличин.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента МК-179.2017.5.

**ПРИЕМНИКИ С ТОЧНОЙ ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ULF / ELF / VLF ДИАПАЗОНАХ**

*Козелов Б. В., д.ф.-м.н., директор, Пильгаев С. В., научный сотрудник
Ларченко А. В., младший научный сотрудник, Филатов М. В., младший научный сотрудник
Лебедь О. М., к.ф.-м.н., научный сотрудник, Федоренко Ю.В., к.ф.-м.н., руководитель сектора
ФГБНУ «Полярный геофизический институт», <http://www.pgia.ru>
183010 г. Мурманск, ул. Халтурина, 15, тел. (815)2253958, general@pgi.ru*

**PRECISELY SYNCHRONIZED RECEIVERS FOR ELECTROMAGNETIC EMISSIONS STUDIES IN THE
ULF/ELF/VLF FREQUENCY RANGE**

Kozelov B.V., Pilgaev S.V., Larchenko A.V., Filatov M.V., Lebed O.M., Fedorenko Yu.V.

Annotation

The geophysical equipment developed in the Polar Geophysical Institute for ground-based observations of ULF, ELF and VLF electromagnetic fields is presented. The main characteristics of instruments and some results obtained using the observations are discussed.

Keywords

Geophysical equipment, precise synchronization, electromagnetic field, ULF, ELF and VLF frequency range.

Аннотация

Представлена разработанная в Полярном геофизическом институте аппаратура для наземных наблюдений низкочастотных электромагнитных полей КНЧ, СНЧ и ОНЧ диапазонов. Обсуждаются основные характеристики приборов и некоторые научные результаты, полученные с использованием результатов измерений.

Ключевые слова

Геофизическая аппаратура, прецизионная синхронизация, КНЧ, СНЧ и ОНЧ диапазоны, электромагнитное поле.

В Полярном геофизическом институте (ПГИ) разработана и введена в эксплуатацию универсальная система сбора геофизических данных, позволившая повысить информативность геофизических наблюдений за счет организации прецизионной привязки каждого отсчета регистрируемых данных к мировому времени с абсолютной ошибкой, не превышающей 1 мкс [1, 2, 3, 4, 5]. Синхронизация результатов измерений с мировым временем осуществляется с помощью приемников GPS/GLONASS. На основе универсальной системы сбора созданы многокомпонентные приемники для наземных наблюдений естественных и искусственных сигналов в диапазонах частот от сотых долей герца до десятков килогерц. Из этих приборов сформированы высокоширотные измерительные комплексы, которые используются как для непрерывного измерения геофизических полей с целью контроля изменений космической погоды, так и в отдельных геофизических экспериментах. К последним относятся, например, проведение электроразведочных работ для прогнозно-поисковых изысканий на нефть и газ в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа и успешная регистрация низкочастотных сигналов в активных экспериментах по нагреву ионосферы мощными КВ радиоволнами. Применение этих приемников дало возможность измерять мгновенную фазовую скорость электромагнитных сигналов даже на коротких (около 100 км и более) радиотрассах на частотах от сотен герц до десятков килогерц и амплитуды и фазы сигналов СДВ передатчиков российской навигационной системы РСДН-20. Трехкомпонентные синхронизированные приемники были успешно применены для наблюдений низкочастотных сигналов, возникающих при модификации высокоширотной ионосферы мощным КВ излучением стенда, расположенного в северной Норвегии. Впервые при помощи трехкомпонентного приемника [6] были исследованы поляризационные характеристики магнитного поля на частотах вблизи поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера и дано объяснение наблюдаемому изменению поляризации с правой эллиптической вблизи ионосферного источника на левую при удалении от него на расстояние в несколько длин волн [7]. Такие измерения проведены впервые. На основе результатов наблюдений электромагнитных полей ионосферного источника в эксперименте по модификации нижней ионосферы мощным модулированным коротковолновым сигналом, проведенном ААНИИ на стенде EISCAT/Heating в октябре 2016 г., определены фазовые скорости ТЕ и ТЕМ волн в волноводе Земля–ионосфера на частотах 1017 и 3017 Гц и оценено влияние высыпаний во время полярных сияний на их значения [8]. Прецизионная синхронизация данных с мировым временем этого прибора обеспечила точность измерения частоты низкочастотного ионосферного источника, достаточную для наблюдения и измерения доплеровского смещения частоты, связанного с зональным ветром в D-области ионосферы [9].

Нижняя ионосфера является областью, трудной для экспериментального изучения. Данные, полученные с помощью трехкомпонентного СНЧ регистратора, созданного на основе системы сбора [1, 2, 3], в высокоширотных обсерваториях ПГИ «Ловозеро» и «Баренцбург» дали возможность измерить связанные с состоянием D-слоя ионосферы скорость распространения и волновой импеданс электромагнитных импульсов естественного происхождения. Было впервые экспериментально показано [10], что воздействие солнечных вспышек на

высокоширотную ионосферу проявляется в виде выраженных всплесков волнового импеданса и в уменьшении скорости распространения электромагнитных волн СНЧ диапазона.

Простота и дешевизна системы сбора [1, 2, 3] обусловила создание на ее основе короткопериодной сейсмостанции [11], использовавшейся службой лавинной защиты ОАО «Апатит» для исследования сейсмических воздействий на состоянии снежного покрова и влияния массовых взрывов на рудниках на сход лавин. Так как наблюдения велись непосредственно на лавиноопасных склонах вблизи от мест проведения взрывных работ, вероятность потери регистратора вместе с датчиками была высока, и низкая стоимость сейсмостанции стала одним из основных критериев ее успешного применения. В дальнейшем по заказу ФГУП «В/О «Академинторг» РАН», контракт 643/05832975/25286 была изготовлена малая серия этих приборов для организации сейсмической сети наблюдений института геологии Карельского научного центра РАН.

Приведенное описание аппаратуры, разработанной в Полярном геофизическом институте для наблюдений полярных сияний, низкочастотных электромагнитных полей КНЧ, СНЧ и ОНЧ диапазонов, микропульсаций атмосферного давления и сейсмических сигналов, дает возможность оценить ее качество и области применения, однако, вследствие своей краткости не позволяет детально ознакомиться с конструкцией и программным обеспечением приборов. Мы надеемся, что приведенный список используемой литературы частично компенсирует этот недостаток.

Список литературы

1. Пильгаев С. В., Ахметов О. И., Филатов М. В., Федоренко Ю. В. Универсальный синхронизатор // Приборы и техника эксперимента. № 3. 2008. С. 1-2.
2. Федоренко Ю. В., Пильгаев С. В., Филатов М. В., Ахметов О. И. Прецизионный четырехканальный 22-разрядный аналого-цифровой преобразователь на основе AD7716 // Приборы и техника эксперимента. № 4. 2009. С. 179-180.
3. Филатов М. В., Пильгаев С. В., Федоренко Ю. В. Четырехканальный 24 разрядный синхронизированный с мировым временем аналого цифровой преобразователь // Приборы и техника эксперимента. № 3. 2011. С. 73-75.
4. Шкарбалюк М. Е., Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Лебедь О. М., Филатов М. В., Федоренко Ю. В. Эмулятор GPS приемника как источник точного времени // Приборы и техника эксперимента. № 2. 2011. С. 110-115.
5. Лебедь О. М., Пильгаев С. В., Федоренко Ю. В. Программно-аппаратный комплекс для фазовых измерений в крайне низких-сверхнизких диапазонах частот // Приборы и техника эксперимента. № 3. 2012. С. 56-62.
6. Ларченко А. В., Лебедь О. М., Федоренко Ю. В. Трехкомпонентные измерения структуры электромагнитного поля в диапазоне крайне низких и сверхнизких частот // Радиотехника и электроника. Т. 60. № 8. 2015. С. 793-801.
7. Fedorenko Yu., Tereshchenko E., Pilgaev S., Grigoriev V., Blagoveshchenskaya N. Polarization of ELF waves generated during "beat-wave" heating experiment near cutoff frequency of the earth-ionosphere waveguide // Radio Science. Т. 49. № 12. 2014. P. 254-1264. DOI: 10.1002/2013RS005336.
8. Lebed' O.M., Fedorenko Y.V., Blagoveshchenskaya N.F., Larchenko A.V., Grigor'ev V.F., Pil'gaev S.V. Ground-based observations and simulation of ionospheric VLF source in experiments on modification of the polar ionosphere // Geomagnetism and Aeronomy, (2017) Vol. 57, № 6, pp. 698-705. <https://doi.org/10.1134/>
9. Tereshchenko E. D., Shumilov O. I., Kasatkina E. A., Gomonov A. D. Features of amplitude and Doppler frequency variation of ELF/VLF waves generated by "beat-wave" HF heating at high latitudes // Geophysical Research Letters. V. 41(13). 2014. P. 4442-4448. doi:10.1002/2014GL060376.
10. Лебедь О. М., Федоренко Ю. В., Ларченко А. В., Пильгаев С. В. Реакция авроральной нижней ионосферы на солнечные вспышки в марте 2012 г. по данным наблюдений в СНЧ диапазоне // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 55. № 6. 2015. С. 797-807.
11. Fedorenko Yury V., Husebye Eystein S. and Matveeva Tatiana. Cossack Ranger II – A High Quality, Versatile and Affordable 3-Component Short-Period Seismograph. Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries. Volume 81 of the NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. Springer. 2008. P. 171-187.

ПРИБОРЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ВЫСОКОШИРОТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПОЛЯРНОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

*Козелов Б. В., д.ф.-м.н., директор, Ролдугин А. В., ведущий электроник, Пильгаев С. В., научный сотрудник
ФГБНУ «Полярный геофизический институт», <http://www.pgia.ru>
183010 г. Мурманск, ул. Халтурина, 15, тел. (815)2253958, general@pgi.ru*

INSTRUMENTS FOR OBSERVATION OF HIGH-LATITUDE OPTICAL EMISSIONS IN POLAR GEOPHYSICAL INSTITUTE

Kozelov B.V., Roldugin A.V., Pilgaev S.V.

Annotation

The instruments developed in the Polar Geophysical Institute for ground-based observations of optical auroral emissions are presented. The main characteristics of instruments and some results obtained using the observations are discussed.

Keywords

Auroral emissions, CCD camera, atmosphere, Arctic.

Аннотация

Представлена разработанная в Полярном геофизическом институте аппаратура для наземных наблюдений оптических эмиссий полярных сияний. Обсуждаются основные характеристики приборов и научные результаты, полученные с использованием результатов измерений.

Ключевые слова

Полярные сияния, ПЗС камера, атмосфера, Арктика.

Авроральные явления являются зримым отражением процессов происходящих в околоземном космическом пространстве и верхних слоях атмосферы. Мощным средством их изучения являются оптические методы. При проведении экспериментальных исследований геофизических явлений кроме стандартной аппаратуры нередко необходимы адаптированное к специфическим научным задачам измерительное оборудование с уникальными характеристиками. В Полярном геофизическом институте (ПГИ) разработаны, созданы и успешно эксплуатируются такие приборы, предназначенные для наблюдений пространственного распределения интенсивности и спектрального состава полярных сияний. Из этих приборов сформированы высокоширотные измерительные комплексы, которые используются как для непрерывного измерения с целью контроля изменений космической погоды, так и в отдельных геофизических экспериментах. Эти комплексы развёрнуты в обсерваториях ПГИ «Ловозеро» и «Баренбург». Комплексы подобны по приборному составу и включают в себя: камеру всего неба, меридиональный спектрометр, эмиссионный имажер. Ниже приводится краткое описание некоторых приборов и их основные характеристики, а также анализируются особенности этих приборов, отличающие их от стандартной геофизической аппаратуры.

При исследовании морфологии, динамических и статистических параметров авроральных явлений вообще, и полярных сияний, в частности, используются камеры всего неба, работающие в видимом диапазоне. Приборы позволяют, с требуемым для данных задач пространственно-временным и амплитудным разрешением строить изображения всего неба в локальной точке наблюдения, панхроматические, или RGB-формата..

Весьма информативным средством в исследовании процессов в верхней атмосфере, сопровождающихся полярными сияниями, являются спектрометрические наблюдения, позволяющие оценивать энергию вторгающихся в верхнюю атмосферу частиц. В ПГИ были разработаны и в разное время использованы в научных исследованиях спектрометры, описанные в работах [2-4]. Спектрометры видимого диапазона длин волн 415-780 нм предназначены для работы в патрульном режиме. В этом диапазоне находятся эмиссии атомарного кислорода 557.7 и 630.0/636.4 нм., полосы первой отрицательной системы N_2^+ 427.8 и 470.9 нм., первой положительной системы молекулярного азота, атмосферной системы молекулярного кислорода O_2 . Данные эмиссии являются эффективным средством диагностики процессов, происходящих в ионосфере и магнитосфере во время геомагнитных излучений. Рабочее поле зрения прибора охватывает всю местную дугу вертикала. При работе в комплексе с камерой всего неба обеспечивается полное освещение общей авроральной обстановки. Приборы могут быть использованы не только для наблюдения полярных сияний, но и гораздо менее интенсивного свечения ночного неба, а также мониторинга состояния нижней атмосферы.

Для синхронного измерения интенсивностей авроральных эмиссий, в одном из наблюдательных комплексов, используется изготовленный в ПГИ четырёхканальный эмиссионный имажер, позволяющий получать изображения всего неба в 4-х значимых авроральных эмиссиях (до 8 эмиссий в асинхронном режиме), при умеренном темпе следования кадров. Имеется возможность проведение наблюдения полярных сияний в светлое время суток в спектральном канале 557.7 нм. Эмиссионный имажер второго наблюдательного комплекса не имеет ограничений по числу исследуемых эмиссий, при их последовательном сканировании.

Для наблюдений мелкомасштабной структуры полярных сияний разработана и успешно эксплуатируется система камер MAIN [6], в которой наблюдения производятся из двух точек с использованием комплекса

высокочувствительных ПЗС камер с различным полем зрения. Общая обстановка в районе наблюдений регистрируется камерой всего неба. Цветная камера с полем зрения 60 градусов дает качественную информацию об энергии выпадающих частиц вблизи магнитного зенита. Камеры с малым полем зрения (18 градусов) разнесены на 4 км и направлены на одну и ту же область вблизи магнитного зенита, что позволит восстановить пространственную структуру выпадений в плоскости, перпендикулярной силовым линиям магнитного поля. Эти камеры снабжены стеклянными фильтрами, подавляющими красную область спектра для уменьшения влияния долгоживущих состояний атома кислорода и улучшения временного разрешения. Режим работы узкоугольных камер позволяет получить информацию о динамике высотного профиля аврорального свечения в лучистых структурах и оценить энергию выпадающих авроральных электронов в пульсирующих формах.

Приведенное описание оптической аппаратуры, разработанной в Полярном геофизическом институте для наблюдений авроральных явлений, дает общее представление о составе, параметрах, области применения, созданных наблюдательных комплексов, однако, вследствие своей краткости не позволяет детально ознакомиться с конструкцией и программным обеспечением приборов. Мы надеемся, что приведенный список используемой литературы частично компенсирует этот недостаток.

Список литературы

1. Ролдугин А. В., Федоренко Ю. В., Леонтьев С. В., Галахов В. А., Дашкевич Ж. В., Козелов В. П. Методика измерений температуры и скорости ветра в ионосфере // Приборы и техника эксперимента. № 3. 2007. С. 122-127.
2. Ролдугин А. В., Федоренко Ю. В., Шароварова О. М., Пильгаев С. В., Дашкевич Ж. В. Меридиональный спектрометр // Приборы и техника эксперимента. № 5. 2007. С. 130-137.
3. Chernouss S., Fedorenko Yu., Roldugin A., Sharovarova O., Yevlashin L. CCD All-sky Spectrograph at Barentsburg (Spitsbergen) and First Observation Results // Annales Geophysicae. V. 26. Issue 5. 2008, P. 1121-1125.
4. Ролдугин А. В., Дашкевич Ж. В., Лебедь О. М., Федоренко Ю. В., Пильгаев С. В. Инфракрасный спектрометр: дизайн и предварительные результаты // Оптика атмосферы и океана. Т. 24. № 7. 2011. С. 611-616.
5. Ролдугин А. В., Дашкевич Ж. В., Кузнецова М. В., Федоренко Ю. В. Камера всего неба для регистрации трех авроральных эмиссий // Приборы и техника эксперимента. Т. № 2. С. 117-122. 2017. doi: 10.7868/S0032816217020239
6. Kozelov B.V., Pilgaev S.V., Borovkov L.P., Yurov V.E., Multi-scale auroral observations in Apatity: winter 2010-2011, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 1, 1-6, 2012, www.geosci-instrum-method-data-syst.net/1/1/2012/doi:10.5194/gi-1-1-2012

РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ В АТМОСФЕРЕ, ВЫБРАСЫВАЕМОЙ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЯТЦ

*Колотков Г.А., к.т.н., научный сотрудник лаборатории оптической локации,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, www.iao.ru, 634055, Россия, г. Томск,
площадь Академика Зуева, 1, тел. (3822) 491-546, e-mail: kolotkov@iao.ru*

RADIOMETRIC SYSTEM FOR REMOTE DETECTION OF RAISED RADIOACTIVITY IN THE ATMOSPHERE POLLUTED BY NFC ENTERPRISES

Kolotkov G.A.

Annotation

The original method for remote monitoring of radioactive emission from nuclear fuel cycle enterprises by secondary effects in the atmosphere is proposed. New problems of accidental atmospheric emissions of NFC enterprises are disclosed and identified. The possibility of using radio emission in the frequency range 1.4 - 1.8 GHz for long-range detection of increased radioactivity at distances up to 60 - 70 km from the emission source (NPP or RCP) operating in the nominal mode is theoretically justified.

Keywords

Emission, radioactivity, monitoring, radiometer.

Аннотация

Предложен оригинальный метод дистанционного мониторинга радиоактивных выбросов предприятий ядерно-топливного цикла по вторичным проявлениям в атмосфере. Раскрыты и выявлены новые проблемы аварийных атмосферных выбросов предприятий ЯТЦ. Теоретически обоснована возможность использования радиоизлучения в диапазоне частот 1,4 – 1,8 ГГц для дальнего обнаружения повышенной радиоактивности на расстояниях до 60 – 70 км от источника выброса (АЭС или РХЗ) работающего в штатном режиме.

Ключевые слова

Выбросы, радиоактивность, мониторинг, радиометр.

Введение

Актуальность данного исследования заключается в том, что за последние несколько десятилетий произошло значительное количество аварий и инцидентов, связанных с предприятиями ЯТЦ (ядерно-топливный цикл). Список наиболее серьезных радиационных аварий, от 4 до 7 уровня по шкале INES (International Nuclear Event Scale – Международная шкала ядерных событий), включает в себя такие как: Атомный комплекс «Селафилд» (Великобритания), АЭС (атомная электростанция) Три-Майл-Айленд (США), Чернобыльская АЭС (СССР), АЭС Фукусима–1 (Япония) и т.д. С 1980 по 2011 года произошло 197 радиационных аварий и инцидентов [1 – 4]. В результате радиационных аварий в атмосферу было выброшено огромное количество радиоактивного материала, общий объем которого сложно корректно оценить. Основными радионуклидами, выбрасываемыми в атмосферу, являются РБГ (радиоактивные благородные газы), часть которых характеризуется длительным периодом полураспада. В течение продолжительного времени зараженная территория не пригодна для проживания человека и ведения сельского хозяйства. Поэтому наиболее первостепенной задачей является оперативное оповещение населения в зоне возможного риска радиоактивного загрязнения. Таким образом, одной из важнейших задач дистанционного детектирования радиоактивных выбросов предприятий ЯТЦ является своевременное обнаружение повышенной концентрации радионуклидов в стационарных атмосферных выбросах, а также прогностический мониторинг распространения радиоактивного шлейфа выброса в режиме реального времени. Необходимо также обратить внимание, на тот факт, что несмотря на аварии и инциденты, связанные с атомной энергетикой, последующие года станут рекордными по вводу в строй энергоблоков АЭС [5, 6].

Существующие системы мониторинга радиационного фона основаны на сети стационарных постов расположенных в пределах территорий предприятий, на уровне дыхания (2 метра над поверхностью земли), на трубах и крышах прилегающих зданий. Как правило, эти системы измеряют гамма-излучение в районе расположения станции. По данным [7], на Северском химическом комбинате произведено обновление АСКРО (автоматизированная система контроля радиационной обстановки), позволяющая измерять не только метеорологические параметры, но и проводить спектрометрический анализ радионуклидного состава выбросов. В среднем данные обновляются один раз за один час – что не позволяет рассматривать такую систему, как работающую в режиме реального времени, поскольку радиоактивный выброс распространяется со средней скоростью ветра порядка 5 км/ч. Учитывая скорость и направление ветра, радиоактивное облако может опуститься на территории прилегающего населенного пункта. Ограниченность измерений пространственных параметров радиоактивных выбросов приводит к вполне понятным выводам: необходима комплексная система дистанционного мониторинга распространения радиоактивных атмосферных выбросов в режиме реального времени [8, 9].

Основная часть.

В основе широко применяемых сцинтилляционных счетчиков, и гамма спектрометров лежат не косвенные, а прямые методы. С их помощью обеспечивается контроль радиационной обстановки, основанный на измерениях интенсивности гамма излучения. Однако их низкая разрешающая способность и недостаточная чувствительность не позволяют проводить измерения с расстояний более 200 метров. Другие типы ионизирующих излучений, такие как альфа- и бета- обладают значительно меньшей проникающей способностью и не могут быть зарегистрированы дистанционно [10].

Проведенный обзор настоящих методов и приборов регистрации повышенной радиоактивности в атмосфере представлен в таблице 1.

Таблица 1– методы и приборы регистрации повышенной радиоактивности в атмосфере

Методы и приборы	Дальность	Недостатки
Сцинтилляционные датчики, гамма спектрометры	–	Не является дистанционным
Лазерно-оптические методы	10 км	Зависимость от метеоусловий
Метод лазерно-индуцированной флуоресценции, основан на измерении и интерпретации спектров флуоресценции, индуцированной в объекте при его освещении монохроматическим излучением	1 км	Возможно применение для UO_2
Оптико-акустические методы основаны на генерации акустических волн при поглощении лазерного излучения	10 – 100 м	Низкая чувствительность во время работы в реальном режиме времени
Метод диодной лазерной спектроскопии, на измерении поглощения облучаемого вещества	10 км	Применяется для детектирования UF_6 , требует дополнительной информации, например, о размерах радиоактивного облака
Метод лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии, основаны на образовании лазерной искры	250 м	Времязатратный
Пассивные методы, основаны на проявлении вторичных излучений из радиоактивного облака	30 км	Возможно определить только общее количество (Бк) выброшенной радиоактивности

Как видно из таблицы, данные методы не позволяют проводить измерения на расстояниях свыше 10 км, не обладают необходимыми пространственным разрешением и мобильностью, а также весьма зависимы от метеоусловий [11 – 13].

В этой связи наиболее перспективными выглядят косвенные дистанционные методы детектирования повышенной радиоактивности в атмосфере. Такие методы основаны на вторичном проявлении радиоактивности в окружающей среде. Т.е. в результате выброса в атмосферу бета-радионуклидов, в ней образуется повышенная концентрация электронов распада. Сами электроны и их тормозное излучение инициируют фотохимические реакции, в результате которых появляются так называемые «маркеры» (атомы и молекулы) повышенной радиоактивности. По излучению этих, не типичных для стандартной атмосферы атомов и молекул, можно судить о наличии в выбросе повышенной концентрации радионуклидов. Подробные расчеты представлены в работе [14]. Таким образом, целью работы является разработка и исследование возможностей дистанционного метода детектирования радиоактивных выбросов предприятий ЯТЦ в режиме реального времени на частотах маркеров спонтанного излучения атомарного водорода (H) и гидроксила (OH) 1420 и 1665 – 1667 МГц соответственно.

Предложения, рекомендации и выводы.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в создании автоматизированных систем более высокой степени оперативности мониторинга и оценке пространственного распределения, направления распространения стационарных и аварийных атмосферных радиоактивных выбросов; предложенный метод измерения мощности излучения на частотах 1420 и 1665 – 1667 МГц, в сочетании и с учетом конкретных метеоусловий, позволит прогнозировать уровень радиоактивного загрязнения в исследуемой зоне и может служить в качестве дополнительного критерия при принятии управленческих решений в случае аварийного выброса. Исследован вопрос о предельных значениях: расстояния между радиоприемным устройством и источником радиоактивного загрязнения объемом 10 км^3 ; диаметром антенны, принимающей сигнал. Результаты могут быть использованы для решения обратной задачи оценки активности выброса по интенсивности излучения атомарного водорода [15].

Таблица 2 – технические характеристики микроволнового радиометра

Параболическая антенна	диаметр, м	1,6
	угол раскрыва, град	67
Ширина диаграммы направленности	в Е-плоскости, град	9,8
	в Н-плоскости, град	9,2
Коэффициент	шума МШУ, дБ	0,85
	свободной волны напряжения МШУ	1,6
Полоса пропускания, кГц		10
Выходной температурный дрейф,		мВ/°С (Т ~ 18–40 °С) ≤ 0,4
Чувствительность измерений, Вт		$9,3 \cdot 10^{-19}$

Заключение

В работе [16] показано, что мощность излучения на частоте 1420 МГц из шлейфа выброса АЭС для штатного и аварийных режимов работы отличается на один порядок величины или в 10 раз. Таким образом появляется дополнительный критерий при принятии управленческих решений в случае аварийного выброса.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60115 мол_а_дк.

Список литературы

1. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]: Список радиационных аварий. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Список_радиационных_аварий (дата обращения: 29.03.2012)
2. Database of Radiological Incidents and Related Events compiled by Wm. Robert Johnston last modified 20 January 2014. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/radevents/index.html> (дата обращения: 28.03.2014)
3. Jean-Claude Nenot. Radiation accidents over the last 60 years // J. Radiol. Prot. – 2009. – V. 29. – P. 301 – 320.
4. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]: Международная шкала ядерных событий. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_шкала_ядерных_событий (дата обращения: 30.03.2013)
5. Официальный сайт Администрации Томской области. [Электронный ресурс]: Новости. URL: <http://www.aes.tomsk.ru/news-5758.html> (дата обращения: 13.03.2014)
6. Официальный сайт Администрации Томской области. [Электронный ресурс]: Новости. URL: <http://www.aes.tomsk.ru/news-5637.html> (дата обращения: 13.01.2014)
7. СХК получил первую партию оборудования для модернизации системы радиационного контроля. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.rosatom.ru/journalist/news/skhk-poluchil-pervuyu-partiyu-oborudovaniya-dlya-modernizatsii-sistemy-radiatsionnogo-kontrolya/> (дата обращения: 01.03.2018)
8. Долгих С.О., Власов А.А., Малышкин А.И. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки сибирского химического комбината. [Электронный ресурс] – URL: <http://conf.atomsib.ru/archive/conf2010/section2/7.doc> (дата обращения 1.04.2012)
9. Колотков Г.А., Пенин С.Т. Радиометр как перспективный прибор мониторинга радиоактивных выбросов предприятий ЯТЦ // Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии. Матер. V Всерос. конф. мол. уч. 2012. С. 558–560.
10. Чистякова Л.К. Дистанционные методы обнаружения радиоактивных аномалий в приземной атмосфере. // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14. – №5. – С. 465 – 472.
11. Набиев Ш.Ш. Современные тенденции развития методов дистанционного обнаружения радиоактивных и высокотоксичных веществ // Вестник РАЕН. Физика. – 2012. – № 1. – С. 14 – 25.
12. Боярчук К.А., Карелин А.В., Макриденко Л.А. Перспективы мониторинга из космоса радиоактивных загрязнений на поверхности Земли и в нижних слоях атмосферы // Вопросы электромеханики. – 2005. – Т. 102. – С. 183 –209 .
13. Колотков Г.А. Сравнение перспективных методов мониторинга радиоактивных выбросов ЯТЦ // Теория и практика актуальных исследований: Материалы III Международной научно-практической конф. 30 января 2013г.: Сб. научных тр. – Краснодар, 2013. С.282–284.
14. Kolotkov G.A., Penin S.T. Remote monitoring of emission activity level from NPP using radiofrequencies 1420, 1665, 1667 MHz in real time // JENR. – 2013. – V. 115. – P. 69 – 72. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.07.004.
15. Kolotkov G.A. Radiometric complex for detection of increased radioactivity in gas-aerosol emission from enterprises of nuclear fuel cycle // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Conference Proceedings. Erlagol, Altai. 2016. ISBN 978-1- 5090-0785-1. art. no. 7538708 P.p. 120-123. DOI: 10.1109/EDM.2016.7538708.
16. Колотков Г.А., Пенин С.Т. Метод дистанционной диагностики аварийных радиоактивных выбросов АЭС в режиме реального времени // Известия Вузов Физика. – 2012. – Т. 55. – № 2/2. – С. 170 – 173.

ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВХОДНЫХ КАСКАДОВ РЕГИСТРАТОРОВ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Колясев В.А., младший научный сотрудник

Молин С.М., к.т.н., ведущий научный сотрудник

*ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, <http://udman.ru/>, 426067, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т.Барамзиной, д. 34
тел. (3412)508-200, факс(3412)507-959, e-mail: udnc@udman.ru*

OVERLAPPING ABILITY OF INLET CASCADES OF SHOCK IMPACTS REGISTRATORS

Koliasev V.A., Molin S.M.

Annotation

The analysis of zero shift of the zero-reference line of an accelerometer after it has been exposed to a very intense shock is carry out. The principles of construction of surge capability high-performance recording system measuring channel input stage construction are considered. The practical example of real recorded results and a posteriori processing of signals are given.

Keywords

Shock acceleration, piezoelectric accelerometer, charge amplifier, zero-shift phenomena.

Аннотация

В работе проводится анализ причин «ухода нуля» пьезоэлектрических акселерометров при проведении испытаний изделий техники с высоким уровнем ударного нагружения, рассматриваются принципы построения специализированных входных каскадов с повышенной перегрузочной способностью, предназначенных для построения измерительных каналов высококачественной автономной регистрирующей аппаратуры. Приводятся примеры результатов регистрации и апостериорной обработки полученных сигналов.

Ключевые слова

Ударное ускорение, пьезоэлектрический акселерометр, усилитель заряда, уход (сдвиг) нуля.

Введение

Автоматизация проектирования и математическое моделирование не снизило роль натурных и стендовых испытаний. Наоборот, появилась необходимость *более тщательной и точной проверки* адекватности *сложных математических моделей*, описывающих поведение технических объектов. Основная задача испытаний – проверка достоверности расчётных математических моделей. Проблема возникает тогда, когда результаты математического моделирования не совпадают с результатами натурального эксперимента.

Метрологические проблемы ударных испытаний.

При проведении испытаний на ударное воздействие одной из основных метрологических проблем является уход нулевой линии выходного сигнала пьезоакселерометров при высоких уровнях ударных ускорений. При анализе данной проблемы можно выделяется три основных возможных причины [1, 2]. Первая причина кроется в физических свойствах пьезоакселерометра – свойствах пьезокерамики и конструкции датчика. Вторая – трибоэлектрический эффект кабеля. Третья причина – искажения в измерительном канале [3]. Считается, что основная причина сдвига нуля кроется в пьезоакселерометрах. В меньшей степени уделяется внимание вкладу трибоэлектрического эффекта сигнального кабеля. К сожалению, нелинейные процессы в преобразователях заряд – напряжение и во всём измерительном канале в целом долгое время практически не рассматривались. Объяснить это можно тем, что решением проблемы занимались в основном разработчики датчиков. Попытке восполнить этот пробел посвящена данная работа.

Анализ работы измерительных цепей начинается с анализа воздействующих на них входных сигналов [4, 5]. Как правило, для механических систем с ростом частоты уровень информативного сигнала снижается и из этого делается ложный вывод о снижении с ростом частоты выходного сигнала датчика. При ударных испытаниях могут возбуждаться различные паразитные резонансы акселерометра, а также возникать различные акустические процессы в материале исследуемого объекта [6, 7]. Не вдаваясь в подробности описания самих ударных процессов и реакции испытуемых объектов, рассмотрим этапы формирования и прохождения сигнала через все звенья измерительной цепи.

Пьезоакселерометр – датчик, модель поведения которого, как правило, описывается наличием одного основного резонанса и представляет собой колебательную систему второго порядка с добротностью порядка 30 и более [8]. На самом деле упругий элемент датчика подвержен колебаниям со всеми возможными степенями свободы, включая поперечный резонанс, частота которого не сильно отличается от основного [9, 10]. Кроме того, нельзя исключать резонансы корпуса, как механические, так и акустические. И если реакция высокочастотного колебательного звена второго порядка на воздействие ступенчатой функции представляет собой затухающие

колебания с амплитудой, примерно вдвое превышающей само воздействие и от добротности зависит только время затухания, то система из трёх колебательных звеньев может иметь отклик с гораздо большей амплитудой [5]. АЧХ такой системы и её отклик на воздействие функции Хевисайда представлено на рис. 1. Согласно рекомендациям производителей, основной резонанс должен в $3 \div 5$ раз превышать верхнюю частоту полосы интереса. Таким образом, амплитуда *рабочего* выходного сигнала акселерометра может существенно, в десятки и даже сотни раз превышать амплитуду полезного сигнала.

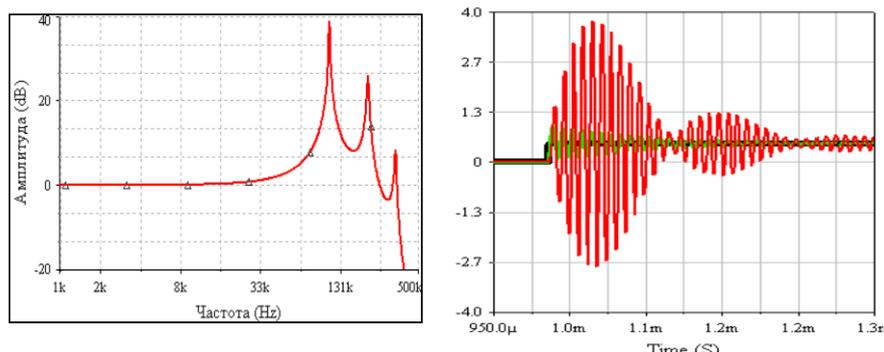


Рисунок 1 – АЧХ акселерометра (слева) и его реакция на воздействие ступенчатой функции (справа)

Кабель – его влияние на качество сигнала зависит от соотношения его чувствительности к механическим воздействиям и чувствительности пьезоакселерометра, а также марки кабеля, его длины и способа укладки. В зависимости от производителя и марки чувствительность к механическим воздействиям может меняться примерно в 30 раз. Сократить длину и оптимизировать способ укладки можно при использовании автономной регистрирующей аппаратуры – это ещё примерно в 30 раз. Можно добиться суммарного улучшения качества сигнала до 1000 раз! При увеличении чувствительности датчика результат может быть ещё улучшен.

Входной каскад измерительного канала – для согласования пьезоакселерометров с измерительным каналом в качестве входного каскада принято использовать усилитель заряда, исключая влияние ёмкости сигнального кабеля на чувствительность измерительного тракта. Усилитель заряда представляет собой интегратор тока и должен компенсировать ток датчика. Для универсальных усилителей выпускаются ударные датчики с пониженной чувствительностью, частично снижающие риск перегрузки, однако это приводит к росту искажений и шумов, связанных с трибоэлектрическим эффектом в сигнальном кабеле. При увеличении чувствительности датчика возрастает и его выходной ток, достигая за счёт высокочастотной области десятков, или даже сотен *mA* [6].

Для автономного регистратора логичнее использовать пассивную схему преобразования «заряд-напряжение» или псевдозарядовый усилитель [5]. Преобразование «заряд-напряжение» в таком усилителе происходит на шунтирующей заряд входной ёмкости, при этом весь выходной ток датчика направлен в обход усилителя. Для снижения влияния ёмкостей кабеля на чувствительность измерительного канала входная ёмкость C_{IN} должна быть много больше суммарной ёмкости ($C_{sens} + C_{cab}$) датчика и кабеля, но у автономной аппаратуры нет необходимости использовать обладающие высокой ёмкостью длинные сигнальные кабели. Датчики, как правило, имеют ёмкость $600 \div 1200$ пФ. Длина кабеля составляет $1 \div 3$ м, что соответствует ёмкости $110 \div 330$ пФ. В сумме получится $710 \div 1530$ пФ или 1120 ± 410 пФ. При этом чувствительность будет определяться как:

$$K_Q = \frac{U_{out}}{Q_{sens}} = \frac{1}{C_{sens} + C_{cab} + C_{IN}} \times K_{Amp} \approx \frac{1}{C_{IN}} \times K_{Amp}, \quad (1)$$

где: K_Q – коэффициент преобразования заряда в напряжение; Q_{sens} – выходной заряд акселерометра; U_{out} – выходное напряжение усилителя; K_{Amp} – коэффициент усиления нормирующего усилителя. На рис.2 изображены эквивалентная схема датчика (а) и усилитель (б) с пассивной входной частью.

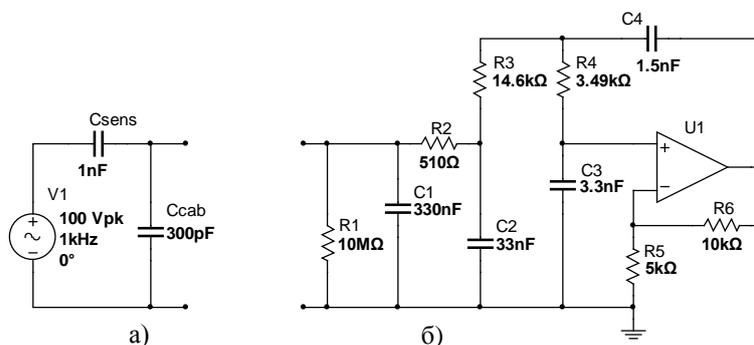


Рисунок 2 – Модель датчика (а) и пассивный зарядовый усилитель (б)

Усилитель обладает повышенной перегрузочной способностью в области верхних частот. Достигается это использованием в качестве нормирующего усилителя активного низкочастотного звена 2-го порядка. Весь входной каскад может быть использован как самостоятельный фильтр 3-го порядка, либо как составляющая часть фильтра более высокого порядка. Его полная входная ёмкость в области низких частот будет определяться выражением:

$$C_{IN} = C1 + C2 + C3 - C4 \times (R6 / R5) \quad (2)$$

Погрешность изменения коэффициента преобразования:

$$\xi = \frac{\Delta(C_{sens} + C_{cab})}{C_{sens} + C_{cab} + C_{IN}} \times 100\% \quad (3)$$

При входной ёмкости, превышающей 0,1 мкФ, указанная погрешность будет менее 0,5 %. Основную часть общей погрешности будут составлять погрешности датчика и используемых электронных компонентов.

Такой подход был применён авторами в описанных в [11, 12] регистраторах.

Выводы

При ударных испытаниях амплитуда выходного сигнала акселерометра в результате резонансных свойств испытуемых объектов и собственных резонансных свойств за пределами информативного диапазона частот может существенно (в десятки раз) превышать амплитуду сигнала в информативном диапазоне частот.

Выходной ток пьезоакселерометров в процессе ударных испытаний может достигать десятков и даже сотен мА и вызывать перегрузку, используемых совместно с этими датчиками усилителей заряда и, соответственно, служить причиной искажения полезного сигнала.

Псевдозарядовые усилители существенно повышают перегрузочную способность входных каскадов измерительного тракта в высокочастотной области, снижая требования к параметрам операционных усилителей (быстродействие, максимальный выходной ток), и практически исключают возможное влияние измерительного каскада на уход нуля.

Список литературы

1. Antony S. Chu. Problems in high-shock measurement. TP308 http://www.endevco.com/resources/tp_pdf/TP308.pdf
2. Соболев М.Д. Защита датчиков ударных ускорений от неизмеряемых механических воздействий: Монография / М.Д. Соболев, П.М. Логинов, Н.А. Ивашин: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2018. – 154 с.: ил. ISBN978-5-902278-85-6
3. Antony S. Chu. A Shock Amplifier Evaluation. TP293 http://www.endevco.com/resources/tp_pdf/TP293.pdf
4. Harris' shock and vibration handbook / Cyril M. Harris, editor, Allan G. Piersol, editor.—6th ed. McGraw-Hill, - 2010. – 1199 p
5. Колясев В.А. Аналоговые схемы усиления и фильтрации сигналов пьезоакселерометров в автономных регистраторах ускорений // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании: сб. тр. регион. науч.-техн. очно-заоч. конф. (г. Ижевск, 23 мая 2015г.) / науч. ред. В.А.Куликов. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т.Калашникова, 2015. – 308с. – С.221-227
6. Колясев В. А. Измерение ударных ускорений с учетом особенностей объектов контроля // Приборостроение в XXI веке – 2015. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов XI Междунар. науч.-техн. конф. (Ижевск, 25–27 нояб. 2015 г.). – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2016. – 607 с. – 13,2 Мб. – С.87-94. ISBN 978-5-7526-0742-4 (Электронное издание).
7. Леньков, С.В. Анализ колебаний сейсмической массы на вязком основании под действием переносного ускорения /С.В.Леньков, В.А.Колясев//Труды научно-технической конференции "Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства". Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. - С. 205–210
8. Пьезоэлектрические акселерометры и преусилители. Справочник по теории и эксплуатации. Издательство Брюль и Кьер, 1987г. - 186 с.
9. Patrick L.Walter, Ph.D The Handbook of Dynamic Force, Pressure and Acceleration Measurement ISBN 0-9713370-0-4 Copyright 2001 by Endevco Corporation 220 p
10. Patrick L. Walter. Lessons learned in applying accelerometers to nuclear effects testing. *J. of Shock and Vibration* 15, IOS Press, 2008. – p. 619–629.
11. Молин С.М., Колясев В.А. Разработка аппаратуры для динамических испытаний изделий. «Приборостроение в XXI веке – 2011. Интеграция науки, образования и производства: Сб. материалов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета (Ижевск, 15-17 ноября 2011г.). – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012. – 504с. – С. 48-53. ISBN 987-5-7526-0545-1
12. Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А., Копытов А.Г., Белямов В.А., Лупша В.А. Комплекс аппаратуры «СИГМА-ПАРУС» для регистрации ударных сигналов// Авиакосмическое приборостроение, 2007, № 9. – С.54 – 58.

ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Воробьев Н.С.¹, к.ф.-м.н., зав. отделом Фотоэлектроники, Горностаев П.Б.¹, н.с.

Заровский А.И.¹, вед. инженер, Комельков А.С.¹, аспирант

Мешков О.И.², д.ф.-м.н., зав. сектором, Смирнов А.В.¹, с.н.с.

Шашков Е.В.¹, к.ф.-м.н., зав. лабораторией

1 – Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, <http://www.gpi.ru/>

119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38, тел. +7 (499) 135-4148, e-mail: postmaster@kapella.gpi.ru

*2 – Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, <http://www.inp.nsk.su>, 630090, Новосибирск
проспект Академика Лаврентьева, д. 11, тел. +7 (383) 329-4760, e-mail: inp@inp.nsk.su*

PICOSECOND IMAGE SET FOR SYNCHROTRON RADIATION DIAGNOSTICS

Vorobiev N.S.¹, Gornostaev P.B.¹, Zarovsky A.I.¹, Komel'kov A.S.¹, Meshkov O.I.², Smirnov A.V.¹, Sashkov E.V.¹

Annotation

This work is carried out in the Department of Photoelectronics A. M. Prokhorov GPI together with colleagues of the G. I. Budker Institute of nuclear physics. SB RAS, is devoted to the development of picosecond image systems with time resolution in units of picoseconds for diagnostics of charged particles beams in accelerators. This equipment includes a new generation dissector based on the image converter tube (ICT) PIF-01 and an image converter camera (ICC) with linear sweep (streak camera) PS-1/S1.

Keywords

Dissector, streak camera, temporal resolution, accelerator, synchrotron radiation.

Аннотация

Данная работа, выполненная в отделе фотоэлектроники ИОФ А.М. Прохорова РАН совместно с коллегами Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, посвящена разработке электронно-оптических комплексов с временным разрешением в единицы пикосекунд для диагностики пучков в ускорителях заряженных частиц. Это оборудование включает в себя диссектор нового поколения на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ПИФ-01 и электронно-оптическую камеру (ЭОК) с линейной разверткой (стрик-камера) PS-1/S1.

Ключевые слова

Диссектор, стрик-камера, временное разрешение, ускоритель, синхротронное излучение.

Введение

Регистрация пространственного распределения частиц в пучке при исследовании разного рода быстрых неустойчивостей, таких как эффекты встречи, нелинейная динамика пучков, квадрупольные неустойчивости и т.п., является необходимым условием для управления работой ускорителя элементарных частиц. Однако практически в мире нет установок, на которых контроль продольного профиля пучка являлся бы штатной, постоянно действующей диагностикой. Исключением являются те источники синхротронного излучения (СИ) и коллайдеры, на которых используются регистрирующие оптическую часть спектра СИ диссекторы ЛИ-602, разработанные в Институте ядерной физики СО РАН (ИЯФ, г. Новосибирск). Эти приборы создавались для временных исследований быстропротекающих периодических процессов субнаносекундной длительности, и поэтому они нашли свое применение в экспериментах с использованием синхротронного излучения. В настоящее время диссектор ЛИ-602 широко используется для штатных измерений продольного (временного) профиля электронных и позитронных пучков на коллайдерах ИЯФ СО РАН и других подобных установках. Его временное разрешение не превосходит 20-30 пс, что вполне достаточно для диагностики продольного профиля пучка на этих ускорителях. Однако для современных ускорителей этого временного разрешения оказывается недостаточно. Соответствующий прибор должен иметь разрешение в единицы пикосекунд и менее.

Создание таких диссекторов обусловлено также развитием циклических ускорителей, и значительным увеличением яркости СИ за счет уменьшения эмиттанса пучков. В этих условиях появилась необходимость усовершенствовать оптический диагностический комплекс для регистрации излучения. Это связано как с измерением пространственных и временных характеристик сгустков частиц в циклических ускорителях, так и с использованием СИ в различных задачах науки и техники. Решение этой задачи, как уже упоминалось, требует повышения до единиц пикосекунд временного разрешения диссекторов, используемых в системах оптической диагностики ускорителей, а также применение ЭОК с линейной разверткой (стрик-камера) для оптической диагностики пучков на этапе формирования электронных и позитронных сгустков в бустерах коллайдеров, накопительных кольцах и иных циклических ускорителях.

Целью данной работы явилось создание электронно-оптического диагностического комплекса, состоящего из пикосекундного диссектора нового поколения и стрик-камеры модели PS-1/S1 с предельным временным разрешением

порядка 1 пс, а также применение этих приборов для измерения временных параметров пучка заряженных частиц в ускорителе.

Диссектор

Разработанный диссектор нового поколения состоит из ЭОП ПИФ-01, в котором люминесцентный экран заменен вторичным электронным умножителем (ВЭУ) с анализирующей щелью вместо катода. ЭОП и ВЭУ совмещены в едином вакуумном объеме. Конструктивно прибор собирается таким образом, чтобы анализирующая щель совпадала с плоскостью экрана ПИФ-01. Первая часть прибора отвечает за временное разрешение прибора, вторая – за считывание получаемой информации. Подробное описание принципа работы диссектора можно найти в [1].

В наших экспериментальных работах [1, 2] было протестировано несколько диссекторов. Измерения временного разрешения диссектора проводились на лазерной установке. Титан-сапфировый лазер генерировал световые импульсы на длине волны 800 нм длительностью 30 фс и с частотой повторения 73.5 МГц. В этих работах был использован разработанный в ИЯФ генератор ВЧ-напряжения на ту же частоту. Внешняя фазовая модуляция осуществлялась пилообразным напряжением амплитудой ~ 800 В с частотой следования 50 Гц. На отклоняющие пластины чувствительностью 0,07 мм/В подавалось парафазное ВЧ-напряжение с суммарной амплитудой $U_{\text{вч}} \sim 750$ В. При этих параметрах величина временного разрешения менялась в пределах 3,5 – 6,5 пс от прибора к прибору, а наилучшее оказалось равным $\sim 3,5$ пс [2].

Один из изготовленных диссекторов, имеющий временное разрешение ~ 5 пс, был испытан на ускорителе MLS (Metrology Light Source, Берлин, Германия). В эксперименте регистрировалось СИ в спектральной области чувствительности диссектора (350 – 800 нм), выходящее из ондулятора установки. Диссектор был установлен на одном оптическом столе со стрик-камерой HAMAMATSU C10910, имеющей предельное временное разрешение $\sim 2,5$ пс и являющейся устройством штатной оптической диагностики ускорителя MLS. Оба прибора использовались для сравнительных измерений продольной длины пучка в режиме работы ускорителя с одним сгустком электронов.

С целью улучшения временного разрешения разработанного диссектора в ИЯФ СО РАН был изготовлен генератор ВЧ-развертки с внутренней фазовой модуляцией и более высокой выходной мощностью (не менее 20 Вт на нагрузке 50 Ом). Это позволило увеличить суммарную амплитуду парафазного ВЧ-напряжения до 1000 В. Частота ВЧ-напряжения (~ 75 МГц) могла перестраиваться в небольших пределах. Кроме того, была изменена конструкция отклоняющих пластин ЭОП ПИФ-01 для увеличения их чувствительности до величины $\sim 0,1$ мм/В. Наилучшее значение измеренного временного разрешения такого модифицированного диссектора составило величину $2 \pm 0,5$ пс.

Стрик-камера

С помощью пикосекундной стрик-камеры модели PS-1/S1, разработанной в Отделе фотоэлектроники ИОФ РАН [3], измерены временные параметры импульсов излучения Вавилова-Черенкова и синхротронного излучения в линейном ускорителе и накопителе-охладителе инжекционного комплекса ВЭПП-5 в ИЯФ СО РАН (Новосибирск).

Исследована структура пучка электронов, испускаемого линейным ускорителем инжекционного комплекса ВЭПП-5. Зарегистрировано продольное распределение частиц в пучке, инжектируемом линейным ускорителем за один импульс. Полученные данные позволяют оптимизировать режим работы установки. При измерениях параметров СИ исследована динамика профиля пучка, выпущенного из накопителя-охладителя. Зарегистрирована модуляция продольного распределения плотности электронов в многобачевом пучке, испытывающем фазовые колебания.

Полученные данные позволяют судить о процессах формирования электронных сгустков и их «качестве» как в самом линейном ускорителе до инжекции электронов в накопитель-охладитель, так и непосредственно в накопителе-охладителе после инжекции из линейного ускорителя. Использование ЭОК в диагностическом комплексе ускорителя позволяет контролировать процесс формирования электронных сгустков, что представляет большой практический интерес, т. к. дает возможность увеличить эффективность захвата частиц из линейного ускорителя в накопитель-охладитель.

На основании результатов проведенных работ сделан вывод принципиальной важности – о необходимости оснащения пикосекундными камерами и диссекторами современных ускорительных установок. Для каждого из этих приборов существует свой класс задач как в ускорительной физике, так и при штатной эксплуатации установок.

Список литературы

1. О. В. Анчугов, В. Л. Дорохов, Г. Я. Куркин, Э. И. Зинин, П. А. Молявин, О. И. Мешков, Д. А. Шведов, А. В. Петрожицкий, П. Б. Горностаев, А. И. Заровский, Е. В. Шашков, А. В. Смирнов, М. Я. Щелев. “Калибровка пикосекундного электронно-оптического диссектора”, Автометрия, т. 52, № 3, стр. 108-115 (2016).
2. E. I. Zinin, O. V. Anchugov, V. L. Dorokhov, G. Ya. Kurkin, O. I. Meshkov, A. N. Petrozhitsky, D. V. Shvedov, P. B. Gornostaev, A. I. Zarovskii, E. V. Shashkov, A. V. Smirnov, M. Ya. Schelev. “Direct temporal-resolution calibration of new-generation dissector”, Journal of Instrumentation, V. 11, T03001 (2016).
3. Н. С. Воробьев, П. Б. Горностаев, В. И. Лозовой, А. В. Смирнов, М. Я. Щелев, Е. В. Шашков. Пикосекундная электронно-оптическая камера PS-1/S1 в физическом эксперименте. Приборы и техника эксперимента. № 4 стр. 72-77, (2016).

**МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТОВОЛОКНО
ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ПЕРФОРАЦИИ БИОТКАНЕЙ**

*Кортунов В.Н. н.с., Дмитриев А.К. н.с., Коновалов А.Н. с.н.с., к.ф.-м.н., Ульянов В.А. в.н.с., к.т.н.
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, <https://kif.ras.ru>
119333, Москва, Ленинский проспект, 59, тел. 8 (499) 135-63-11
e-mail: vnkor@yandex.ru*

MECHANICAL EFFECTS ON FIBER WITH LASER PERFORATION OF BIOTISSUES

Kortunov V.N., Dmitriev A.K., Kononov A.N., Ulyanov V.A.

Annotation

The results of the investigation of mechanical effects on optical fibers at laser perforation of heterogeneous biological tissues are presented. It is shown that it is possible to create a mechanosensory diagnostic system for laser surgical installations.

Keywords

Laser, biotissue, perforation, optical fiber.

Аннотация

Представлены результаты исследования механических воздействий на оптоволокно при лазерной перфорации неоднородных биотканей. Показано, что можно создать механо-сенсорную систему диагностики для лазерных хирургических установок.

Ключевые слова

Лазер, биоткань, перфорация, оптоволокно.

В настоящее время лазерная перфорация биотканей оптоволоконным инструментом активно используется для восстановления кровоснабжения сердечной мышцы (миокарда), стимуляции регенерации тканей печени и скелетной мышцы [1-3]. Во время проведения такой процедуры в биоткани образуются глубокие каналы. При линейном движении вглубь ткани оптоволокно подвержено механическому сопротивлению со стороны перфорируемой ткани за счет трения со стенками образующегося канала, механического сдавливания биоткани. Для конкретной биоткани существуют свои параметры лазерного воздействия с целью создания зон тепловой стимуляции для запуска механизма регенерации. Для оптимизации процесса перфорации необходимо управлять мощностью лазера и скоростью перфорации с учетом механического сопротивления биоткани. Целью работы является исследование механических сопротивлений движению оптоволоконка и разработка прототипа устройства с обратной связью для реализации оптимальных условий лазерной перфорации биотканей.

При получении глубоких каналов путем лазерной перфорации оптоволоконном в робото-ассистируемых операциях возможно использование системы, измеряющей механические усилия, воздействующие на оптоволокно.

Актуальной является задача регистрации механических усилий с помощью тензодатчиков при проведении полостных операций [4], а также исследования механических свойств кожи человека [5].

Ввиду отличающихся на порядки коэффициентов поглощения лазерного излучения в водонаполненных биотканях на разных длинах волн λ (для 0,98 мкм – 0,5 см⁻¹, 1,56 мкм – 10 см⁻¹ и 1,94 мкм - 135 см⁻¹ [6]) при различных скоростях движения оптоволоконка механические сопротивления перфорации будут разные. Так как биоткани являются неоднородными средами, включающими в себя фасции, разные направления мышечных волокон, патологические измененные ткани [7], то сила сопротивления в процессе перфорации меняется, и соответственно будут изменяться результаты воздействия на ткань: диаметр канала, зоны термических повреждений, тепловые зоны.

Макет устройства, разработанного для диагностики сопротивления биоткани перемещению оптоволоконному инструменту, показан на рис.1.

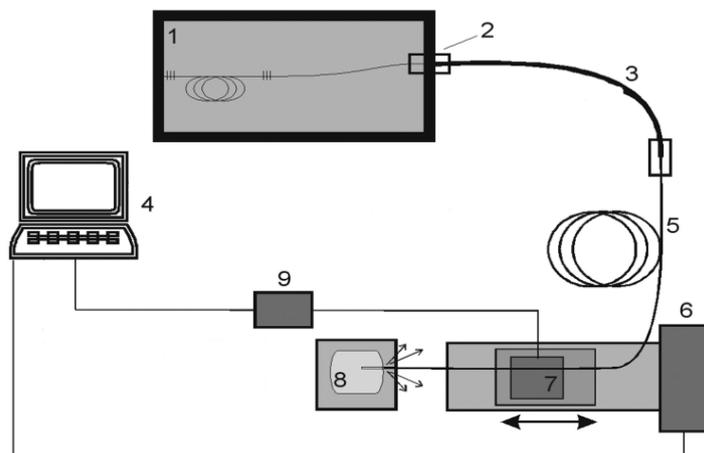


Рисунок 1 – Схема установки для исследования механических воздействия на оптоволокно при лазерной перфорации. 1 – лазер; 2, 3 – оптоволоконный разъём; 4 – компьютер, 5 – кварцевое оптоволокно; 6 – моторизированный линейный транслятор 8MT50-150BS1-MEп1 с контроллером шаговых двигателей 8SMC1-USBhF-V1-1 (Standa, Латвия); 7 – механо-сенсорный блок (коромысло с соотношением сторон 2:7, контактный пьезодатчик FSG15N1A Honeywell Inc. с чувствительностью 0.24 мВ/г), 8 – биоткань; 9 – АЦП E20-10MHz ADC (L-Card, Россия).

Использовались: диодный лазер «Лазермед-10-01» (0.98мкм, 10 Вт, «РИК» Тула, Россия), волоконные лазеры ЛСП-«ИРЭ-Полус» (1.94мкм, 10 Вт, ООО НТО «ИРЭ-Полус») и Скальпель лазерный (1.56мкм, 15 Вт, ООО НТО «ИРЭ-Полус»), оптоволоконный кабель (ООО «Полироник», Москва) диаметром световедущей кварцевой жилы 600 мкм с SMA905 оптическим разъемом и длиной 3м. С конца оптоволокна на расстоянии 50-60 мм удалялось защитное полимерное покрытие, оптоволокно скальпировалось. Качество торца скола оптоволокна контролировались микроскопом Fiber Microscope F1VS200F2.5, выходной равномерной картинкой пилотного лазера и пропуская оптоволокна на рабочих длинах волн, которое составляло – 80-90 %.

В экспериментах использовались заранее подготовленные биоткани свиньи (мышечная, печень, хрящевая), размером 30 мм x 30 мм x 20 мм.

Процесс перфорации проводился следующим образом. Устанавливалась непрерывная мощность лазера (1-10Вт), измерялась мощность лазерного излучения (измеритель мощности Field Master Coherent) на выходе из оптоволокна, выбиралась в программе управления моторизованной подвижкой скорость движения оптоволокна V (0.1 – 5 мм/сек). На предметном столике крепился образец биоткани. При приближении торца оптоволокна к поверхности ткани включался лазер, и осуществлялась лазерная перфорация, при этом датчик усилий регистрировал электрический сигнал, который подавался на АЦП и регистрировался в цифровом виде на компьютере.

На рис.2 показана типичная микрофотография (микроскоп МБС-9, увеличение 100) канала лазерной перфорации в ткани печени и показаны временные зависимости механического усилия при перфорации мышечной ткани лазерами с длинами волн 0.98 мкм, 1.56 мкм, 1.94 мкм при скорости перфорации 0.5 мм/сек.

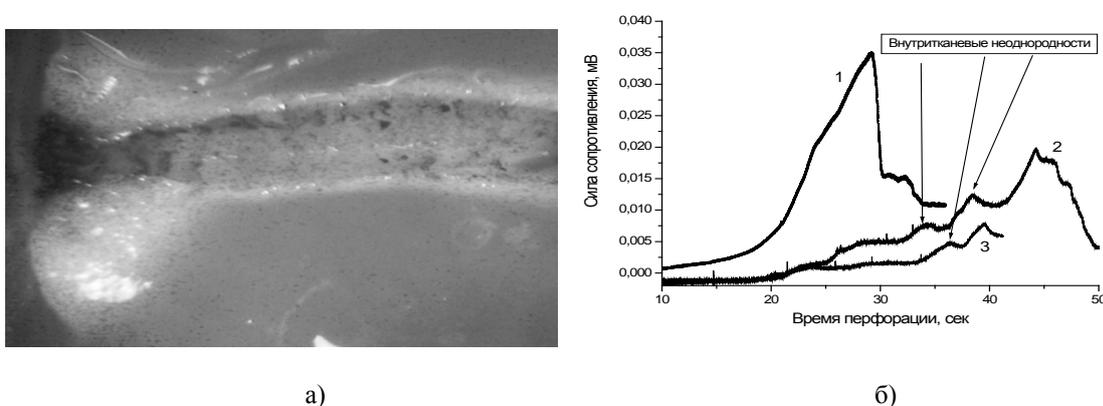


Рисунок 2 – а) микрофотография канала при лазерной перфорации оптоволокном ткани печени, б) сила сопротивления ткани движению оптоволокна при перфорации ткани мышцы:
 1 - $\lambda=0.98\text{мкм}$, $P=3.5\text{ Вт}$, $V=0.5\text{ мм/сек}$; 2 - $\lambda=1.56\text{мкм}$, $P=2.2\text{ Вт}$, $V=0.5\text{ мм/сек}$; 3 - $\lambda=1.94\text{мкм}$, $P=3\text{ Вт}$, $V=0.5\text{ мм/сек}$.

Поведение силы сопротивления (рис.2, б) отражает известный из биомеханики [8] факт, что биоткани обладают наряду с нелинейными упругими свойствами также и вязкостью. Максимальная величина силы сопротивления соответствует проколу поверхности биоткани. Уменьшение максимальной величины силы

сопротивления мышечной ткани при увеличении длины волны излучения используемого для перфорации лазера объясняется повышением коэффициента поглощения лазерного излучения тканью [9]. Также на рис.2 б показаны моменты перфорации оптоволоконном неоднородностей мышечной ткани.

На рис.3 показана перфорация “модельной” неоднородности биоткани в комбинации мышечная-хрящевая ткань.

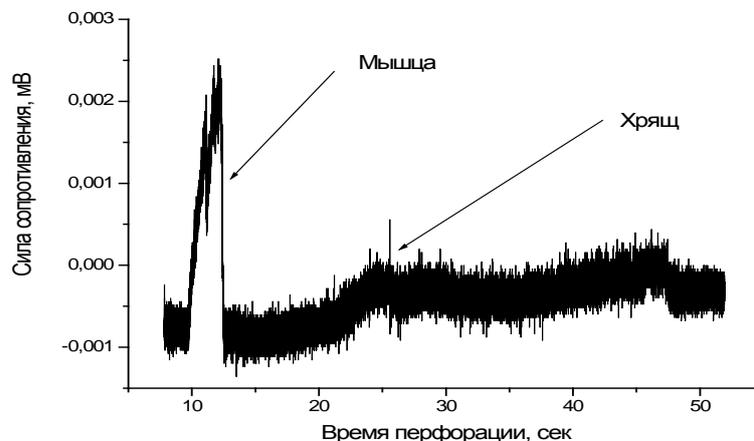


Рисунок 3 – Зависимость силы сопротивления от времени при перфорации комбинации мышца - хрящ ($\lambda=1.56\text{мкм}$, $P=4\text{ Вт}$, $V=0.5\text{ мм/сек}$).

Проведенные исследования механических усилий при лазерной перфорации оптоволоконным инструментом показали возможность создания системы с обратной связью при проведении роботизированных операций для получения длинных каналов. Необходимы дальнейшие исследования по разработке механо-сенсорной системы, включая разработку датчиков усилий, программного обеспечения, оптомеханики.

Созданный макет устройства может быть использован в лазерных хирургических системах с волоконным выводом излучения для оптимизации режимов испарения биотканей в процессе лазерной перфорации.

Работа поддержана грантом РФФИ №15-29-04816

Литература

1. Беришвили И.И.. Трансмиокардиальная лазерная реваскуляризация. Москва, изд-во «ГЕОС», 2016, т. 2, 308 с.
2. Алехин Д.И., Фокин А.А.. Перспективы использования высокоинтенсивного лазерного излучения для лечения хронической ишемии конечностей. Патология кровообращения и кардиохирургия, 2005, № 2, с. 88-92.
3. Капралов С.В., Мельникова И.А., Шапкин Ю.Г., Алипов В.В.. Экспериментальное моделирование лазерной фенестрации печени. Бюллетень медицинских Интернет-конференций, 2011, v. 1, issue 2, p. 47.
4. Yamanaka H., Makiyama K., Osaka K., Nagasaka M., Ogata M., Yamada T., Kubota Y. Measurement of the Physical Properties during Laparoscopic Surgery Performed on Pigs by Using Forceps with Pressure Sensors. Advances in Urology, Volume 2015 (2015), Article ID 495308, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/495308>.
5. Гусев В.Г., Мустафин Т.Н. Измерительные приборы для оценки физических свойств кожного покрова человека. Вестник Уфим. гос. авиац. техн. ун-та, вып.1, т.13, 2009, с. 187-192.
6. Kou L., Labrie D., Chylek P. Refractive indices of water and ice in the 0.65 – 2.5 μm spectral range. Appl. Opt., 1993, v. 32, p.p. 3531-3540.
7. Неворотин А.И. Введение в лазерную хирургию: Учеб.пособие.- СПб.: СпецЛит, 2000.- 175 с.: ил.
8. Кобелев А.В., Смолюк Л.Т., Кобелева Р.М., Проценко Ю.Л. Нелинейные вязкоупругие свойства биологических тканей. Екатеринбург: УрО РАН, 2012.- С.
9. Дмитриев А.К., Коновалов А.Н., Картунов В.Н., Ульянов В.А. Методы организации обратной связи для реализации принципа «умного» скальпеля на основе волоконных лазеров. Медицинские, технические и технологические аспекты фундаментальных проблем роботхирургии – 2015/Ройтберг Г.Е. и др.;- М. Информ-Право. 78 стр.; илл., с.9-16.

ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ ПРИЁМНЫЙ МОДУЛЬ СО ВСТРОЕННОЙ АНТЕННОЙ НА ДИАПАЗОН ЧАСТОТ 66-67 ГГц ДЛЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ 5G

Крапухин Д.В.^{1,2}, к.т.н., ст. науч. сотр.; Гнатюк Д.Л.¹, к.т.н., зав. лаб.; Зуев А.В.¹, науч. сотр. Мальцев П.П.¹, д.т.н., проф., науч. рук.; Матвеев О.С.¹, к.т.н., ст. науч. сотр.; Федоров Ю.В.¹, гл. констр. 1 - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН). Адрес: 117105, Москва Нагорный проезд, 7, стр.5. <http://new.isvch.ru/> 2 - ООО «Новэлком». Адрес: 117105, Москва, Нагорный проезд, 7, стр.5 E-mail: d.krapukhin@gmail.com Телефон: 8(499)123-62-22

SINGLE-CHIP RECEIVING MODULE WITH BUILT-IN ANTENNA FOR THE FREQUENCY RANGE 66-67 GHz FOR 5G COMMUNICATION SYSTEMS

Krapukhin D.V.^{1,2}, Gnatyuk D.L.¹, Zuev A.V.¹, Maltsev P.P.¹, Matveenko O.S.¹, Fedorov Yu.V.¹

Annotation

The work dedicated to design and research of a single-chip receiving module with an integrated antenna. Module is based on GaN HEMT technology on sapphire substrates. It is designed to work in the 66-67 GHz band and can be used for 5G communication systems. The measurements showed its operability in the range of 66-67 GHz, achievement output power more than 10 dBm and the tuning range of the VCO is more than 2 GHz.

Keywords

GaN, HEMT, transceiver, receiver, system-on-chip, oscillator, low-noise amplifier, antenna.

Аннотация

Работа посвящена разработке и исследованиям однокристального приемного модуля со встроенной антенной, построенного по HEMT технологии на основе наногетероструктур GaN на подложках сапфира. Модуль предназначен для работы в диапазоне 66-67 ГГц и может быть использован для систем сотовой связи 5G. Измерения изготовленных образцов показали его работоспособность в диапазоне 66-67 ГГц и достижение выходной мощности в передающем тракте более 10 дБм, а диапазон перестройки гетеродина более 2 ГГц.

Ключевые слова

Нитрид галлия, HEMT, приемный модуль, приемопередающий модуль, система-на-кристалле, генератор, МШУ.

Введение

Для создания сетей сотовой связи 5G существует несколько частотных поддиапазонов, в том числе 66-71 ГГц. Одной из задач при освоении этого диапазона является разработка монолитных интегральных схем (МИС) для приемных и передающих устройств и освоение их производства в России. К одному из перспективных направлений создания нового поколения МИС относится технология нитрида галлия на подложках сапфира, обеспечивающая минимальные массогабаритные размеры при максимальной мощности выходных усилителей (УМ) и генераторов, управляемых напряжением (ГУН), для гетеродинных радиоприёмников.

В данной работе рассматривается возможность проектирования и изготовления однокристальных приемных устройств на частоты 66-67 ГГц с промежуточной частотой от 0.1 до 2.0 ГГц на основе ГУН и смесителя с встроенной интегральной антенной. Однокристальный модуль построен на основе результатов исследования ГУН и смесителя для диапазона частот 57-63 ГГц, также в ИСВЧПЭ РАН ведутся работы по освоению технологии проектирования и производства МИС на основе гетероструктур нитрида галлия для других приемопередающих систем [1].

1. Разработка и изготовление МИС

Разработанный приемопередающий модуль (ППМ) изображен на рисунке 1. Данная «система-на-кристалле» состоит из ГУНа со встроенным буферным усилителем, который выполняет роль источника сигнала диапазона 66-67 ГГц при формировании сигнала на передающую антенну, а также роль гетеродина. В смесителе происходит преобразование сигнала гетеродина и усиленного на малошумящем усилителе (МШУ) сигнала с приемной антенны в сигнал промежуточной частоты.

Однокристальный модуль проектировался по микрополосковой технологии. В схемах на арсениде галлия использование микрополосков не является проблемой, так как пластины легко утоняются и хорошо химически травятся, но в схемах на нитриде галлия на подложке сапфира создание заземляющей плоскости связано с серьезными технологическими трудностями. Было предложено решение этой проблемы, заключающееся в размещении земляной плоскости не на обратной стороне пластины, а на лицевой поверх активной части МИС через слой фотолака (разработка ИВС РАН). Такое решение изображено на рисунке 2, на котором показаны сквозные отверстия, через которые будет осуществляться заземление истоков транзисторов и конденсаторов, что обеспечивает общий электрический контакт одного общего электрода [2].

На начальном этапе были изготовлены транзисторы 2x50 мкм и 2x100 мкм с длиной затвора 140 нм и созданы модели транзисторов, построенные на основе измерений S-параметров, вольт-амперных характеристик и измерений

коэффициента шума. После этого по построенным моделям транзисторов проектировались ГУН, МШУ и смеситель. Разработанный МШУ состоит из двух каскадов, транзисторы включены по схеме с общим истоком. Согласующие цепи выполнены в виде отрезков микрополосковых линий, конденсаторов на землю маленького номинала и разделительных конденсаторов большого номинала. По микрополосковым линиям также подавались напряжения смещения на затвор и питания на сток. Расчётный коэффициент передачи МШУ составил 10 дБ, коэффициент шума около 6,0-6,5 дБ [3]. В качестве интегрированного источника сигнала был спроектирован ГУН. Управление частотой генерации осуществляется варактором, в качестве которого используется транзистор в диодном включении - управляющее напряжение меняет емкость затвор-сток [4]. Смеситель построен на основе балунов Маршанда - трансформаторов на основе связанных микрополосковых линий. На один вход смесителя поступает сигнал с ГУН, а на другой вход – сигнал, принятый с приемной антенны. На выходе балунов формируются сигналы, смещенные относительно друг друга по фазе на 180°. Выходные сигналы мостов попарно перемножаются в транзисторах, суммируются и в результате на выходе смесителя образуется сигнал промежуточной частоты (IF). Расчетные потери в балансном смесителе при преобразовании сигнала из диапазона 60-67 ГГц в диапазоне 0-5 ГГц не превышают 12 дБ. На данную МИС получено свидетельство о регистрации топологии интегральной схемы [5].

2. Результаты измерений МИС

Разработанные МИС были изготовлены на технологическом оборудовании ИСВЧПЭ РАН. Размеры "системы-на-кристалле" составляют 4,0x2,4 мм. На рисунке 3 показаны результаты измерений типового образца ГУН. График зависимости частоты генерации от управляющего напряжения показал, что диапазон перестройки частоты составляет 66-68,8 ГГц при управляющем напряжении от 0 до 10 В. График зависимости выходной мощности от частоты показал, что выходная мощность составляет около 10-13 дБм. Потери преобразования смесителя в сигнал промежуточной частоты 1...4 ГГц составляют -14...-12 дБ при мощности гетеродина 10 дБм. Измерения усилителя показали (рисунок 4), что его характеристики сместились в более низкочастотный диапазон. На частоте 56 ГГц коэффициент передачи достигает 6,5 дБ при хорошем согласовании входа и выхода. В диапазоне 66-67 ГГц коэффициент передач около 4 дБ.

Проведена оценка полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем было проведено сравнение разработанной МИС ППМ с устройствами, в которых приемник и передатчик объединены в один конструктивный блок и в котором, по меньшей мере, одна часть используется для передачи и приема сигнала, при этом все аналоги построены либо по кремниевой технологии, либо по SiGe [6-11]. Изготовленная МИС является единственной разработанной на широкозонном полупроводнике – нитриде галлия, а по габаритам и характеристикам разработанная схема находится на уровне мировых аналогов.

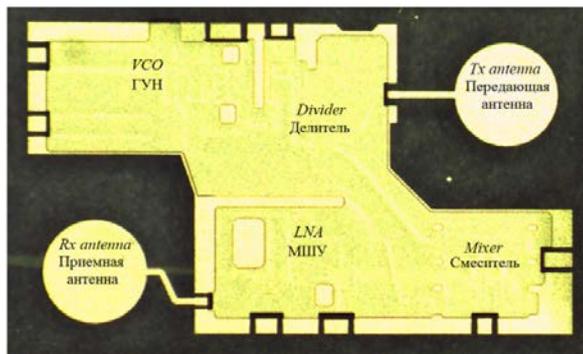


Рисунок 1 – Фотография изготовленной МИС диапазона 66-67 ГГц

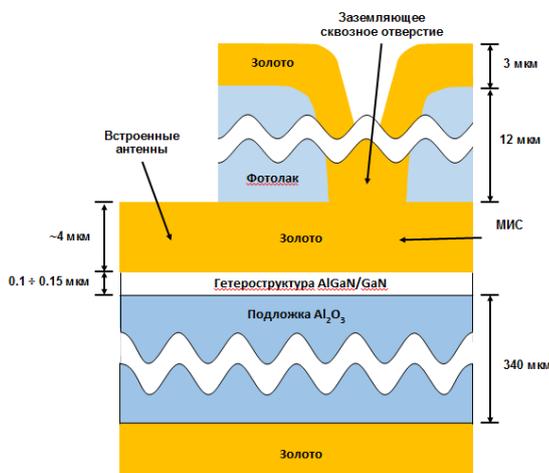


Рисунок 2 – Поперечное сечение пластины с фотолаком

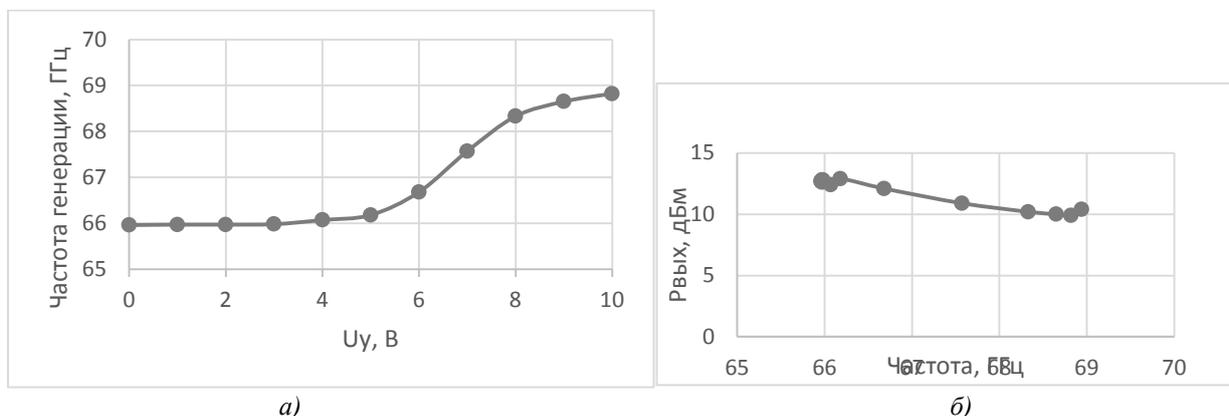


Рисунок 3 – Параметры МИС ГУН - а) зависимость частоты генерации от управляющего напряжения, б) зависимость выходной мощности от частоты

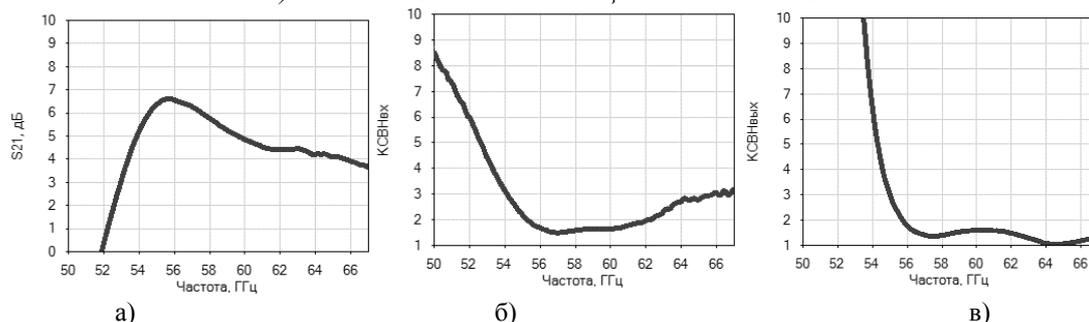


Рисунок 4 – Измеренные характеристики МШУ (а – коэффициента передачи; б – КСВН входа; в – КСВН выхода)

Заключение

Предварительные исследования разработанной МИС приемопередающего модуля диапазона 66-67 ГГц с интеграцией всех элементов приемного и передающего тракта в одной "системе-на-кристалле" продемонстрировали её работоспособность. Выходная мощность в передающем тракте составила более 10 дБм, диапазон перестройки ГУН - более 2 ГГц. По совокупности характеристик разработанная МИС ППМ соответствует мировому уровню. Впервые в мире приемопередающая "система-на-кристалле" изготовлена на гетероструктурах нитрида галлия. В перспективе характеристики МИС могут быть улучшены за счет совершенствования технологии и улучшения качества гетероструктур, а стоимость промышленного изготовления может быть существенно снижена при переходе на подложки из кремния.

Список литературы

1. Федоров Ю.В., Мальцев П.П., Матвеев О.С., Гнатюк Д.Л., Крапухин Д.В., Путинцев Б.Г., Павлов А.Ю., Зуев А.В. МИС усилителей со встроенными антеннами СВЧ-диапазона на наногетероструктурах // Наноиндустрия. 2015. № 3. С. 44-51.
2. Бугаев А.С., Енюшкина Е.Н., Арутюнян С.С., Иванова Н.Е., Глинский И.А., Томаш К.Н. Разработка технологии формирования общей земли на активной поверхности монокристаллической интегральной схемы усилителя мощности на нитридных гетероструктурах//Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2016. Т. 16. №4. С. 45-48.
3. Крапухин Дмитрий Владимирович. Монокристаллическая интегральная схема маломощного усилителя на нитриде галлия для диапазона 57-64 ГГц: диссертация кандидата технических наук: 05.27.01 / Крапухин Дмитрий Владимирович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Московский технологический университет], 2016.
4. Мальцев П.П., Федоров Ю.В., Гнатюк Д.Л., Матвеев О.С., Путинцев Б.Г., Зуев А.В. Монокристаллическая интегральная схема ГУН V- диапазона // Нано- и микросистемная техника. 2016. № 10. С. 645-650.
5. Мальцев П.П., Федоров Ю.В., Гнатюк Д.Л., Матвеев О.С., Крапухин Д.В., Путинцев Б.Г. Интегрированный приемопередающий модуль для диапазона частот 57-64 ГГц, свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной схемы № 2016630080 от 12.07.2016.
6. A. Tomkins, R. A. Aroca, T. Yamamoto, S. T. Nicolson, Y. Doi, S. P. Voinigescu. A Zero-IF 60GHz Transceiver in 65nm CMOS with > 3.5Gb/s Links // Custom Integrated Circuits Conference. - 2008. - CICC 2008.
7. A. Siligaris, F. Chaix, M. Pelissier et al. A low power 60-GHz 2.2-Gbps UWB transceiver with integrated antennas for short range communications // IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. - 2013. - P. 297-300.
8. T. Yao, L. Tchoketch-Kebir, O. Yuryevich et al. 65GHz Doppler Sensor with On-Chip Antenna in 0.18µm SiGe BiCMOS // IEEE. - 2006. - P. 1493-1496.
9. Chien M. Ta, Byron Wicks, Bo Yang, Yuan Mo, et al. Wireless Communications at 60 GHz: A single-chip Solution on CMOS technology // Mobile and Wireless Communications: Network layer and circuit level design. - 2010. - P. 281-303.
10. Toshiya Mitomo, Yukako Tsutsumi, Hiroaki Hoshino, et al. A 2-Gb/s Throughput CMOS Transceiver Chipset With In-Package Antenna for 60-GHz Short-Range Wireless Communication // IEEE Journal of solid-state circuits. 2012. - Vol. 47. - No. 12. - P. 3160-3171.
11. Analog Devices, HMC6001LP711E, 60 GHz Rx with integrated antenna, Product Datasheet [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.analog.com/en/products/rf-microwave/integrated-transceivers-transmitters-receivers/microwave-mmwave-tx-rx/hmc6001.html>, свободный (дата обращения: 30.04.2018).

МОЩНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Красненко Н.П.^{1,2}, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Группы акустических исследований ИМКЭС СО РАН, профессор кафедры радиотехнических систем ТУСУР

*Раков А.С.^{1,2}, младший научный сотрудник Группы акустических исследований ИМКЭС СО РАН
НИИ радиотехнических систем ТУСУР*

Раков Д.С.¹, к.т.н, научный сотрудник Группы акустических исследований ИМКЭС СО РАН

*1 – Институт климатических и экологических систем СО РАН, www.imces.ru, 634055, г. Томск
пр. Академический, 10/3, т. 8-(3822) 492 418, krasnenko@imces.ru*

*2 – Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, г. Томск
пр. Ленина, 40, www.tusur.ru*

POWERFUL ACOUSTIC PHASED ARRAY FOR ATMOSPHERIC APPLICATIONS

Krasnenko N.P.^{1,2}, Rakov A.S.^{1,2}, Rakov D.S.¹

Annotation

Developed acoustic phased array antennas are shown. The characteristics and the composition of the antennas are described.

Keywords

Antenna array, antenna pattern, sound pressure, range, sound broadcasting.

Аннотация

Рассмотрены разработанные модели акустических фазированных антенных решеток. Приводятся их характеристики и состав.

Ключевые слова

Антенная решетка, диаграмма направленности, звуковое давление, дальность действия, звуковое вещание.

Введение

В различных атмосферных приложениях существует потребность в разработке и использовании мощных акустических излучателей направленного действия [1-5]. Они используются для исследования распространения звуковых волн, акустического зондирования атмосферы, звукового вещания на большие расстояния и акустического воздействия на биообъекты.

Увеличение дальности действия различных акустических систем требует создания мощных направленных звуковых пучков. Это реализуется с помощью акустических излучающих систем на базе многоэлементных антенных решеток, состоящих из многих отдельных излучателей. Использование антенных решеток позволяет повысить излучаемую звуковую мощность за счет увеличения числа элементов решетки, реализовать требуемую диаграмму направленности (ДН) и малый уровень боковых лепестков (УБЛ). Они могут быть достаточно компактными, по сравнению, например, с зеркально-параболическими и рупорными антеннами, и позволяют создавать мощное направленное излучение в широком диапазоне частот. Также на них можно осуществлять электронное сканирование лучом диаграммы направленности антенны или создавать многолучевые системы.

Модели акустических решеток

В области акустического зондирования атмосферы существует ряд разработок систем зондирования (акустических локаторов или содаров) с приемо-передающими антеннами на базе антенных решеток. Например, содар DSDPA.90-24 фирмы Metek (Германия) имеет АР с 64 элементами. Полоса рабочих частот 1000 – 3000 Гц, максимальная высота измерения 1000 м, максимальная потребляемая мощность 800 Вт.

Производится ряд содаров фирмой REMTECH (Франция) с антенными решетками акустической мощности 5...25 Вт, частотой излучения 2500...5000 Гц, числом элементов 25...192. Также имеются и другие разработки содаров, использующие фазированные АР с числом элементов от 32 до 104 и акустической мощностью от 25 до 100 Вт.

Представляют интерес содары серии FAS фирмы Scintec (Германия). Они предназначены для дистанционного измерения профиля скорости ветра и турбулентности в нижних слоях атмосферы. У трех моделей серии FAS Scintec SFAS, MFAS и XFAS максимальный диапазон измерения может достигать от нескольких сотен метров до километра. Здесь в качестве источников и приемников использованы пьезоэлектрические преобразователи звука. Одна из особенностей этой серии содаров - эффективная антенная решетка, объединяющая частотное и фазовое сканирование ДН с цифровой обработкой сигналов.

Содар фирмы ART (Atmospheric Research Technology, США) Model VT-1 представляет моностатическую систему акустического зондирования. Содар обеспечивает дистанционные измерения профиля скорости ветра до высоты 300 м. Система состоит из 48-элементной акустической антенны, электронного модуля и переносного компьютера с программным обеспечением. Минимальная высота зондирования 15 м, разрешение по высоте от 20

м, несущая частота сигнала 4504 Гц, длительность импульса сигнала 10 – 200 мс (регулируемая). Диапазон измерения скорости ветра 0 – 25 м/с Погрешность измерения скорости ветра $\pm 0,25$ м/с Погрешность измерения направления ветра $\pm 2^\circ$.

К другому направлению использования мощных излучающих акустических систем относится акустическое воздействие на биообъекты (животный мир, человек). Актуальным является применение таких систем в аэропортах для разгона птиц с трассы полета самолетов и отпугивание белых медведей при освоении районов Арктики и Антарктики. Хорошо известно также, что акустическое излучение влияет на человека. Его воздействие исследовано в довольно широком аспекте. Выраженность наблюдаемых эффектов воздействия зависит от интенсивности, частоты, времени облучения и других параметров излучения. Имеются санитарные нормы, устанавливающие предельно допустимые уровни излучений, воздействующих на человека. Звуковые волны воздействуют в основном на органы слуха человека. Болевой порог для человека лежит на отметке 120 -130 дБ. Уровень звука в 160 дБ влечет за собой невосполнимую потерю слуха. Звуковые волны слышимого диапазона используются для нелетального воздействия на людей, без последствий для их здоровья и жизни. Это воздействие обеспечивается компактными установками формирующими направленное излучение звука достаточной мощности в заданном направлении. Такие установки также можно использовать как оповещатель (звуковещательная станция) для передачи речевых сообщений. В последние несколько лет в средствах массовой информации часто упоминают о "секретном новейшем акустическом психотронном оружии нелетального действия": то его используют американцы в Ираке, то с его помощью разгоняют демонстрации грузинских оппозиционеров, то оно появляется в зоне арабо-израильского конфликта и т.д. В ряде случаев громкий направленный звук может стать весьма эффективным средством распугивания или управления.

В мире создан ряд установок акустического воздействия на человека (террористов, нарушителей общественного порядка), как вид нелетального оружия. Наибольшую известность в мире получила система LRAD 1000 (и ее разновидности) – это акустическая система предупреждения и реагирования, производимая компанией American Technology Corporation (США). Аббревиатура названия установки расшифровывается как «Long Range Acoustic Hailing Device» - оповещающее устройство дальнего действия. Заявляемое максимальное акустическое давление, приведенное к расстоянию 1 м составляет 151 дБ, диапазон рабочих частот от 720 до 6600 Гц, максимальная потребляемая мощность 480 Вт. В качестве элементов решетки используются рупорные излучатели в количестве 85 шт. Диаметр излучающей системы 838 мм, толщина 155 мм. Вес излучающей системы без дополнительных устройств составляет 20,4 кг. Дальность действия до 1000 м. Широкою известность данное устройство получило после рекламы его применения для борьбы с нападением пиратов на судно у берегов Сомали.

Пожалуй наиболее мощной из рекламируемых известных акустических излучающих систем является акустическая система HS-60 (Hyperspike) компаний Watre Inc. и Ultra Electronics (США). В ней вероятно применяются электродинамические громкоговорители. Заявляется уровень звукового давления в 182 дБ на расстоянии одного метра от апертуры, а на ста метрах в 140 дБ. Ширина основного лепестка ДН составляет 10° на частоте 1 кГц. Диапазон частот 210-10000 Гц. Максимальная потребляемая мощность составляет 3 кВт. Однако эти данные вызывают большое сомнение.

Отечественные разработки акустических излучающих систем имеют аналогичные характеристики, а некоторые и превосходят зарубежные изделия. В последнее время были разработаны несколько образцов мобильных излучающих звуковых установок направленного действия. Использовались различные типы электроакустических преобразователей. На рисунке 1 показан внешний вид трех таких установок АИ-40, АИ-91 и ее модификация.

Созданные акустические излучатели большой мощности обеспечивают генерацию узконаправленного луча звуковых волн с максимумом излучения в области частот 2000 ÷ 3000 Гц. Они используются для звукового вещания на большие расстояния в целях оповещения и предупреждения. В их состав, кроме непосредственно излучающей системы, входят также портативный компьютер и источник питания. Акустический излучатель представляет собой антенную решетку из отдельных электроакустических преобразователей. Портативный компьютер (ноутбук) используется для управления, в качестве задающего генератора сигналов, для тестирования работоспособности излучателя и других дополнительных функций. Использование оригинального программного обеспечения позволяет генерировать различные виды непрерывных и импульсных сигналов, а также изменять их параметры. Для передачи речевых сообщений также используется микрофон. Источником питания для мобильных установок служит аккумуляторная батарея 12(24) В, обеспечивающая возможность непрерывной работы в течение часа. Также в стационарных условиях эксплуатации имеется возможность подключения к сети 220 В. Представленные излучающие установки использовались при проведении экспериментальных исследований по приземному распространению звуковых волн.

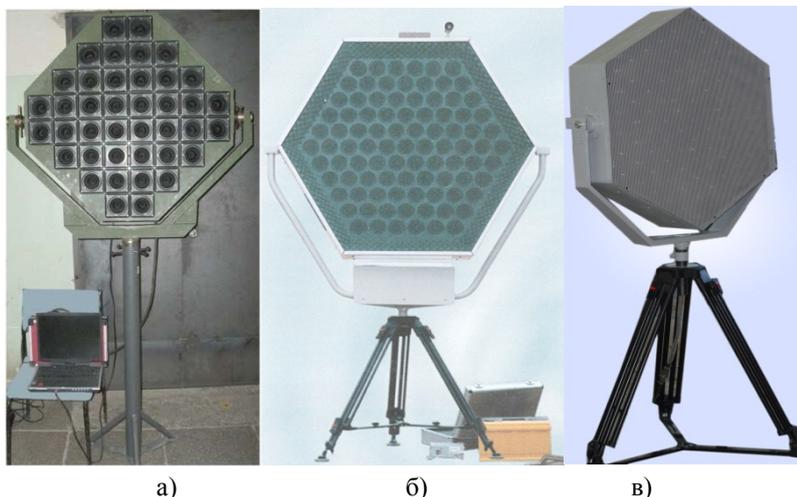


Рисунок 1 – Внешний вид акустических излучателей (АИ-40 – слева), сбоку ноутбук и автомобильный аккумулятор

Описанные излучатели являются мобильными и автономными устройствами. Их характеристики приводятся в докладе. Излучатели также используются для звукового вещания на большие расстояния в целях оповещения и предупреждения. В их состав, кроме непосредственно излучающей системы, входят также портативный компьютер и источник питания.

В качестве элементов антенной решетки излучателей использованы пьезоэлектрические преобразователи (громкоговорители), развивающие максимальное акустическое давление на резонансной частоте до 115 дБ на расстоянии 1 м. Выбор преобразователей обусловлен такими достоинствами пьезоэлектрических громкоговорителей, по сравнению с электродинамическими, как меньшая масса и больший КПД. Недостатками пьезоэлектрических громкоговорителей являются высокочастотность и неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), но даже при использовании широкополосных сигналов в системах звукового вещания, они нивелируются с расстоянием фильтрующими свойствами самой атмосферы.

Заключение

В докладе представлены разработанные модели мощных излучающих акустических антенных решеток для атмосферных приложений. Приведены их технические характеристики. Обладая такими достоинствами как малые вес, размеры и энергопотребление, мобильность и быстрая развертываемость на местности, предложенные модели могут успешно использоваться для дальней звуковой связи в атмосфере, при проведении экспериментов по распространению звука в приземном слое атмосферы в различных метеорологических условиях и при различной подстилающей поверхности, а также для зондирования атмосферы.

Список литературы

1. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. Томск: Водолей. 2001, 278 с.
2. Красненко Н.П., Абрамочкин В.Н., Бухлова Г.В. и др. Звуковое вещание в приземной атмосфере и его прогнозирование // Акустические измерения и стандартизация. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустика океана / Сб. тр. XV сессии Российского акустического общества. Т. II. – М.: ГЕОС, 2004. – С. 110-113.
3. Красненко Н.П. Дальнее звуковое вещание: проблемы, итоги, возможности // Сверхширокополосные сигналы в радиолокационных и акустических системах: конспекты лекций / Науч. совет по распространению радиоволн; Муром. ин-т Влад. гос. ун-та.- Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2006. С. 96-115.
4. Красненко Н.П., Раков А.С., Сандуков Ц.Д. Излучающие акустические антенные решетки для атмосферных приложений // Методы и устройства передачи и обработки информации. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 11, М.: «Радиотехника». 2009., с. 164-172.
5. Красненко Н.П., Раков А.С., Раков Д.С., Сандуков Ц.Д. Мощные акустические антенные решетки // Приборы и техника эксперимента. 2012, № 3, С. 129-130.

СОДАРЫ ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

*Красненко Н.П., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Группы акустических исследований
профессор кафедры радиотехнических систем
Институт климатических и экологических систем СО РАН, www.imces.ru,
634055 г. Томск, пр. Академический, 10/3, т. 8-(3822) 492 418, krasnenko@imces.ru
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, www.tusur.ru*

SODARS FOR SENSING OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Krasnenko N.P.

Annotation

The design is considered of acoustic radars (sodars) intended for sounding of the atmospheric boundary layer, including temperature stratification, wind velocity profiles, and turbulence characteristics. Results of measurements are presented. The possibilities of sodars and their applications are discussed.

Keywords

Sodar, atmospheric boundary layer, wind velocity, characteristics of turbulence.

Аннотация

Рассматриваются сделанные разработки акустических локаторов (содаров) для зондирования атмосферного пограничного слоя, измерения температурной стратификации, профилей скорости ветра и характеристик турбулентности. Приводятся результаты измерений. Обсуждаются возможности содаров и вопросы их использования.

Ключевые слова

Содар, атмосферный пограничный слой, скорость ветра, характеристики турбулентности.

Введение

Содары или акустические локаторы широко используются в мире в исследованиях атмосферного пограничного слоя (АПС) [1-10]. Использование звукового излучения для дистанционного зондирования атмосферы (акустическое зондирование) основано на способности акустических волн рассеиваться на неоднородностях показателя преломления, образованных атмосферной турбулентностью.

Звуковые волны слышимого диапазона частот, обычно применяемые в акустическом зондировании, обладают небольшой, по сравнению с электромагнитными волнами, проникающей способностью в атмосфере. Дальность зондирования ограничивается (наряду с шумами) молекулярным поглощением, ветровой и температурной рефракцией, турбулентным ослаблением. Поэтому естественной областью применения акустического зондирования является нижняя часть тропосферы до высот порядка одного - полутора километров, называемая атмосферным пограничным слоем. В этом слое акустическое зондирование имеет ряд существенных преимуществ перед методами радио- и оптического зондирования. Для увеличения высоты зондирования используют звуковые волны низких частот.

Применение дистанционного зондирования для изучения АПС необходимо для решения как фундаментальных проблем физики атмосферы, так и для целого ряда прикладных задач, включая задачи приземного распространения электромагнитных и звуковых волн. Состояние АПС в основном и влияет на жизнедеятельность человека. Для этого слоя характерна большая изменчивость и разнообразие термической стратификации, определяемой орографией местности, свойствами подстилающей поверхности, радиационными условиями, а также синоптическими процессами. Характеристики стратификации, получаемые с помощью средств зондирования, важны для оценки и прогнозирования условий загрязнения атмосферы. Поэтому для практических приложений требуется привлечение новых дистанционных средств зондирования с дополнительными информационными возможностями.

Знание высотно-временных изменений профилей метеорологических параметров и характеристик атмосферной турбулентности имеет фундаментальное значение для исследования структуры и динамики атмосферного пограничного слоя (АПС) и построения его математической модели, широко используемой для целей синоптического прогноза, теоретического анализа и прогноза распространения электромагнитного и акустического излучений, а также диффузии загрязняющих примесей.

Методы и техника акустического зондирования

Сущность акустического зондирования заключается в том, что в атмосферу направленно излучается звуковой сигнал, который распространяясь, взаимодействует с ней. Рассеянное неоднородностями или проходящее излучение принимается приемной антенной и по его параметрам судят о характеристиках атмосферы. Поэтому основной набор элементов, необходимых для активного дистанционного зондирования, содержит передающую систему для направленного излучения энергии в заданную область атмосферы, чувствительную приемную систему

и систему регистрации и обработки рассеянного сигнала. Используются моностатические (с совмещенной приемопередающей антенной), бистатические и тристатические (с разнесенными антеннами) содары. Наибольшее распространение в практических приложениях получили первые, поскольку при импульсном зондировании они позволяют получать вертикальные профили структуры атмосферы. Также содары бывают одноканальные и многоканальные (многокомпонентные или многолучевые) для измерения вектора скорости ветра на основе эффекта Доплера в различных каналах.

Рассматриваются принципы (методы) дистанционного зондирования, а также разработанная наземная зондирующая техника (содары) для измерения параметров структуры и динамики атмосферного пограничного слоя. Содары визуализируют мелкомасштабную структуру турбулентности, позволяют контролировать термическую структуру АПС, определять границы приземных и приподнятых инверсий и высоту слоя перемешивания, обнаруживать перемежаемость турбулентности и волновые движения, измерять профили вектора скорости ветра и различных характеристик турбулентности.

Содары обладают высокой пространственно-временной разрешающей способностью, оперативностью, работают в непрерывном режиме и обычно измеряют характеристики атмосферы в диапазоне высот от нескольких метров до сотен метров. Применение содаров позволяет получать длинные временные ряды наблюдений структуры АПС.

Выделяют несколько основных эффектов (закономерностей), которые уже используются в акустическом зондировании или на основе которых могут быть разработаны новые методы:

- Зависимость скорости звука от значений метеопараметров, которая лежит в основе работы локальных ультразвуковых измерителей температуры и скорости ветра, и систем радиоакустического зондирования;
- Эффект рассеяния звука на мелкомасштабной турбулентности – являющийся основой акустической локации. Флуктуации акустического показателя преломления определяются в основном флуктуациями температуры и скорости ветра. Сечение рассеяния для звуковых волн примерно в миллион раз больше, чем для электромагнитных;
- Эффект рассеяния звука на частицах различных атмосферных образований, который используется при зондировании гидрометеоров;
- Показатель преломления имеет так же мнимую часть, которая описывает поглощение звуковых волн при их распространении в атмосфере. Обычно звуковые волны поглощаются намного сильнее, чем электромагнитные. Поглощение звука имеет сильную частотную зависимость;
- Для звуковых волн значительны и рефракционные эффекты, которые определяются высотным ходом температуры, скорости и направления ветра;
- Эффект Доплера, определяющий сдвиг частоты зондирующего излучения и лежащий в основе измерений скорости ветра.

Такое сильное взаимодействие звуковых волн с нижней атмосферой говорит о том, что различные методы и средства дистанционного акустического зондирования могут с успехом использоваться для ее исследования и контроля состояния. Основное применение они нашли для контроля температурно-ветровой стратификации АПС, определения высоты слоя перемешивания, типа стратификации (класса устойчивости атмосферы), измерения профилей различных характеристик турбулентности, в частности, структурных постоянных флуктуаций температуры и скорости ветра, турбулентного потока, внешнего масштаба турбулентности, вектора скорости ветра и др.

У нас в России проблемами акустического зондирования занимаются несколько групп: в Москве – ИФА РАН, МГУ, НПФ «Лантан»; в Обнинске – НПО «Тайфун»; в Нижнем Новгороде – НИРФИ; в Томске – ИОА СО РАН, ИМКЭС СО РАН, ТУСУР. Некоторые из отечественных содаров показаны на рисунке 1. Приведенные здесь содары являются моностатическими.



а



б



в



Г

Рисунок 1 – Внешний вид моностатического доплеровского содара Звук-3 (а), доплеровского минисодара мС-1 (б), модернизированного германского содара ЕСНО-1 (в) и доплеровского содара Звук-2 (Волна-3) (г)

В данном докладе показывается возможность использования содаров для одновременных комплексных измерений профилей ряда различных характеристик турбулентности. Анализируется пространственно-временная динамика характеристик атмосферной турбулентности, включая три компонента скорости ветра, продольные и поперечные структурные функции поля скорости ветра, структурные характеристики температуры и скорости ветра, скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, и внешние масштабы температурной и динамической турбулентности. Характеристики рассчитываются из временных рядов вертикальных профилей вектора скорости ветра, измеренных содаром.

Заключение

В докладе приводятся характеристики существующих систем зондирования, области их применения, статус реализации (коммерческий, исследовательский) и др. Обсуждаются преимущества и недостатки различных технологий, перспективы их реализации и использования. Технологии техника акустического зондирования позволяют в реальном времени контролировать метеорологическое состояние атмосферного пограничного слоя, а также осуществлять прогнозирование развития метеорологической ситуации. Приводятся результаты исследований структуры и динамики атмосферного пограничного слоя.

Список литературы

1. Acoustic Remote Sensing Applications. S.P. Singal (Ed). 1997 Narosa Publishing House. New Delhi. India. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer-Verlag. 1997. 69. 585 p.
2. Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М.: Наука. 1985. 198 с.
3. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1986. 167 с.
4. Каллистратова М.А. Роль акустических методов в современных исследованиях атмосферы. // Сб. трудов X сессии Российского акустического общества. Том 2. –М.: ГЕОС. 2000. С. 395-404.
5. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. Томск: Водолей. 2001. 278 с.
6. Красненко Н.П., Тихомиров А.А. Технические средства и технологии дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности. Оптика атмосферы и океана, 2002. Т.15. № 1. С. 51-61.
7. Красненко Н.П. Итоги развития атмосферной акустики в Томске. // Сб. тр. XVIII сессии Российского акустического общества. Т. 2. – М.: ГЕОС. 2006. С. 132-136.
8. Bradley S., Atmospheric Acoustic Remote Sensing: Principles and Applications, CRC Press Taylor&Francis Group, 2007, 296 p.
9. Локощенко М.А. Содары и их использование в метеорологии // Мир измерений. 2009. 6(100). С. 21-29.
10. Krasnenko N.P., Shamanaeva L.G. Sodars and their application for investigation of the turbulent structure of the lower atmosphere // ENVIROMIS-2016, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 48 (2016) 012025 (<http://iopscience.iop.org/1755-1315/48/1/012025>), 12 pp. doi:10.1088/1755-1315/48/1/012025.

ОПТОВОЛОКОННЫЙ СПЕКТРОГРАФ ВЫСОКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Валявин Г.Г., Кудрявцев Д.О. и команда разработчиков
САО РАН, <http://www.sao.ru/>, 369167, Карачаево-Черкесская Республика, п. Нижний Архыз
тел. (87878) 46336, e-mail: gvalyavin@sao.ru

FIBER-FED HIGH-RESOLUTION SPECTROGRAPH FOR ASTROPHYSICAL RESEARCH

Valyavin G.G., Kudryavtsev D.O.

Annotation

We present a project of a high-precision high-resolution ($R = 100\,000$) fiber-fed spectrograph for comprehensive studies of stellar atmospheres, search for exoplanets, research in asteroseismology, stellar magnetism, studies of active nuclei of bright galaxies, interstellar medium, etc. The optical scheme of the instrument is presented. The operating wavelength range spans from 4000 to 7500 Angstroms. We also present the optical scheme of the pre-fiber optical unit of the spectrograph. The unit supports four main modes of spectroscopic observations: traditional spectroscopy with the spectrum of a studied object taken along with the spectrum of the background in the immediate vicinity of the object, simultaneous recording the spectra of an object and the wavelength standard, high-precision spectroscopy with the iodine cell, and spectropolarimetric observations of all four Stokes parameters.

Keywords

Spectrographs, exoplanets, asteroseismology, stellar magnetic fields.

Аннотация

Мы представляем проект высокоточного оптоволоконного спектрографа высокого спектрального разрешения ($R = 100\,000$) для комплексных исследований атмосфер звезд, поиска экзопланет, астросейсмологических исследований, исследования звездного магнетизма, активных ядер ярких галактик, межзвездной среды и т.д. Представлена оптическая схема прибора. Рабочий диапазон от 4000 до 7500 Å. Представлена также оптическая схема предоптоволоконного блока спектрографа. Блок обеспечивает четыре основных режима спектральных наблюдений: режим обычной спектроскопии с получением спектра исследуемого объекта и спектра фона в непосредственной близости от него; режим одновременного получения спектра объекта и спектра эталона длин волн; режим высокоточной спектроскопии с йодной ячейкой и режим спектрополяриметрических наблюдений с получением всех параметров Стокса.

Ключевые слова

Спектрографы, экзопланеты, астросейсмология, магнитные поля звезд.

Введение

Отличие оптоволоконных спектрографов от традиционных состоит в способе передачи собранного в фокусе телескопа света от исследуемого объекта до щели спектрографа. В оптоволоконных спектрографах изображение изучаемого объекта передается на щель с помощью оптических волокон. Такой способ передачи световой энергии обладает целым рядом очевидных преимуществ:

- (1) возможность размещения спектрографа вне подвижных частей конструкции телескопа, что обеспечивает ему более высокую механическую и температурную стабильность и, соответственно, более высокую, чем у традиционных щелевых спектрографов, точность позиционных спектральных измерений (что, в частности, важно в измерениях лучевых скоростей звезд);
- (2) возможность деления изображения отдельными световодами с дальнейшим позиционированием их на щели спектрографа. В ряде случаев это облегчает техническое решение по обеспечению высокого спектрального разрешения с минимальными потерями света;
- (3) обеспечение высокой стабильности позиционных и фотометрических характеристик спроецированных на приемник спектров как от исследуемых объектов, так и от эталонных источников света;
- (4) возможность оснащения спектрографа поляриметрической аппаратурой для измерения всех параметров Стокса без использования наклонных зеркал, вносящих значительную инструментальную поляризацию.

Благодаря высокой механической стабильности, на оптоволоконных спектрографах достигнуты точности измерений лучевых скоростей звезд вплоть до 1 м/с и выше. Создание первых таких инструментов позволило начать ряд новых уникальных исследований, выполнение которых с использованием традиционных схем спектрографов было затруднительным или даже невозможным. Отсутствие у российских обсерваторий аналогичных инструментов определило их отставание по целому ряду направлений: исследование экзопланет, астросейсмология, доплер-земановское картирование.

В нашем докладе мы представляем проекта спектрографа высокого спектрального разрешения с оптоволоконным

входом, который в настоящее время реализуются на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН [1].

Оптическая схема

Принципиальная оптическая схема спектрографа приведена на рис. 1. Свет от щели 1 коллимируется в отношении $F/11.6$ внеосевым коллиматором 2 и падает на эшелле-решетку 3, которая работает с коллиматором 2 в режиме автоколлимации под небольшим углом к оптической оси в плоскости рисунка для отвода диспергированного пучка в сторону от пути света от щели. После отражения от эшелле-решетки и коллиматора 2 диспергированный свет возвращается к фокальной плоскости коллиматора 2, где перехватывается ломающим зеркалом 4 и вновь коллимируется коллиматором переноса 5. В фокусе коллиматора 5 диспергированный пучок формирует изображения зрачка («белый зрачок» — вторичное изображение эшелле-решетки). В этом месте размещается кросс-дисперсионная призма 6, после чего пучок фокусируется на ПЗС 8 линзовой камерой 7.

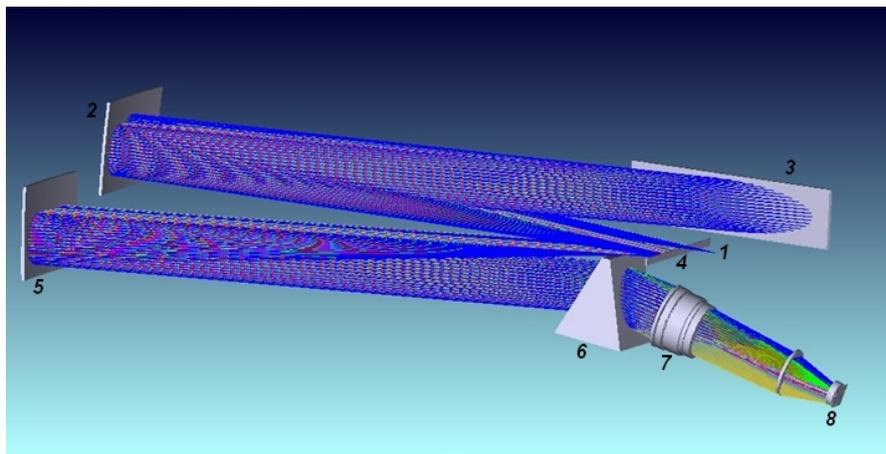


Рисунок 1 – Оптическая схема спектрографа

В представленной схеме выбраны следующие параметры составляющих ее элементов:

- (1) Внеосевые зеркальные коллиматоры 2 и 5 имеют параболическую поверхность с фокусным расстоянием 2175 мм.
- (2) В качестве эшелле-решетки 3 используется мозаика из двухстандартных эшелле-решеток с углом блеска равным 75.5 градусов (решетка R4).
- (3) Кросс-дисперсор 6 представляет из себя призму РВМ2У (эффективность 70%).
- (4) В качестве ПЗС-приемника 8 будет использоваться камера с матрицей $4K \times 4K$ элементов с размером элемента 15 мкм, которая в настоящее время изготавливается лабораторией перспективных разработок САО РАН на базе чипа CCD231–84 компании E2V.
- (5) В качестве фокусирующей камеры 7 используется $F/2.35$ линзовая комбинация из семи сферических оптических элементов с эффективным фокусом 470 мм.

Навесная часть спектрографа

На рис. 2 приведена схема навесной (предоптоволоконной) части спектрографа, которую мы планируем разместить в первичном фокусе (ПФ) БТА. В этой схеме пучок от 6-м зеркала с относительным отверстием $F/4$ коллимируется за фокальной плоскостью F1 группой линз 4 и затем преобразуется к относительному отверстию $F/30$ группой линз 5. Участок между группами линз 4 и 5 предназначен для введения в него поляризационной оптики при поляриметрии – четвертьволновой 7 и полуволновой 8 пластинок совместно с анализатором 9, который разводит обыкновенный и необыкновенный лучи. В сходящемся после линз 5 пучке мы также можем размещать дополнительные оптические элементы для организации режимов высокоточных измерений лучевых скоростей звезд – йодная ячейка 13 и компенсатор атмосферной дисперсии 14. Лучи проецируются на соответствующие входы световодных каналов, собранные в оптоволоконную сборку на подвижной каретке 6.

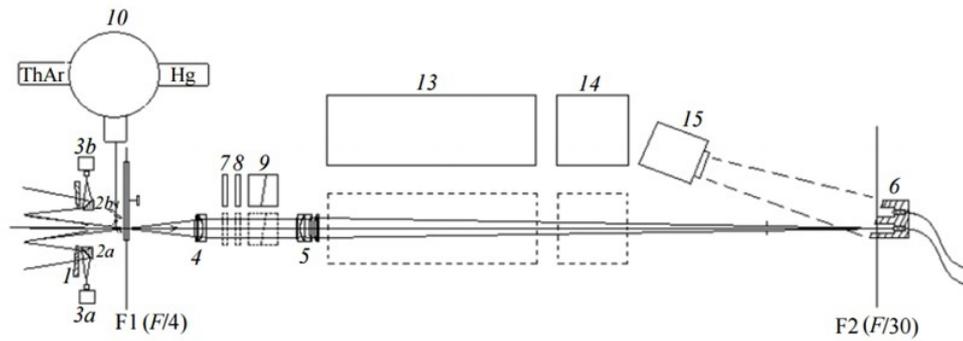
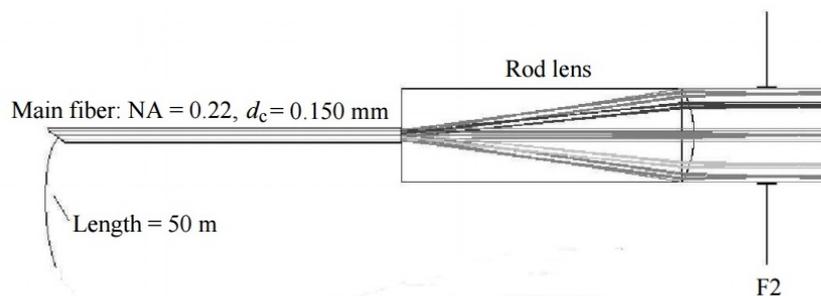


Рисунок 2 – Предоптоволоконная часть

Узел офсетного гидирования состоит из корректора поля *1*, двух подвижных диагональных зеркал *2a* и *2b* и жестко связанных с ними камер телевизионных подсмотров *3a* и *3b*. Эти зеркала и камеры осуществляют цифровой контроль положений опорных звезд гидирования, находящихся вне центрального полезного поля (несколько десятков угловых секунд). Корректор поля имеет отверстие в центре для обеспечения полезного поля, свободного от дополнительных поглощений света на стекле корректора. Полное поле гида — около двух десятков угловых минут. В таком поле с высокой вероятностью найдется яркая звезда 12–14^м, что необходимо для обеспечения гидирования с высокой частотой (10–20 Гц), которой будет достаточно для контроля механических колебаний телескопа с характерными частотами около 1 Гц. С соответствующими характерным временем (1 с) гид будет управлять подвижной кареткой *б*, на которой закреплены входы в световодные каналы спектрографа. Кроме того, каждые 2–3 секунды гид будет корректировать положение телескопа, анализируя накопленную за это время суммарную коррекционную поправку. Искусственные источники света для калибровки по длинам волн (лампа с полым катодом из тория, заполненная смесью газов) и для плоского поля (галогенная лампа) размещаются в сфере интегрирования света *10*.

Оптоволоконная сборка световодного тракта

В основной конфигурации оптоволоконная сборка представлена двумя оптоволоконными каналами с числовыми апертурами $NA = 0.22$ и диаметрами ядер 150 мкм. Каждое из этих оптоволокон представляет собой индивидуальный световодный канал. Всего имеется два канала. Для согласования входной числовой апертуры оптоволокон с относительным отверстием входящего пучка $F/30$ торцы световодов каждого из каналов снабжены согласующей микролинзой (Rod-lens), преобразующей пучок с относительным отверстием $F/30$ в пучок $F/3.2$, что соответствует числовой апертуре $NA = 0.22$ на границе среды кварц–кварц. Принципиальная схема световодного канала приведена на рис. 3. Радиус кривизны $r = 1.37$ мм и диаметр $d = 1.29$ мм согласующей микролинзы, расположенной на расстоянии 1 мм за фокальной плоскостью $F2$, позволяет полностью собрать свет от изображения звезды в диафрагме размером 1.5 угл. сек. и передать изображение зрачка на торец ядра оптоволоконного канала размером 150 мкм. Центрирование такой линзы может быть выполнено с точностью до 5 мкм, что делает светопотери на центрировании не превышающими 2–3%.



Благодарности

Проект реализуется при поддержке Российского научного фонда (грант 14-50-00043).

Список литературы

1. Valyavin et al., 2014, *Astrophysical Bulletin*, 69, 224.

**РАЗРАБОТКА МАСС-СПЕКТРОМЕТРА МТИ-350ТМ – ПРИМЕР СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОГО
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Кузьмин Д.Н.¹, к.т.н., начальник КБ АП, Галль Л.Н.², профессор, д. ф.-м. н., зав. лабораторией экомедицинской
масс-спектрометрии, Малеев А.Б., к.т.н., начальник ЛРиРАО, Сапрыгин А.В.³, д.т.н., Генеральный директор*

1 – ФГУП ЭЗАН, Адрес: просп. Академика Семенова, д. 9, г. Черноголовка, Московская область

тел. (495) 993-37-57 доб.547. e-mail: kuzmin@ezan.ac.ru, http://www.ezan.ac.ru

2 – Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург

тел. (812) 3630719. e-mail: iap@ianin.spb.su, http://iairas.ru

*3 – Общество с ограниченной ответственностью "Контрольно-аналитический центр "Аналитика и
неразрушающий контроль-сервис" (ООО "АНК-сервис")*

624130, Свердловская обл., г. Новоуральск, ул. Дзержинского, д.7

тел. (343) 2290577, e-mail: info@ank-service.ru, http://ank-service.ru

**THE DEVELOPMENT OF MTI-350TM MASS SPECTROMETER AS AN EXAMPLE OF THE CREATION OF
MODERN SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT**

Kuzmin D.N.¹, Gall L.N.², Maleev A.B.³, Saprygin A.V.³

Annotation

The paper discusses some peculiarities of the design and development of scientific equipment, particularly mass spectrometers, which provide implementation of high standard scientific and technological analytical testing methods.

Keywords

Mass spectrometer, surface thermo ionization, isotopic analysis, sample wheel, solids, isotopes, MTI-350.

Аннотация

В статье рассматриваются особенности подхода к разработке научного оборудования, позволяющего конструктивно обеспечивать реализацию специфических научных и технологических методик, отвечающих задачам проводимых исследований

Ключевые слова

Масс-спектрометр, поверхностная термоионизация, изотопный анализ, магазин проб, твердая фаза, изотопы, МТИ-350.

Современный уровень научных исследований и промышленных технологий постоянно требует введения в практику все более сложного электрофизического оборудования. Это в первую очередь относится к высокопрецизионным масс-спектрометрам для изотопного анализа веществ в твердой фазе, являющимся незаменимым оборудованием для технологий, реализуемых в ядерно-топливном и ядерно-оружейном циклах. В этих технологиях метод измерений изотопных отношений обеспечивает сверхточное, с ошибкой, не превышающей 0,01%, измерение изотопного состава урана, требуемое как в производстве ТВЭЛов, так и оружейных смесей. Он также является единственным методом, обеспечивающим измерение изотопного состава плутония в смесях с ураном, трансуранами и с продуктами их деления, составляя основу контроля технологий переработки ТВЭЛов, причем ни один из радиохимических методов не может заменить масс-спектрометр по точности и информативности в контроле этих процессов. Важнейшей функцией твердофазной масс-спектрометрии является решение задачи учета и контроля ядерных материалов, особенно важной в настоящее время, когда в мире уже накоплено их значительное количество. Твердофазная масс-спектрометрия имеет еще одну незаменимую функцию – твердофазные масс-спектрометры остаются единственными приборами, реализующими методики геохронологии, дающей научную основу направленного поиска полезных ископаемых для обеспечения широкой номенклатуры технологического сырья для промышленности. Все это делает твердофазные масс-спектрометры, несмотря на их сложность и высокую стоимость, незаменимыми инструментами многих областей современных научных исследований и промышленных технологий.

Масс-спектрометрия в СССР была развитой отраслью научного приборостроения, полностью обеспечивающей как научные, так и технологические потребности страны в изотопных измерениях. Более того, начиная с середины 40-х годов отечественная изотопная масс-спектрометрия неизменно превышала по своим достижениям и возможностям это направление даже в наиболее развитых зарубежных странах. Однако размещение главного производства изотопных масс-спектрометров на Украине (Фирма «Селми») привело к тому, что после распада СССР снабжение российских предприятий атомной отрасли современным масс-спектрометрическим оборудованием было вначале затруднено как по политическим, так и по экономическим причинам, а затем и вовсе прекращено. Российский рынок оказался полностью захвачен ведущими масс-спектрометрическими фирмами, а раздельные комбинаты отрасли вынуждены были приобретать импортные изотопные масс-спектрометры по несоизмеримо высоким ценам, находясь при этом в полной зависимости от фирм-производителей в снабжении приборов расходными материалами и специализированными комплектующими, необходимыми для поддержания работоспособности своего масс-спектрометрического оборудования.

В связи с этим в 1999 году Росатом РФ принял решение об организации замещающего производства масс-спектрометров - разработке и выпуску линейки современных отечественных приборов для нужд атомной отрасли, получивших шифр МТИ-350, и эта работа коллективом из 5 предприятий была в короткие сроки выполнена на высоком

научном и техническом уровне. Были разработаны и далее серийно производились масс-спектрометры трех типов: для контроля сублиматного производства гексафторида урана – масс-спектрометр газовый МТИ-350ГС, для контроля процесса разделения изотопов в разделительном производстве – масс-спектрометр газовый МТИ-350Г и для контроля твердой фазы мокс-топлива и его переработки – масс-спектрометр твердофазный МТИ-350Т (рис. 1).



Рисунок 1 – Масс-спектрометр МТИ-350Т.

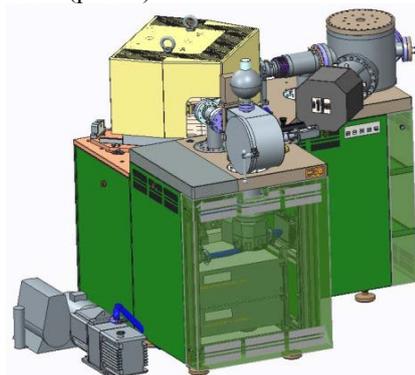


Рисунок 2 – Масс-спектрометр МТИ 350 ТМ.

Однако на этапе подготовки прибора к выводу на рынок, экономическая и политическая ситуация в отрасли не позволила перейти к его серийному производству. В настоящее время рост западных санкций уже коснулся приобретения расходных материалов этих приборов и вновь стал вопрос о возобновлении замещающего производства МТИ-350Т. Однако со времени его разработки прошло уже более 15 лет, и, безусловно, ясно, что для полного замещения рынка твердофазных масс-спектрометров должна быть проведена существенная модернизация, основанная на новых знаниях и новых технологических возможностях его производства, что и привело к созданию глубоко модернизированного масс-спектрометра МТИ-350ТМ (рис. 2).

Масс-спектрометр с поверхностной термоионизацией МТИ-350Т является самым сложным прибором всей серии МТИ-350. Модельный ряд масс-спектрометров МТИ-350 построен по блочно-модульному принципу и основан на единой базовой части, что обеспечивает высокую внутреннюю унификацию его узлов и блоков. В то же время у каждой модификации есть своя специфика, обусловленная решаемыми задачами. Специализация прибора с поверхностной термоионизацией - это работа с пробой вещества в твердой фазе. Основными узлами, обеспечивающим все аналитические параметры масс-спектрометра МТИ-350ТМ, служат источник ионов с поверхностной ионизацией и многоколлекторный приемник ионов. При этом источник ионов обеспечивает и чувствительность анализа (задача узла ионизации), и формирование этих ионов в пучок, согласованный со свойствами выбранного масс-анализатора. Эти задачи в конструкции масс-спектрометра плотно переплетены между собой, поскольку окончательная точность анализа напрямую увязана с точностью связи блока ионизации и ионной оптики источника ионов.

Для осуществления высокоточного анализа содержания изотопов одного элемента в твердой фазе используется не имеющий конкурентов по точности метод поверхностной термоионизации – получение ионов на нагретой поверхности тугоплавкого металла с большой работой выхода, поскольку коэффициент ионизации зависит от температуры и от соотношения работы выхода поверхности и потенциала ионизации элемента. Поскольку все физические характеристики у изотопов одного элемента, кроме массы, практически одинаковы, а идентичность потенциалов ионизации изотопов возрастает с увеличением номера элемента, для урана (и трансуранов) реализуется почти равная вероятность ионизации изотопов одного вещества на поверхности сильно нагретого ионизатора. Для случая, когда температура начала интенсивного испарения вещества пробы существенно ниже температуры, при которой имеет место высокая эффективность ионизации, в узле ионизации источника ионов с поверхностной ионизацией используются испаритель и ионизатор, нагреваемые до разных температур и располагаемые параллельно друг другу. Блок ионизации технически – крайне сложный узел. В качестве испарителей и ионизаторов в нем используются узкие ленты из фольги рения, вольфрама или тантала шириной не более 0,8 мм, причем расстояния между ними также составляют десятые доли мм и они не должны изменяться в процессе нагрева ионизатора и испарителя.

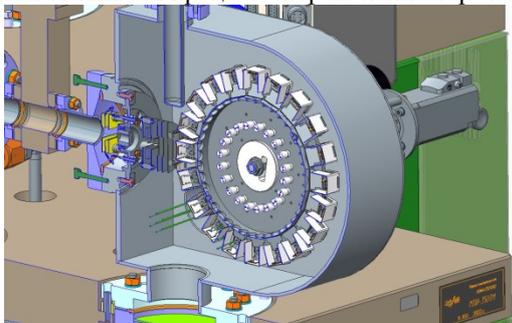


Рисунок 3 – Магазин проб масс-спектрометра МТИ 350 ТМ

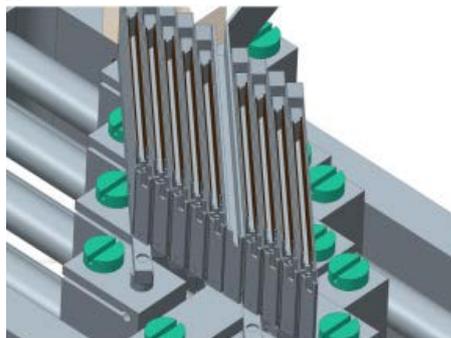


Рисунок 4 – Детектор ионов МТИ 350 ТМ

Для увеличения точности определения содержания изотопов в пробе практикуется последовательное измерение N идентичных проб, размещенных в «магазине проб» (рис.3). Магазин проб – это держатель-барабан с установленными на нем блоками ионизации (до 20 и более), закрепленный на поворотном устройстве и размещаемый в вакуумной камере источника ионов. Поворотом барабана блоки ионизации последовательно выводятся на ось ионно-оптической системы источника ионов и подсоединяются к электрическим контактам для нагрева лент, после чего для блока реализуется последовательность процессов испарения и термоионизации пробы.

Различные формы и конструкции блоков ионизации – задача, решаемая в твердофазной масс-спектропии уже много десятилетий, существенно усложняется обязательным участием оператора для нанесения анализируемых веществ на испаритель в том случае, если объект анализа – изотопы радиоактивных элементов. Пока что ни одной из фирм не удалось обойти процесс участия человека в этой операции, поскольку точность нанесения раствора анализируемого вещества на испаритель, закрепление вещества при высушивании пробы, размещение N блоков в барабане и установка барабана в источник ионов, определяющие реальную точность измерения, требуют достаточно большого времени контакта оператора с анализируемыми пробами. В связи с этим при разработке конструкции специализированного барабана и алгоритма загрузки в него проб необходимо учитывать время контакта с целью минимизировать суммарное облучение оператора загружаемой пробой.

Еще одной ключевой задачей является учет разделенных ионов. Для проведения изотопного анализа состава критически важно обеспечить одновременную регистрацию изотопов в одном анализе, то есть, по сути, обеспечить спектрографический режим работы. Такая задача неминуемо требует отдельного улавливания ионов на индивидуальные детекторы (10 отдельных каналов), реализация решения такой задачи напрямую определится величиной дисперсии пучка в зоне фокусировки. В случае приемника ионов МТИ-350 ТМ (рис. 4) конструкция отдельного детектора (коллектора Фарадея) должна иметь толщину всего 2.1 мм и представляет собой металлический коробок с графитовым дном, вложенный в наружный, защитный, электрически изолированный от внутреннего, металлический короб и имеющий на входе коллимирующие диафрагмы и антидинаatronный электрод. Такая инновационная конструкция цилиндра Фарадея, обеспечивает высокий уровень подавления наводок от переотраженных ионов и паразитных токов. В конечном счете, приемник ионов превращается в сложный узел, имеющий в своем составе восемь коллекторов с индивидуальными приводами, обеспечивающими точность позиционирования детекторов до $\pm 0,05$ мм, и входными высокочувствительными усилителями ионного тока в специальной вакуумной камере с подавленным микрофонным эффектом.

Именно эти критерии легли в основу модернизации масс-спектрометра МТИ-350Т с целью превращения его в основной технологический и сертифицированный прибор ядерно-топливного цикла в России. Для решения этой задачи в ходе работы над конструкцией масс-спектрометра МТИ-350ТМ были разработаны следующие принципиально новые элементы: новый патентопригодный магазин проб с инновационной системой подачи питания на ленты; внедрены новая форма катода и защита барабана и внутренних узлов прибора от запыления радиоактивными пробами; инновационная конструкция цилиндра Фарадея, обеспечивающая высокий уровень подавления наводок; высокочувствительный входной усилитель в специальной вакуумной камере с подавленным микрофонным эффектом, обеспечивающий гарантию точности измерений; применен пирометрический контроль за работой ленты-ионизатора по плоскости катода, обеспечивающий возможность достоверной отбраковки «неудачных» измерений.

Выпуск нового отечественного масс-спектрометра МТИ-350ТМ и его ввод в действие на предприятиях Росатома полностью освободит отечественную атомную отрасль от необходимости закупок импортного оборудования и зависимости от угрозы санкций в этой области.

Список литературы

1. С. Виллани «Обогащение урана». Перевод с английского, под общей редакцией академика И.К. Кикоина Энергоатомиздат. 1983 г.
2. Л.Н.Галль, Р.Н.Галль, Ю.С.Рутгайзер, А.М.Шерешевский. Трехленточный источник ионов. ЖТФ, 1962, т.32, №2, с. 202-207.
3. Л.Н.Галль, Ю.К.Голиков. К теории термического ионизатора. Сб. «Физическая электроника», Изд. ЛГУ, Труды ЛПИ, №328, 1973, с.102-106.
4. Л.Н.Галль, Б.Н.Соколов. Источник ионов с поверхностной ионизацией. Научные приборы, 1978, №16, с.17.
5. А.С.Бердников, Л.Н.Галль, Ю.И.Хасин. Методика согласования источника ионов статического масс-спектрометра с масс-анализатором. Научное приборостроение, 2001, т.11, №4, с.28-34.
6. Бердников А.С., Галль Л.Н., Галль Н.Р., Леднев В.А., Хасин Ю.И. Современные подходы к изотопному анализу урана и трансураниевых элементов в твердой фазе методом поверхностной ионизации. Атомная энергия, 2006, т.66, №6, с.118-127.
7. Штань А.С., Кирьянов Г.И., Сапрыгин А.В., Калашников В.А., Залесов Ю.Н., Малеев А.Б., Новиков Д.В, Галль Л.Н., Бердников А.С., Манойлов В.В. Заруцкий И.В., Галль Н.Р., Иванов А.П., Леднев В.А., Бородин В.А., Горбунов В.Г., Ж.А.Савина, Кудрявцев В.Н. Масс-спектрометр для прецизионного определения изотопного состава урана, плутония и смешанного топлива в твердой фазе (МТИ-350Т). // Вопросы атомной науки и техники. Серия физика и автоматизация. 2008, Т.63, с.1-38.

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ «ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, СТРОЕНИЕ, СТРУКТУРА – ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ»

*Ломовской В.А. д. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией, ИФХЭ РАН, <http://www.phyche.ac.ru>
119071, Москва, Ленинский пр-т, д.31, корп.4, тел.8-916-936-28-86, E-mail: lomovskoy@phyche.ac.ru*

A DEVICE FOR INVESTIGATION OF CORRELATION “CHEMICAL NATURE, COMPOSITION, STRUCTURE – PHYSICO-MECHANICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES – SYNTHESIS OF MATERIALS WITH TARGETED PROPERTIES”

Lomovskoy V.A.

Annotation

The device for solving one of the main problems of physical and chemical mechanics is presented. The research method is dynamic in the regime of free damped oscillations in the frequency range from 0.1 to 10 Hz and in a wide range of -150°C - 700°C . The experimental results are the spectrum of internal friction and the dependence of the frequency of the oscillatory process on temperature. The method allows to reveal a number of local dissipative processes on the spectrum.

Keyword

Internal friction, local dissipative processes, spectrum of relaxation.

Аннотация

Представлен прибор для решения одного из основных вопросов физико-химической механики. Метод исследования – динамический в режиме свободных затухающих колебаний в диапазоне частот от 0,1 до 10 Гц и в широком температурном интервале -150°C ÷ 700°C . Экспериментальные результаты – спектр внутреннего трения и зависимость частоты колебательного процесса от температуры. Метод позволяет выявить на спектре ряд локальных диссипативных процессов.

Ключевые слова

Внутреннее трение, локальные диссипативные процессы, спектры релаксации.

Прибор содержит колебательную систему, установленную на игольчатой опоре, систему для закрепления и возбуждения крутильных колебаний исследуемого образца, термокриокамеру, а также систему съёма и компьютерной обработки информации.



Рисунок 1 – Общий вид установки.

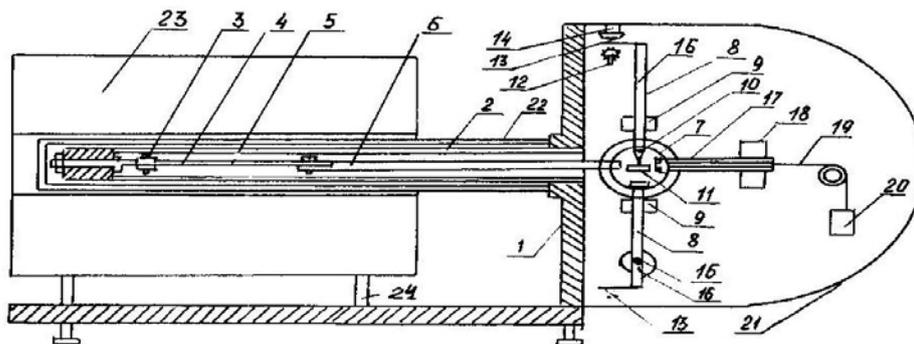


Рисунок 2 – Упрощенная конструкция измерительного преобразователя.

- 1- основание;
- 2- стойка неподвижного зажима 3, исследуемого образца 4;
- 5 – термопары;
- 6 – подвижный зажим жестко фиксируемый в центрирующем кольце 7;

- 8– стойки центрирования колебательной системы в вертикальной плоскости, жестко фиксируемые в центрирующем кольце 7;
- 9 - инерционные массы;
- 10 - центрирующая игла, расположенная в точке пересечения продольной линии исследуемого образца 4 и диаметра центрирующего кольца 7;
- 11 – подложка агатовая для опоры колебательной системы в центре в центре пересечения продольной оси образца и диаметра центрирующего кольца;
- 12 – источник монохроматического излучения;
- 13 – оптическая шторка;
- 14 – фотопреобразователь;
- 15 – электромагнит системы возбуждения колебательного процесса;
- 16 – сердечник электромагнита. Жестко зафиксированный на стойке 8;
- 17 -20 - система термокомпенсации термического расширения образца;
- 21 – вакуумный колпак;
- 22 – термостабилизатор;
- 23 – термокриокамера;
- 24 – направляющие перемещения термокамеры;

Возбуждение колебательного процесса осуществляется импульсом напряжения, поступающим на электромагнит 15 системы возбуждения. Что вызывает появление внешнего крутильного момента $M_{\text{внеш}}$ (рис.3, эпюра б) выводящего все структурные элементы исследуемого образца 4 из состояния механического и термического равновесия образца на начальный угол φ_0). После чего система совершает затухающий колебательный процесс относительно продольной оси образца 9 (рис.3, эпюры).

Теоретический анализ полученных экспериментальных результатов позволяет выявить на спектре ряд локальных диссипативных процессов, связанных с подвижностью кинетических элементов различных структурных подсистем, образующих в совокупности исследуемую систему. Температурно-частотная зависимость выявленных на спектрах локальных диссипативных процессов и их интенсивность, а также температурная зависимость модуля сдвига (частоты колебательного процесса) позволяет определить механизм диссипативных потерь (гистерезисный, релаксационный, фазовый) и рассчитать физикохимические характеристики для каждого из обнаруженных процессов (энергии активации, дискретное время релаксации, спектры времён релаксации, дефект модуля и т.п.).

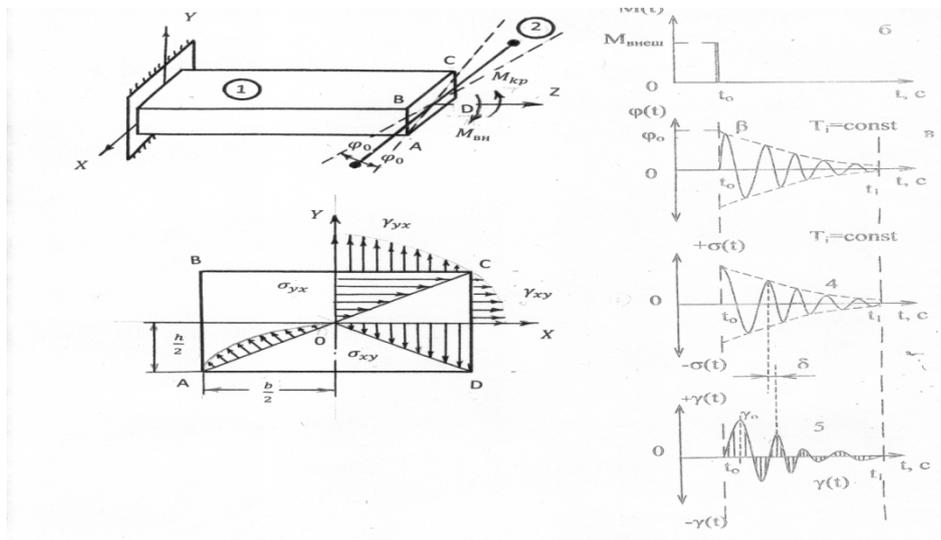


Рисунок 3 – Возбуждение в образце прямоугольного поперечного сечения свободных затухающих крутильных колебаний и эпюры распределения напряжений и деформаций по сечению.

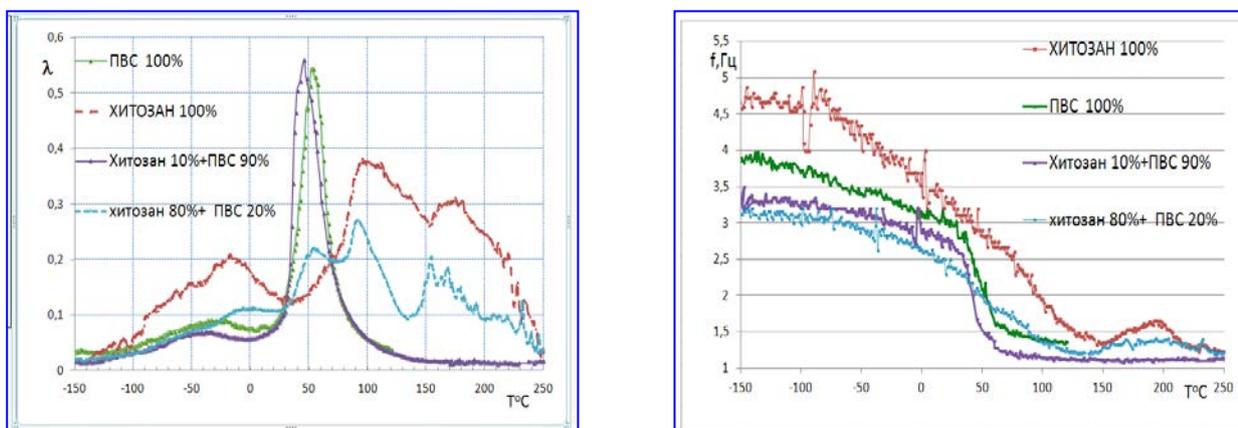


Рисунок 4 – Спектры внутреннего трения λ и частоты f свободно затухающих колебаний композитных пленок ПВС – Хитозан

Для определения энергии активации процессов релаксации, которые вызывают появление пиков потерь на спектре внутреннего трения, применяется модель стандартного линейного тела. Выражение для расчета энергии

активации:
$$U_i = RT_i \ln \frac{kT_i}{h\omega}$$
, где индекс i относится к конкретно выбранному пику на спектре внутреннего трения.

Литература

1. Ломовской В.А. Измерительный преобразователь. Патент № 2568963 РФ 2015. Бюл. №3.
2. Ломовской В.А., Абатурова Н.А., Ломовская Н.Ю., Галушко Т.Б., Хлебникова О.А., Киселев М.Р. // Материаловедение. 2010. №1. С.29
3. М.М. Бондарев, С.Б.Буйвис, В.А.Ломовской, В.Г.Шаталов. Горизонтальный крутильный маятник. А.с. 1387634. 1987 г.

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «АТМОСФЕРА»

Белан Б.Д.¹, д.ф.-м.н., директор ЦКП «Атмосфера», bbd@iao.ru
Пташник И. В.², д.ф.-м.н., директор ИОА СО РАН, contact@iao.ru
Панченко М. В.², д.ф.-м.н., гнс ИОА СО РАН, pmv@iao.ru
Землянов А. А.², д.ф.-м.н., гнс ИОА СО РАН, contact@iao.ru
Бобровников С. М.², д.ф.-м.н., гнс ИОА СО РАН, bsm@iao.ru
Пономарев Ю. Н.², д.ф.-м.н., гнс ИОА СО РАН, yuron@iao.ru
Луговской А.А.², к.ф.-м.н., гнс ИОА СО РАН, laa@iao.ru

1 – ЦКП «Атмосфера», www.iao.ru, 634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1, (3822)492738

2 – ИОА СО РАН, www.iao.ru, 634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1, (3822)492738

THE CENTER FOR COLLECTIVE USE "ATMOSPHERE"

*Belan B.D.¹, Ptashnik I.V.², Panchenko M.V.², Zemlyanov A.A.², Bobrovnikov S.M.²,
 Ponomarev Yu.N.², Lugovskoi A.A.²*

Annotation

The Center for Collective Use "Atmosphere" was established in the IAO of the SB RAS in October 1997. In addition to expensive equipment designed for atmospheric sounding, it includes two unique scientific installations. The report is aimed at highlighting the activities of the Center and attracting attention from outside users.

Key words

Airplane-laboratory, high-altitude sounding station, atmosphere, polygon "Background".

Аннотация

Центр коллективного пользования «Атмосфера» был создан в ИОА СО РАН в октябре 1997 года. В его состав помимо дорогостоящего оборудования, предназначенного для зондирования атмосферы, входят две уникальные научные установки. Доклад направлен на освещение деятельности ЦКП и привлечение внимания со стороны сторонних пользователей.

Ключевые слова

Самолет-лаборатория, станция высотного зондирования, атмосфера, полигон «Фоновый».

Целью настоящей работы является освещение структуры и основных направлений деятельности центра коллективного пользования «Атмосфера» (ЦКП). Центр осуществляет фундаментальные и прикладные исследования в области оптики атмосферы с целью изучения всего комплекса проблем взаимодействия оптического излучения со средой, в которой оно распространяется; разрабатывает приборы и методы для оптической диагностики состояния объектов окружающей среды.

В настоящее время Земля оказывается перед несколькими глобальными экологическими проблемами, названными «Большие вызовы». Так рост численности населения на планете требует все больше пресной воды, еды и энергии. Их производство затронет климат и качество воздуха, вызовет подкисление океана, потерю биоразнообразия и нехватку пресной воды и запасов продовольствия. Тем самым «Большие вызовы» являются основными факторами, управляющими человеческим благополучием и безопасностью, а также стабильностью будущих поколений.

Атмосфера является главной частью окружающей среды, к состоянию которой жизнь на Земле сильно отзывчива. Она тесно взаимодействует с биосферой, гидросферой, криосферой и литосферой, а также с городскими территориями на временных масштабах от секунд до тысячелетий. Изменения в одном из этих компонентов прямо или косвенно передаются другим через запутанные сложные процессы и обратные связи. Современные изменения в атмосфере, отражающиеся в потеплении климата, обусловлены в первую очередь ростом концентрации парниковых газов, аэрозолей и сажи. Следовательно, для подготовки ответа на большой вызов в виде глобального потепления климата и, как его следствия, неблагоприятного во многих местах изменения окружающей среды, требуется мониторинг состава атмосферы.

Учитывая важность проблемы мониторинга состава атмосферы, в ЦКП «Атмосфера» создана наблюдательная сеть, включающая наземные посты и станции для измерения в приземном слое воздуха, спектрофотометрические комплексы, позволяющие контролировать интегральное содержание какой-либо компоненты во всем слое атмосферы, например озона, станции радиозондирования для определения вертикального распределения метеорологических величин. Наиболее точные и комплексные данные о пространственно-временном распределении состава воздуха дает самолет-лаборатория, оснащенный прецизионными приборами и системами калибровки. На территории России, за исключением гидрометеорологических станций Росгидромета подобных сетей не создано. Имеются несколько пунктов, в которых состав атмосферы контролируется в

инициативном порядке или в рамках международных проектов. Поэтому работа ЦКП «Атмосфера» в направлении контроля состава атмосферы на территории России с позиции ответа на большие вызовы особенно актуально.

В ЦКП «Атмосфера» собраны или созданы приборы или комплексы, охватывающие все перечисленные методы и работающие в мониторинговом режиме. В этот обширный список входят такие установки, как Самолет-лаборатория, Базовый экспериментальный комплекс, Полигон «Фоновый», Большая аэрозольная камера, Спектрометрический комплекс, Сибирская лидарная станция, Комплекс акустических измерений, Станция приема космической информации, Радиационная станция, Стенд конвективной турбулентности и другие.

Численность сотрудников ЦКП в 2017 году составила 93 человека, в том числе 79 высококвалифицированных научных работников, из которых 66 имеют степени кандидата или доктора наук. Ежегодно научные результаты, полученные на оборудовании ЦКП освещаются в высокорейтинговых отечественных и зарубежных изданиях. Выполняются работы по заказам ведущих мировых организаций, в том числе зарубежных, по исследованию атмосферы Земли.

Таким образом, целью деятельности ЦКП, в первую очередь, является создание новых и модернизация действующих измерительных комплексов центра, освоение новых методик, выполнение интеркалибровок между дистанционными и контактными средствами для расширения перечня оказываемых услуг, их комплексности, обеспечения доступности и востребованности оборудования ЦКП для проведения научно-исследовательских работ по заявкам третьих лиц.

**РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ В СХЕМЕ ПОЛНОГО ВНЕШНЕГО
ОТРАЖЕНИЯ С ВОЛНОВОДОМ – РЕЗОНАТОРОМ (РФА ПВОВР).
ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Лукьянченко Е.М.¹, гл. специалист; Егоров В.К.², ст. научный сотрудник; Руденко В.Н.¹, директор
Егоров Е.В.², мл. научный сотрудник; Когновицкий С.О.³, зам.директора; Фурсей Г.Н.⁴, проф.*

Самонин В.В.⁵, проф.; Архипов М.В.⁶, проф.

1 – ООО «Полюс», С-Петербург; 2 – ИПТМ РАН, Черноголовка

3 – ФТИ им. А.Ф.Иоффе, С-Петербург; 4 – СПбУТК им. М.А.Бонч – Бруевича, С.-Петербург

5 – СПбГТИ(ТУ), С.-Петербург; 6 – ФГБНУ АФИ, С.-Петербург

Тел. 8 (981) 690-85-88, emluk@mail.ru, 193310, Санкт-Петербург, пр. Солидарности, д. 13, корп. 1

**X-RAY FLUORESCENT ANALYSIS IN CONDITION OF TOTAL EXTERNAL REFLECTION WITH X-RAY
WAVEGUIDE-RESONATOR (TXRFWR). APPLICATIONS AND PERSPECTIVES.**

*Lukianchenko E.M.¹, Egorov V.K.², Rudenko V.N.¹, Egorov E.V.², Kognovitsky S.O.³,
Fursev G.N.⁴, Samonin V.V.⁵, Archipov M.V.⁶*

Annotation

The new method of TXRF with planar X-ray waveguide resonator (TXRFWR) is presented. This method has advantages in comparison with traditionally TXRF because investigation is produced in the field of waveguide- resonator with high density of radiation. The efficiency of TXRFWR is illustrated by experimental results presented.

Keywords

X-ray fluorescence analysis, X-Ray external total reflection (TXRF), Planar X-Ray waveguide- resonator(PXWR), TXRFWR method of X-ray fluorescence analysis.

Аннотация

Рассмотрен новый метод РФА ПВОВР в схеме с волноводом-резонатором. Основным отличием предлагаемого метода анализа является исследование в поле волновода-резонатора, формирующего поток возбуждающего излучения с высокой радиационной плотностью.

Ключевые слова

Рентгенофлуоресцентный анализ, полное внешнее отражение рентгеновского излучения, волновод-резонатор рентгеновского излучения, метод полного внешнего отражения в схеме с волноводом-резонатором, рентгеновский спектрометр, рентгеновские спектры жидких, твердых и порошкообразных веществ.

Рентгенофлуоресцентный анализ в схеме полного внешнего отражения с волноводом – резонатором (РФА ПВОВР) является новейшим методом рентгеноспектрального анализа[1]. Приоритет разработки этого метода принадлежит России и основывается на использовании изобретения отечественного ученого В.К.Егорова плоского рентгеновского волновода- резонатора [2]. Исследования показали, что наиболее рациональным устройством для формирования рентгеновских потоков повышенной радиационной плотности, приемлемых для РФА ПВО спектрометрии, является плоский рентгеновский волновод-резонатор (ПРВР) [2,3]. Для щелевых зазоров шириной больше половины длины когерентности квазимонохроматического рентгеновского потока поток распространяется в соответствии с механизмом многократного полного внешнего отражения с образованием множества локальных областей интерференционного поля стоячей рентгеновской волны (рис.1а). При ширине зазора меньше этого параметра локальные области сливаются и образуется однородное интерференционное поле. В этом случае излучение начинает распространяться через щелевой зазор без ослабления (рис.1б).

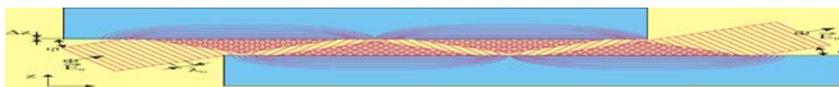


Рисунок 1а – Схема образования интерференционного поля стоячей волны при многократном последовательном ПВО потока РИ в щели плоской волноводной структуры.



Рисунок 1б – Принципиальная схема образования однородного интерференционного поля стоячей волны в плоском рентгеновском волноводе-резонаторе.

Волновод – резонатор (ПРВР) обеспечивает малорасходящийся поток рентгеновского излучения высокой радиационной плотности, в 10^3 раз превышающий плотность рентгеновского потока, формируемого на выходе обычных формирователей рентгеновского излучения. Факт повышения плотности потока рентгеновского излучения на выходе волновода-резонатора в 10^3 раз доказан экспериментально путем измерения потока рентгеновского излучения на выходе из щелевого зазора шириной 100 мкм и волновода шириной 100 нм. Измеренные поток излучения практически были равны, что означает, что плотность потока во втором случае в 10^3 раз выше. Сравнение рентгенооптической схемы традиционного спектрометра полного внешнего отражения и рентгенооптической схемы спектрометра полного внешнего отражения с волноводом-резонатором (РФА ПВОВР) представлено на рис.2.

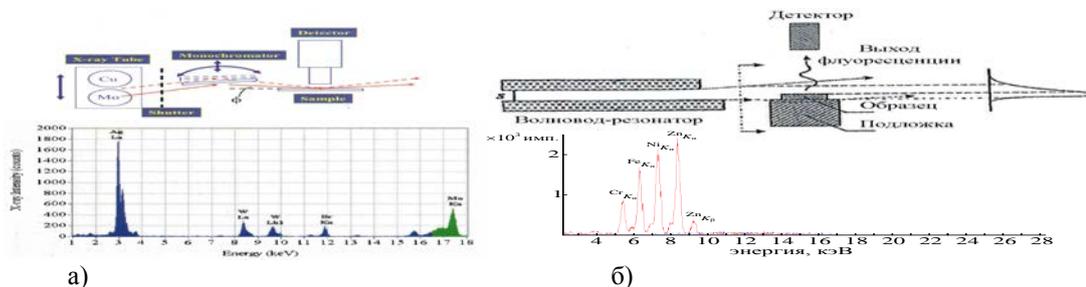


Рисунок 2 – Сравнение рентгенооптических схем традиционного РФА ПВО (а) и РФА ПВОВР (б)

Уже такое очевидное использование волновода-резонатора в схеме полного внешнего отражения как внешнего источника возбуждения дает преимущества перед традиционной схемой ПВО, - повышение интенсивности аналитического сигнала и возможность манипулирования образцом в потоке возбуждающего излучения[4].

Для достижения максимальной эффективности возбуждения рентгенофлуоресценции нами разработана рентгенооптическая схема с расположением образца прямо в потоке излучения распространяющегося в щели волновода-резонатора[5]. В этом случае образец замыкает плоскость одного из рефлекторов и эффективность возбуждения флуоресценции в поверхностном слое анализируемого образца достигает максимума.

На рис.3 представлены рентгенооптическая схема прибора, реализованная в традиционных приборах (рис.3а) и схема спектрометра полного внешнего отражения в схеме с волноводом-резонатором (РФА ПВОВР) с расположением образца в канале волновода-резонатора (рис.3б). В таком виде новый метод РФА ПВО с волноводом-резонатором (РФА ПВОВР) имеет существенные преимущества в сравнении с традиционной РФА ПВО спектрометрией [6]:

1) возбуждение флуоресценции происходит в поле волновода-резонатора с высокой радиационной плотностью возбуждающего потока, что обеспечивает высокую интенсивность рентгеновской флуоресценции от анализируемого образца; 2) имеется возможность перемещения анализируемого образца в плоскости сечения возбуждающего потока; 3) отсутствует зависимость от агрегатного состояния анализируемого объекта (твердого, порошкообразного, жидкого); 4) имеется возможность изменения условий исследования в процессе измерений.



Рисунок 3 – Сравнение традиционной рентгенооптической схемы построения РФА ПВО спектрометра (а) и схемы РФА ПВОВР с расположением образца в волноводно-резонансном канале ПРВР (б).

Наличие этих факторов показало повышенную эффективность исследований различных объектов: осадков растворов, тонких пленок, фильтров, твердых монокристаллических образцов, порошков, биологических тканей, крови, продуктов питания, шлифов и аншлифов минералогических образцов.

Пределы обнаружения, рассчитанные из результатов этих измерений, соответствуют аналитическому интервалу $(1-5) \cdot 10^{-13}$ г, что существенно ниже уровня этого параметра, декларируемого для традиционных спектрометров РФА ПВО, где пределы обнаружения составляют величину $(1 \pm 3) \cdot 10^{-12}$ г. В практическом использовании целесообразно применение и той и другой схемы РФА ПВОВР. Замечательным свойством обеих этих схем является то обстоятельство, что в них возможно проведение анализа как в геометрии полного внешнего отражения, так и в геометрии обычного РФА.

Применение метода для исследования реальных образцов в различных областях показывает перспективность метода и уже в ходе этих исследований были получены результаты, представляющие интерес для специалистов. При анализе объектов микроэлектроники за одно исследование удастся зарегистрировать состав

нанометрового покрытия и состав переходного слоя между покрытием и подложкой [6]. При анализе экологических образцов была показана экспрессность и простота пробоподготовки объектов исследования, не требующая растворения образца [7]. При анализе крови удалось увидеть различие в составе крови нормального человека и человека, страдающего анемией [8]. В химии были получены результаты, соответствующие предельным аналитическим возможностям метода РФА ПВОВР. Сформированные штабики угольных фильтров для адсорбции примесей из растворов помещались в раствор воды с предельно низкими содержаниями примеси, а затем методом РФА ПВОВР исследовался состав поверхности угольного фильтра. После нескольких часов пребывания в воде с концентрацией никеля 0,02 мг/л представлен на рис.4а с наложенным на него спектром исходного фильтра с нулевым содержанием никеля. Предел обнаружения в этом случае составляет 10^{-1} ppb, предел обнаружения по массовой доле составляет 10^{-14} г[7]. Спектры угольного фильтра и капли крови представлены на рис.4

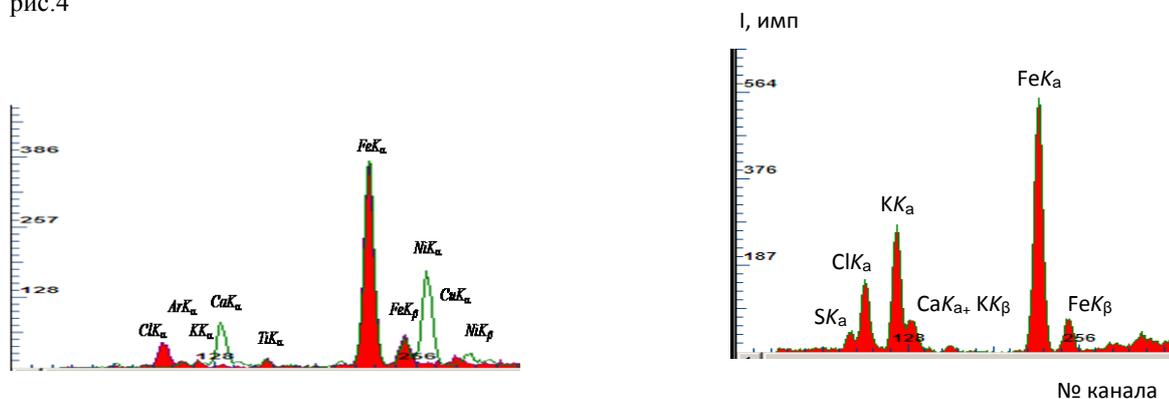


Рисунок 4 – а) Спектр угольного фильтра с концентрированием никеля из раствора воды с концентрацией никеля 0,02 мг/л с наложенным спектром фонового образца угольного фильтра ($C_{пр.Ni} = 2 \cdot 10^{-1}$ ppb) [7]; б) спектр капли крови $t=100с$, [8].

Исследовалась также возможность применения метода РФА ПВОВР для прецизионного воздействия на семена сельскохозяйственных культур. Проведенный анализ всхожести и ростовых показателей после обработок индивидуальных семян пшеницы показал, что аппаратная реализация метода за счет его высокой линейной локальности обеспечивает адресное воздействие на точку роста растительного организма. Проведение таких исследований в этой области представляет значительный интерес при использовании метода как в сельском хозяйстве вообще, так и в прецизионном семеноводстве в частности.

Перспективы развития метода связаны с разработкой новых схем рентгеновского волновода-резонатора и разработкой ярких источников первичного рентгеновского излучения. Самым перспективным направлением по яркостным источникам для РФА ПВОВР, в котором ведутся работы, - это создание источников на основе автоэлектронной эмиссии [9].

Литература

1. Лукьянченко Е.М. «Тенденции развития рентгеноспектрального приборостроения», Научное приборостроение- современное состояние и перспективы развития, М.2016, Сборник материалов, с.63-66.
2. Egorov V.K., Egorov E.V./ Spectrochim. Acta B. 2004.V.59. p.1049-1069.
3. Egorov V.K., Egorov E.V./ Advances of X-ray Chem. Anal. Japan, V.44, 2013, p.p.21-40.
4. Лукьянченко Е.М., Егоров В.К., Руденко В.Н., Егоров Е.В «Особенности РФА с полным внешним отражением в схеме с волноводом резонатором» II Съезд аналитиков России, Москва. 23-27 сентября 2013г. с.98.
5. Патент на изобретение RU №255191 С1, МПК G01N 23/223 (2006/01). Устройство для рентгенофлуоресцентного анализа материалов с формированием потока возбуждения плоским волноводом-резонатором. /Егоров.В.К.(RU), Лукьянченко Е.М.(RU), Руденко В.Н.(RU), Егоров.Е.В.(RU),/ 2014116528/28, заявл. 24.04.2014, опубликовано 10.07.2015 Бюл.№19, 13с.
6. Е.М. Лукьянченко, В.К.Егоров, В.Н.Руденко, Е.В.Егоров, « Развитие схемы РФА ПВОВР от схемы внешнего источника к схеме с расположением образца в поле волновода-резонатора», 2-я Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Вакуумная техника и технологии – 2017», С-Петербург, 7-9 июня 2017, с.298-302.
7. Лукьянченко Е.М., Егоров В.К., Самонин В.В, Руденко В.Н., Егоров Е.К « О возможностях анализа экологических объектов методом рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением с использованием волновода-резонатора», IX Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды Экоаналитика -2014», 22-28 июня 2014, г.Светлогорск, тезисы докладов, с.130.
8. Лукьянченко Е.М., Егоров В.К., Руденко В.Н., Егоров Е.В. «Спектрометр полного внешнего отражения излучения с рентгеновским волноводом-резонатором (РФА ПВОВР) – перспективный прибор для медицинских исследований», I Всероссийская конференция с международным участием «Химический анализ и медицина», Москва, 9 – 12 ноября 2015г., Сборник тезисов, с.88.
9. Фурсей Г.Н.«Автоэлектронная эмиссия», С.Петербург, 2012,320с.

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ АТОМНО-ЗОНДОВОЙ ТОМОГРАФИИ В ИТЭФ

Лукьянчук А. А., науч. сотр., Разницын О. А., науч. сотр., Шутов А. С., инженер, Алев А. А., науч. сотр. Никитин А. А., ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук, Рогожкин С. В., нач. отдела, д-р физ.-мат. наук Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 117218 Россия, Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25, 8 (499) 789-66-00, <http://www.itep.ru/> Адрес эл. почты: Anton.Lukyanchuk@itep.ru

ATOM PROBE TOMOGRAPHY DEVELOPMENT AT ITEP

Lukyanchuk A. A., Raznitsyn O. A., Shutov A. S., Aleev A.A., Rogozhkin S. V.

Annotation

In this work stages of development of an atom probe tomograph with laser evaporation and position-sensitive detector based on delay lines are presented. This technique is used for 3D chemical composition analysis of material. The capabilities of instrument for high-temperature nickel based alloys, high entropy alloys and titanium alloys studies are demonstrated.

Keywords

Atom probe tomography, instrumental design, nanoscale material characterization.

Аннотация

В настоящей работе представлены этапы создания установки атомно-зондовой томографии с фемтосекундным лазерным испарением и позиционно-чувствительным детектором на линиях задержки для томографического (3D) анализа химического состава материалов. Продемонстрированы возможности установки по исследованию материалов с нано и микро особенностями на примере конструкционных сталей, жаропрочного никелевого сплава, высокоэнтропийного сплава и титанового сплава.

Ключевые слова

Атомно-зондовая томография, приборостроение, нано-масштабная характеристика материала.

Исследование структуры материалов и распределения химических элементов в них востребовано во многих направлениях науки и техники, таких как материаловедение, машиностроение, наноэлектроника, атомная энергетика и др. В настоящее время имеется существенная потребность в применении методов ультрамикроскопии, поскольку функциональные и механические свойства материалов зависят не только от микромасштабных особенностей, но и от особенностей на масштабе от нескольких ангстрем до десятков нанометров. Также характеристика материалов по микроструктуре и химическому составу имеет большое значение для фундаментальных исследований, касающихся фазовых превращений, формирования кластеров и дефектов решетки. Традиционно, для исследований новых материалов используются такие методики как просвечивающая электронная микроскопия, сканирующая электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, масс-спектрометрия вторичных ионов и т. д. Каждая из них позволяет получить довольно подробную информацию либо о структуре, либо о химическом составе. Некоторые из них позволяют исследовать и структуру и химический состав, но по одному из этих параметров всегда получается недостаточная точность, либо анализируется только поверхность образца. В последнее десятилетие интенсивно развивается уникальная методика исследования нано-структуры материала - Атомно-Зондовая Томография (АЗТ). АЗТ позволяет получать информацию о трехмерном распределении атомов в образце одновременно с определением химической природы каждого атома.

В основе методика АЗТ лежит принцип по-атомной разборки материалов и проекционного увеличения, использовавшегося ранее в полевой автоионной микроскопии, а также времяпролетная масс-спектрометрия, примененная к каждому испаренному иону. Благодаря проекционной геометрии испарения атомов материала методика позволяет получать разрешение в глубину образца 1-2 Å, а латеральное разрешение порядка 2-4 Å. При этом обеспечивается достаточно хорошее разрешение по массе от 500 до 1500 единиц на полувысоте. Естественно, методика АЗТ накладывает довольно жесткие ограничения на условия испарения и детектирования атомов материала. Образец должен находиться в сверх высоком вакууме не хуже 10⁻¹⁰ Торр, под постоянным напряжением от 1 до 20 кВ, температура образца должна лежать в диапазоне от 15 до 75 К. Таким образом разработка атомно-зондовых томографов является достаточно сложной задачей, требующей применения современных методов проектирования и специфических узлов установки.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ ведутся исследования наноструктуры реакторных конструкционных материалов (см., например [1,2]). Для контроля размеров и химического состава включений в материалах используется методика АЗТ. С 2002 года для исследований использовалась установка производства

ЕСОТАР САМЕСА. Характерными её особенностями можно назвать оптическая система детектирования и импульсное полевое испарение. Эти особенности установки ограничивали спектр исследуемых материалов. В 2014 году было принято решение о разработке собственной установки АЗТ с применением современных детектирующей системой и фемтосекундной лазерной системой испарения – Прототипа Атомного Зонда с Лазерным испарением (ПАЗЛ-3D) [3]. Проектирование вакуумных объемов и часть крио-системы с системой подачи напряжения проектировалась в системе автоматизированного проектирования САТІА. В качестве детектирующей системы была выбран позиционно-чувствительный детектор фирмы RoentDek Handels GmbH на основе линий задержки и сборки микроканальных пластин. Для инициации испарения использована фемтосекундная лазерная система производства ООО «Авеста-проект» (Троицк). Была выбрана прямопролетная схема испарения ионов, что обеспечивает относительную легкость восстановления АЗТ данных. На рис. 1 представлена схема расположения образца и детектирующей системы в вакуумном объеме.

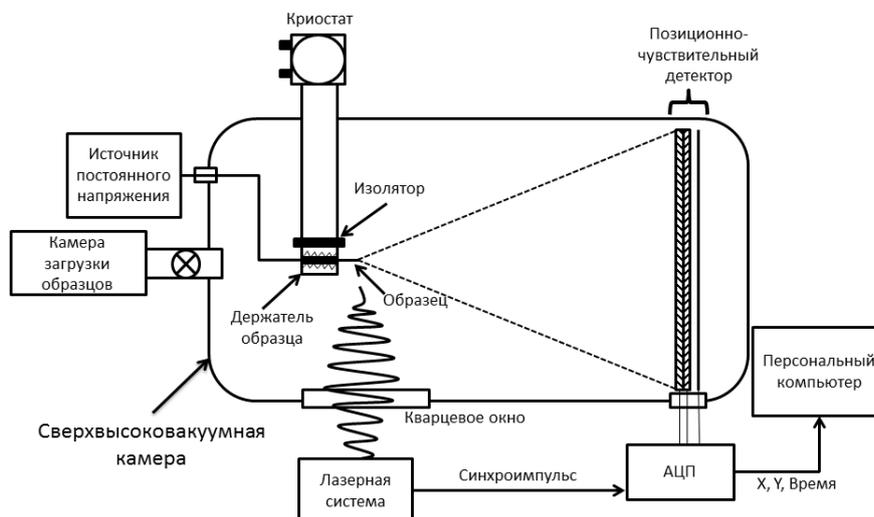


Рисунок 1 – Схема расположения образца и детектирующей системы в ПАЗЛ-3D [3].

Для контроля и управления установкой было разработано и написано собственное программное обеспечение. Также реализован полный пакет программных инструментов восстановления и обработки АЗТ данных КВАНТМ-3D. Были отработанными методики исследования широкого спектра материалов: ферритно-мартенситные стали, сплавы: никелевые, титановые, алюминиевые, циркониевые, ванадиевые, высокоэнтропийные, модельные системы Fe-Cr, неодим-железные, чистые металлы: вольфрам, алюминий и молибден. Также показана возможность исследования материалов на основе кремния.

На рис. 2 представлены распределения в объеме образца атомов по кислороду, титану, азоту и углероду в сплаве V-4Ti-4Cr. Показан вид сбоку на трехмерный объем образца, где каждой точке соответствует задетектированный атом. В объеме образца показаны кластеры размерами от 3 до 15 нм, также показана часть двумерного дефекта, декорированного кислородом и титаном.

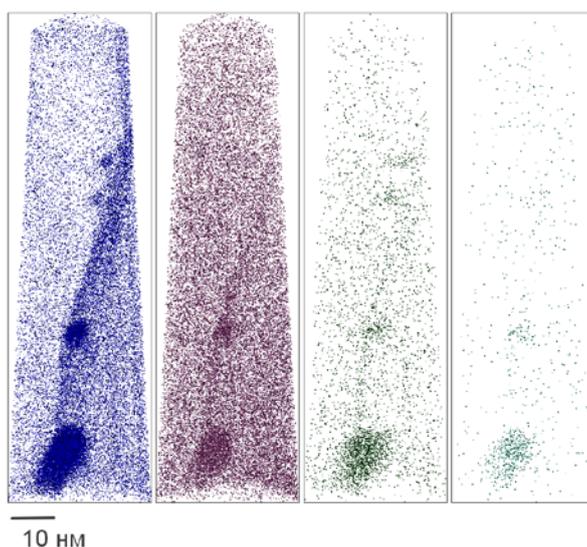


Рисунок 2 – Распределения в объеме образца атомов в сплаве V-4Ti-4Cr (слева направо: кислород, титан, азот и углерод).

Таким образом, в настоящее время в ИТЭФ разработана и собрана уникальная научная установка ПАЗЛ-3D по исследованию nano-структуры и распределения химических элементов на масштабах от 1 до 100 нанометров. Разработаны и апробированы методики проведения исследования различных материалов. Продемонстрированы возможности установки по исследованию перспективных разрабатываемых материалов для различных областей применения.

Данная работа в части исследования сплавов на основе Fe-Cr была выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-38-00859.

Список литературы

1. Рогожкин С.В., Искандаров Н.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Никитин А.А., Залужный А.Г., Кулевой Т.В., Куйбида Р.П., Андрианов С.Л., Леонтьева-Смирнова М.В., Можанов Е.М., Никитина А.А. Исследование наноструктуры ферритно-мартенситной стали ЧС-139 в исходном состоянии и после облучения ионами Fe, Перспективные материалы, 2017. № 11. С. 5-17
2. Rogozhkin S.V., Nikitin A.A., Orlov N.N., Kulevoy T.V., Fedin P.A., Korchuganova O.A., Kozodaev M.A., Vasiliev A.L., Orekhov A.S., Kolobylna N.N., Leonov V.P., Schastlivaya I.A. Microstructure of Ti-5Al-4V-2Zr alloy in the initial condition and after irradiation with titanium ions Inorganic Materials: Applied Research. (2017) V. 8. No. 2. P. 279-285
3. Рогожкин С.В., Алеев А.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Кириллов С.Е., Прототип атомного зонда с лазерным испарением, Приборы и техника эксперимента, 2017, № 3, С. 129-134.

**МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ УЧРЕЖДЕНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ:
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ СЕКТОРА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Лущекина Е.В., старший научный сотрудник

Институт проблем развития науки российской академии наук www.issras.ru

Адрес: 117218, Москва, Нахимовский пр-т, 32

Телефон: +7(495) 249 02 74, Тел/Факс +7(495) 648 91 62

E-mail: E.Lutshekina@issras.ru

**MATERIAL CAPACITY OF THE FUNDAMENTAL SCIENCE INSTITUTIONS:
ANALYSIS OF THE RESEARCH INFRASTRUCTURE CONDITION AND PROGRAMS OF THE MATERIAL
AND TECHNICAL RESOURCES SUPPORT OF THE BASIC RESEARCHES SECTOR**

Lutshekina E.V.

Annotation

Definition of the material capacity role of the fundamental science institutions, assessment of his state, support form, development tendency. The changes which have happened in the sphere of fundamental science are reflected. The short analysis of the institutions conducting basic researches is carried out. On the basis of the state statistics data the analysis of the development tendencies of scientific institutions material and technical resources and organizations during 2014-2016 is carried out.

Keywords

Fundamental science, material potential, scientific devices and equipment.

Аннотация

Определение роли материально-технического потенциала учреждений фундаментальной науки, оценка его состояния, формы поддержки, тенденции развития. Отражены изменения, произошедшие в сфере фундаментальной науки. Проведен краткий анализ учреждений, проводящих фундаментальные исследования. На основе данных государственной статистики проведен анализ тенденций развития материально-технической базы научных учреждений и организаций за период 2014-2016 годов.

Ключевые слова

Фундаментальная наука, материально-технический потенциал, научные приборы и оборудование.

Цель работы

Определение роли материально-технического потенциала учреждений фундаментальной науки, оценка его состояния, формы поддержки, тенденции развития. Объектом исследования являются элементы исследовательской инфраструктуры.

Отмечена возросшая роль фундаментальных исследований в настоящий момент. В докладе отражены изменения, произошедшие в сфере фундаментальной науки. Проведен краткий анализ учреждений, проводящих фундаментальные исследования. На основе данных государственной статистики проведен анализ тенденций развития материально-технической базы научных учреждений и организаций за период 2014-2016 годов. Особое внимание уделено развитию наиболее значимой для современных научных исследований составляющих основных фондов – машин и оборудования. Дана сравнительная характеристика основных средств академических институтов, подведомственных ФАНО России, федеральных и национальных исследовательских университетов, национальных исследовательских центров и государственных научных центров Российской Федерации.

В настоящее время актуальными задачами развития стран становятся обеспечение независимости, эффективности национальных стратегий безопасности, повышения конкурентоспособности национальных экономик и качества жизни населения. Ключевыми факторами при решении этих задач являются обеспечение лидирующего положения в исследованиях и разработках, высокий темп освоения новых знаний и создания инновационной продукции.

Особое значение это направление государственной научной политики приобретает при решении задач, определенных Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016г. № 642.

Стратегия ориентирована на так называемые «большие вызовы». В этом случае речь идет о комплексе проблем, угроз, а также возможностях, которые будут определять развитие не только отдельных стран, но и мира в целом в ближайшие десятилетия. Решение вопросов, возникающих в связи с «большими вызовами», не может быть найдено в рамках привычных, стандартных подходов и методов. Требуется принципиально новые, нестандартные подходы, которые могут дать только развитие науки, технологий и инноваций.

В Стратегии подчеркивается, что наука и технологии являются одним из важных инструментов для ответа на большие вызовы, создающие существенные риски для общества, экономики и науки.

Ключевая роль в этом отводится российской фундаментальной науке, обеспечивающей получение новых знаний. Поэтому первоочередной задачей государства становится поддержка фундаментальной науки как системообразующего института долгосрочного развития нации.

Одной из основных задач для достижения этих целей научно-технологического развития Российской Федерации является создание условий для проведения исследований и разработок, соответствующих современным принципам организации научной, научно-технической, инновационной деятельности и лучшим российским и мировым практикам.

Особенностью современной науки является, взаимопроникновение и взаимосвязь двух процессов. Так изучение закономерностей развития мира и накопление новых знаний требуют создания более совершенных, как правило, дорогостоящих исследовательских установок и устройств, систем обработки и хранения данных. Созданные приборы и научные установки в свою очередь дают возможность исследования и изучения природных явлений на современном (передовом) новом уровне и получения новых знаний. На каждом этапе развития науки новые знания и научные прорывы можно получить только используя современное исследовательское оборудование последнего поколения.

Современная экспериментальная база, особенно глобального уровня, является основой научных прорывов, актуализации отдельных направлений исследований и в конечном итоге – появления новых знаний о строении микро- и макромира. Таким образом, состояние материально-технической базы фундаментальной науки определяет не только возможность проведения научных исследований и их результативность, но и перспективы (причем весьма близкие) создания новых технологий и наукоемкой продукции, обеспечивающих стране поступательное инновационное развитие экономики и устойчивое положение на мировых рынках.

Из данных Минфина России (уточненная бюджетная роспись) видно, что ассигнования из средств федерального бюджета на фундаментальную науку в 2014 и 2015 годах составляли 32,3%, в 2016 году упали до 27%, а в 2017 году поднялись до 32,1%. Таким образом, положение с финансированием фундаментальных исследований как бы восстановилось. Однако Федеральным законом от 19.12.2016 г. № 415-ФЗ «О федеральном бюджете на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов» предусматривается сокращение расходов на науку, что конечно скажется и на финансировании фундаментальных исследований.

Ассигнования на фундаментальные исследования в академических организациях, подведомственных ФАНО России, составляли в 2014 году 65,3% ассигнований на фундаментальные исследования, в 2015 году снизились до 59%, в 2016 году возросли до 69% и в 2017 году составили 66%. Несмотря на то, что ассигнования на фундаментальные исследования в академических организациях в 2016 году и в 2017 годах выросли на 1,8 млрд. руб. и на 4,0 млрд. руб. соответственно, уровень 2013 - 2014 годов не был достигнут. В ближайший период 2018 - 2020 годов рассчитывать на изменение положения с финансированием фундаментальных исследований не приходится.

Состав научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, весьма разнообразен. Это не только академические организации, подведомственные ФАНО России, специализирующиеся на проведении фундаментальных исследований, но и организации, ориентированные на разработку и внедрение технологий, а также на интеграцию науки и образования.

Таблица 1. Организации, выполняющие фундаментальные исследования

Организации	2014 г.	2015 г.	2016г.
Организации, выполняющие фундамен-тальные исследования всего, единиц	1668	1771	1697
в том числе:			
организации, подведомственные ФАНО России	833	839	841
сектор высшего образования	520	625	585
в том числе:			
- федеральные университеты*	12	12	12
- национальные исследовательские университеты**	28	28	28
ГНЦ РФ	30	30	25
другие организации	285	277	246

* без филиалов, включая МГУ и СПбГУ

** без Санкт-Петербургского академического университета – НОЦ нанотехнологий РАН

Как видно из таблицы 1 ведущая роль в проведении фундаментальных исследований принадлежит организациям, подведомственным ФАНО России. Также большую часть фундаментальных исследований выполняют ведущие вузы страны, включая федеральные национальные исследовательские университеты. Важную роль в проведении ориентированных исследований играют ГНЦ РФ.

Организации, подведомственные ФАНО, выполняющие фундаментальные исследования, составляли от 47% в 2015 году до 50% в 2016 году. Исследователи организаций, подведомственных ФАНО России, составляли 47% от общего количества исследователей, проводящих фундаментальные исследования.

Научная деятельность федеральных и исследовательских университетов направлена на развитие инновационной деятельности в регионах и федеральных округах, выполнение проектов для промышленности и социальной сферы. Фундаментальные исследования в этих университетах в основном носят прикладной характер и составляют малую часть работ по созданию нового продукта.

Можно сделать вывод, что организации сектора высшего образования по объемам, глубине и качеству фундаментальных исследований, возможностям получения новых прорывных результатов, не смогут в ближайшем будущем заменить мощные академические организации с их научными школами и многолетним опытом исследований, особенно междисциплинарных исследований.

Несмотря на усиленную поддержку государства организаций неакадемического сектора, ведущая роль при проведении фундаментальных исследований остается за академическими организациями, прежде всего РАН. В этих организациях находится большинство научных школ по направлениям, в которых российские ученые занимают ведущие позиции в мировой науке.

Фундаментальные исследования проводят около 60% от общего количества ГНЦ ПФ. В большинстве ГНЦ ПФ проводят полный цикл работ – от фундаментальных и поисковых исследований до создания и освоения промышленных технологий и образцов. Фундаментальные исследования, выполняемые ГНЦ РФ, носят ориентированный характер. Эти институты имеют большое значение при выполнении фундаментальных исследований, так как здесь реализуется на практике взаимосвязь фундаментальных исследований с прикладными разработками и промышленностью. Следует отметить большую роль ГНЦ РФ в сохранении и подготовке кадров высокой квалификации. В составе многих центров не только сохранились, но и активно работают научные школы.

В период 2014–2016гг стоимость основных средств научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, возросла в 1,03 раза, а машин и оборудования в 1,07 раза. В вузах в этот период наблюдается рост стоимости основных средств – в 1,18 раза, а машин и оборудования - в 1,2 раза. При этом стоимость основных средств научных организаций, подведомственных ФАНО, за этот период снизилась на 14%, а стоимость машин и оборудования снизилась на 17%.

Удельный вес машин и оборудования за этот период в научных организациях, выполняющих фундаментальные исследования, вырос с 43,2% до 45,1%. В вузах также увеличилась доля машин и оборудования с 42,4% в 2014г до 43,1% в 2016 году. В организациях, подведомственных ФАНО, произошло снижение доли машин и оборудования с 44,9% в 2014 г до 43,1% в 2016г.

В 2016 году научные организации, подведомственные ФАНО, по показателям фондовооруженности и техновооруженности исследователей уступали показателям научных организаций на 24% и 28% соответственно. По отношению к показателям фондовооруженности и техновооруженности исследователей вузов наблюдается отставание организаций, подведомственных ФАНО, на 27%. Особенно сильное отставание организаций, подведомственных ФАНО, по фондовооруженности и техновооруженности исследователей отмечается по отношению к показателям национальных исследовательских университетов на 69% и 75% соответственно.

В последнее время наиболее высокие темпы наращивания исследовательской инфраструктуры отмечались в национальных исследовательских центрах, федеральных, а особенно в национальных исследовательских университетах.

Особенно тяжелое положение сложилось с обновлением научного оборудования: продажи зарубежного значительно ограничены из-за санкций, а новое отечественное оборудование выпускается в единичных экземплярах, в лучшем случае мелкими сериями.

До настоящего времени не решены вопросы финансирования выполнения работ в области научного приборостроения, направленных на создание конкурентоспособных научных приборов и оборудования.

Поэтому одной из основных задач Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации 13 мая 2017 года № 208, становится преодоление критической зависимости от импортных поставок научного, экспериментального, испытательного, производственного оборудования, приборов и микроэлектронных компонентов, программных и аппаратных средств вычислительной техники. Доля импортного оборудования достигает 70%, со временем оно стареет, а приобретать новое будет все труднее, а часто и невозможно. В современных условиях применения к России санкций со стороны США и стран Европы особенно остро встает вопрос импортозамещения по направлению «научное приборостроение». Выходом из этой ситуации остается поддержка и развитие отечественного научного приборостроения. Важная роль при решении этих вопросов возлагается на Совет по научному приборостроению при ФАНО России. Это прежде всего разработка «Программы развития научного приборостроения в организациях, подведомственных ФАНО России на 2018 – 2020 годы», подготовка Перечня научных приборов и оборудования, созданных и выпускаемых подведомственными институтами и предприятиями, и размещения этого Перечня на порталах ФАНО России и РАН.

Предлагаемые мероприятия по проведению обновления научной инфраструктуры требуют серьезных организационных мер и больших финансовых затрат, но без этого невозможно провести модернизацию материально-технической базы научных исследований, направленную на повышение эффективности материально-технического потенциала научных организаций и проведение исследований по прорывным и приоритетным направлениям развития науки.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 01 декабря 2016 года №642 «О Стратегии научно технологического развития Российской Федерации» [www.Static.Kremlin.ru media/events/files/ru](http://www.Static.Kremlin.ru/media/events/files/ru)
2. М. Ковальчук Мы являемся свидетелями великого слияния наук www.ras.ru 15.03.2017г.
3. Наука, технологии и инновации России 2017 Статистический сборник ИПРАН РАН Москва 2017г
4. Решение научно-практической конференции «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития» Москва 2016г.
5. Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 года №208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» www.Kremlin.ru_d/54497.

ЛАЗЕРНОЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПЕРИКАРДИАЛЬНОЙ ТКАНИ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРДИОПРОТЕЗОВ

Майоров А.П.¹, заведующий лабораторией Лазерных медицинских технологий

Гончаренко А.М.¹, ведущий инженер программист, Бордзиловский Д.С.¹, ведущий инженер технолог

Журавлева И.Ю.², д.м.н., научный сотрудник Центра новых хирургических технологий

Кузнецова Е.В.², к.м.н., лаборант исследователь Центра новых хирургических технологий

1- ИЛФ СО РАН, <http://laser.nsc.ru/>, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева 15Б, тел.(383) 333-24-90, e-mail: mayorov@laser.nsc.ru

2- ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, <https://www.meshalkin.ru/>, 630055, Новосибирская область город Новосибирск, улица Речкуновская, дом 15, тел. (383) 347-60-74, e-mail: education@meshalkin.ru

LASER CONDITIONING OF THE PERICARDIAL TISSUE AND MANUFACTURING OF ELEMENTS OF THE ARTIFICIAL VALVE OF HEART

Mayorov A.P.¹, Goncharenko A.M.¹, Bordzilovskiy D.S.¹, Zhuravleva I. Y.², Kuznetsova E.V.²

Annotation

This paper describes the laser conditioning (removal of crispness, smoothing) is presented to a fibrous surface of elements cardiovascular bioprostheses at their cutting from a pericardial tissue. The description of results of experiments of the influence on a pericardial tissue by laser radiance with various wave length and the description of the program operating of moving of a portal, at performance of surface conditioning. The sequence of technological operations of manufacturing of elements cardiovascular bioprostheses on the laser installation "Melaz-Kardio" developed at Institute of the laser physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science is shown.

Keywords

Pericardial tissue, elements cardiovascular bioprostheses, laser radiation, laser conditioning, the artificial valve of heart.

Аннотация

В работе представлена методика лазерного кондиционирования (удаления ворсистой, сглаживания), фиброзной поверхности элементов кардиопротезов при их вырезании из перикардиальной ткани. Дано описание результатов экспериментов по воздействию на перикардиальную ткань лазерным излучением с различной длиной волны и описание программы, управляющей перемещением портала, при выполнении функции кондиционирования. Показана последовательность технологических операций изготовления элементов кардиопротезов на лазерном комплексе «Мелаз-Кардио», разработанном в Институте лазерной физики СО РАН.

Ключевые слова

Перикардиальная ткань, элементы кардиопротезов, лазерное излучение, лазерное кондиционирование, элементы клапанов сердца.

Введение

Объектом исследования является перикард крупного рогатого скота, консервированный диглицидиловым эфиром этиленгликоля. Это биологический материал (перикардиальная ткань) используется для изготовления большого количества изделий для трансплантации в кардиохирургии, в том числе для изготовления искусственных клапанов сердца. Серозная сторона перикардиальной ткани гладкая, а фиброзная сторона - ворсистая (Рисунок 1). В искусственном клапане сердца створки клапана, вырезанные из перикардиальной ткани, контактируют с кровью обеими сторонами.

После имплантации искусственного клапана пациенту, на биологической ткани формируется эндотелий, однако на рыхлой фиброзной поверхности, эндотелий формируется плохо, что может привести, в случае нарушения режима приема лекарственных препаратов и диеты питания, к кальцификации фиброзной поверхности створок искусственного клапана (Рисунок 2).



Рисунок 1 – Схематичное отображение перикарда в разрезе



Рисунок 2 – Массивные тромбы, локализованные на фиброзной поверхности ксеноперикардиальных створок клапана сердца

В данной работе представлены результаты исследований по воздействию лазерного излучения на фиброзную поверхность перикардиальной ткани. Цель работы: - разработка методики лазерного кондиционирования фиброзной поверхности перикардиальной ткани без повреждения коллагеновой структуры самой ткани, и снижение риска тромбообразования после имплантации кардиопротеза.

В процессе работы были выполнены расчеты и создано программное обеспечение для управления процессом кондиционирования. Проведен выбор параметров кондиционирования (длина волны, мощность излучения, величина пятна, скорость движения и т.д.), эффективность их оценивалась по результатам гистологического исследования кондиционированных образцов ксеноперикарда. В результате была разработана методика лазерного кондиционирования, позволяющая выполнять сглаживание фиброзной поверхности ксеноперикарда без повреждения глубжележащих тканевых структур. Разработанная технология адаптирована для лазерного аппарата

"Мелаз-Кардио", разработанного в ИЛФ СО РАН, и будет использоваться для кондиционирования фиброзной поверхности элементов кардиопротезов, при их вырезании из перикардиальной ткани.

Описание результатов экспериментов

Технология лазерного кондиционирования основана на лазерном воздействии на фиброзную поверхность перикардиальной ткани и испарении с поверхности ворсистой части ткани. Для реализации технологии сглаживания фиброзной поверхности ксеноперикарда были выбраны лазерные источники, излучение которых хорошо поглощается перикардиальной тканью и содержащейся в ней водой. Такими источниками являются: твердотельный импульсный Er:YAG лазер с коэффициентом поглощения в воде $\sim 10000\text{см}^{-1}$ и газовый CO_2 лазер с коэффициентом поглощения в воде $\sim 1000\text{см}^{-1}$.

Первая серия экспериментов была выполнена с использованием излучения твердотельного Er:YAG лазера с ламповой накачкой. Излучение этого лазера имеет самый большой коэффициент поглощения в воде. Поскольку обработке подвергается влажная ткань (консервант или физраствор, основным компонентом которых является вода), возможно испарение влажного слоя перикардиальной ткани толщиной в несколько микрон. Для экспериментов использовался лазер со следующими характеристиками: длина волны лазерного излучения - $2,94\text{ мкм}$, длительность импульса лазерного излучения - $450\pm 20\text{ мкс}$, энергия в импульсе (макс.) - $0,8\text{ Дж}$, частота следования лазерных импульсов - от 1 до 25 Гц, средняя мощность лазерного излучения не более - 10 Вт

Размер пятна на поверхности перикардиальной ткани регулировался линзовым объективом от 1мм до 4мм в диаметре. Исследования показали, что лучшие результаты кондиционирования при использовании импульсного Er:YAG лазера получены при следующих параметрах излучения: энергия лазерного импульса - 200 мДж , длительность импульса 400 микросекунд при размере пятна 2мм в диаметре. Каждый следующий импульс направлялся на перикардиальную ткань с перекрытием предыдущего пятна на 50% (Рисунок 3). При таких характеристиках излучения, без повреждения глубжележащих тканевых структур (Рисунок 5), за один проход удалялся слой перикардиальной ткани толщиной 20-30микрон.

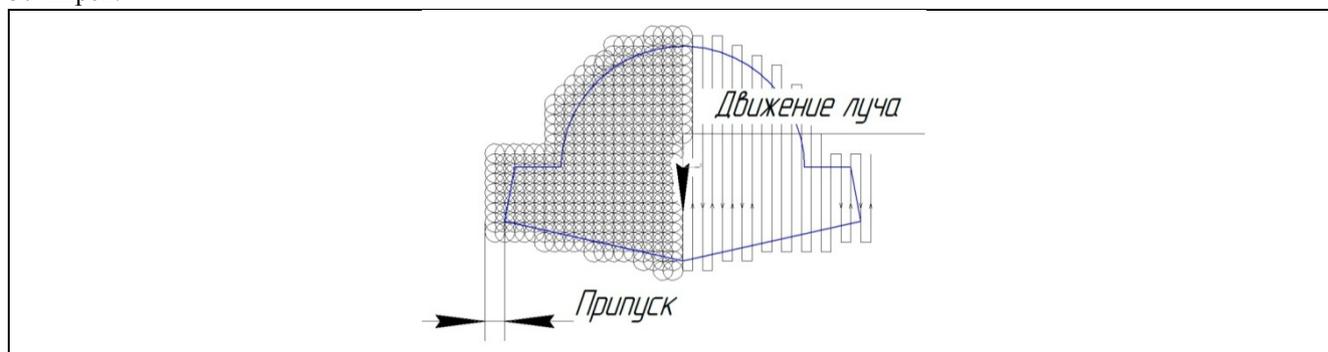
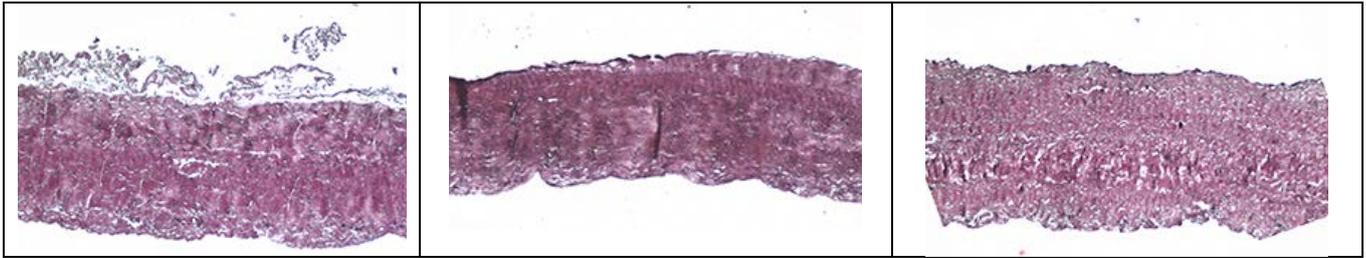


Рисунок 3 – Траектория лазерного луча от импульса к импульсу (кондиционирование створки).

В следующей серии экспериментов использовался непрерывный CO_2 -лазер с длиной волны $\lambda=10,6\text{ мкм}$, средней мощностью 40 Вт; максимальная скорость перемещения портала составляет 6000 мм/мин. Экспериментальная установка позволяла изменять следующие параметры: мощность излучения, размер пятна на ткани, ток модулировать излучение и регулировать скорость перемещения портала координатного стола. Оптимальный режим кондиционирования, при использовании CO_2 лазера наблюдался при следующих параметрах: мощность лазера 20Вт, пятно 0,8 мм, шаг кондиционирования 0,5 мм, скорость портала 3000 мм/мин, перерыв - 2 секунды после каждого прохода для снижения температуры обработанного слоя (Рисунок 4).



*Рисунок 4 –
Образец бычьего перикарда
(без лазерной обработки).*

*Рисунок 5 –
Образец бычьего перикарда, после
кондиционирования Er:YAG лазером.*

*Рисунок 6 –
Образец бычьего перикарда, после
кондиционирования CO₂ лазером*

Эксперименты по удалению ворсистой с фиброзной поверхности ксеноперикарда сопровождались гистологическими исследованиями, по которым оценивались степень сглаженности и деструктивные изменения в глубине перикардиальной ткани.

Все образцы перикардиальной ткани консервировались в 5% диглицидиловом эфире этиленгликоля, окрашивались гематоксилин-эозином и экспонировались с увеличением $\times 40$.

Заключение

Разработана методика кондиционирования фиброзной поверхности перикардиальной ткани, применяемой для изготовления элементов биологических кардио-васкулярных протезов.

Гистологически верифицирована эффективность удаления поверхностных волокон при полной сохранности глубжележащих коллагеновых структур.

Технология кондиционирования интегрирована в аппаратный лазерный комплекс "Мелаз-Кардио", созданный на основе CO₂ лазера в ИЛФ СО РАН и предназначенный для обработки перикардиальной ткани и вырезания элементов кардиопротезов.

Список литературы

1. Барбараш Л.С., Глушкова Т.В., Майоров А.П., Бураго А.Ю., Тарасов В.М., Гончаренко А.М., Журавлева И.Ю. / Возможности использования лазерных технологий в производстве кардиоваскулярных биопротезов. Бюллетень СО РАМН. 2010. Т.30. №5. С.34-39.
2. Пушкарёва А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГУ ИТМО; 2008. 103 с.
3. Красников И.В. Температурное воздействие лазерного излучения на многослойную биологическую ткань / Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.ф.м.н. Хабаровск 2007.
4. Берлиена Х.П., Мюллер Г.Й. Прикладная лазерная медицина. Москва: Изд-во Интерэксперт 1997. 356 с.
5. Niemz M.H. Laser – Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. / Berlin, 1996. – 305 p.
6. Тучин В.В. Взаимодействие лазерного излучения с биологическими тканями / Лазерная физика. Выпуск 3, СПб.: Российский центр лазерной физики, 1992, с. 87 - 108.

ПОРТАТИВНЫЙ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА ВЫДЫХАЕМОГО ЧЕЛОВЕКОМ ВОЗДУХА

*Балдин М.Н.¹, к.т.н., с.н.с., Грузнов В.М.^{1,2,3}, д.т.н., г.н.с., Малышева А.О.^{1,2}, инженер
Науменко И.И.¹, к.х.н., с.н.с.*

1 - Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Адрес: проспект Академика В.А. Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090

2 - Новосибирский государственный технический университет

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, Россия

3 - Новосибирский государственный университет. 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

т. 8/383/333-27-11, +79133792819, e-mail: GruznovVM@ipgg.sbras.ru

www.ipgg.sbras.ru

PORTABLE COMPLEX GAS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF EXHALED HUMAN AIR

Baldin M.N.¹, Gruznov V.M.^{1,2,3}, Malysheva A.O.^{1,2}, Naumenko I.I.¹

Annotation

The problem of the analysis of exhaled air is considered. It is proposed to use polycapillary gas chromatograph (GC) with a threshold for determining the concentration of organic substances in the air at the level of 10^{-10} g/cm³, sample analysis time of several tens of seconds. The analytical scheme of the sampling device provides an analysis of several samples from one exhalation of a person. Steam-phase source of acetone concentration is used for automated calibration of GC. The software is developed in terms convenient for the chemist-analyst practice.

Keywords

Exhaust air sampling, express analysis of exhaled air, automated calibration, vapor-phase concentration source.

Аннотация

Рассмотрена проблема анализа выдыхаемого человеком воздуха. Использован портативный поликапиллярный газовый хроматограф (ГХ) с пороговой чувствительностью 10–10 г/см³, коротким временем анализа проб, с встроенным источником парофазной концентрации ацетона для автоматизированной градуировки ГХ. Пробы воздуха и градуировочная вводятся по одной схеме. Осуществляется анализ нескольких проб из одного выдоха. Программное обеспечение создано в терминах, удобных для аналитика.

Ключевые слова

Отбор выдыхаемого воздуха, экспрессный анализ выдыхаемого воздуха, автоматизированная градуировка, парофазный источник концентрации.

Цель статьи

Изложение концепции построения скоростного портативного газохроматографического комплекса для анализа выдыхаемого воздуха.

Введение

Анализ выдыхаемого воздуха перспективен для диагностики факторов риска метаболических нарушений (нарушений обмена веществ) в организме человека, порождающих заболевание, например, сахарным диабетом, для контроля лечебного голодания и оценки эффективности физической нагрузки [1, 2]. В частности, повышенная концентрация ацетона в выдыхаемом воздухе является маркером, связанным с заболеванием сахарным диабетом I рода. Преимуществом диагностики по составу выдыхаемого воздуха являются простота и неинвазивность (без хирургического вмешательства) отбора пробы выдыхаемого воздуха. Привлекательность такого контроля для пациентов определяется тем, что результаты анализа могут быть получены в присутствии пациента. Такие условия могут возникать при периодических массовых осмотрах, например, учащихся различных учебных заведений, текущем контроле состояния спортсменов и т.п. Техническая проблема состоит в создании скоростного высокочувствительного средства анализа максимально адаптированного к обслуживанию непрерывного потока пациентов во внелабораторных условиях. Для использования в этих целях нами предложен газохроматографический комплекс, позволяющий проводить быстрые измерения концентрации ацетона и других веществ в выдыхаемом воздухе.

Газовый хроматограф (ГХ). В работе использован портативный поликапиллярный газовый хроматограф серии ЭХО «ЭХО-В-ФИД» с встроенным источником питания (аккумулятор), с фотоионизационным детектором с энергией ионизации 10.6 эВ [3] и скоростной поликапиллярной колонкой (ПКК) длиной 220 мм, состоящая из 1200 капилляров диаметром 40 мкм с неподвижной жидкой фазой OV-215 (0,6 мкм) производства ООО Мультихром (Новосибирск). В качестве газа-носителя использован атмосферный воздух, очищаемый с помощью встроенного оригинального фильтра с трехступенчатой схемой очистки [4]. Продолжительность работы фильтра при относительной влажности воздуха 56–70% составляет не менее 80 ч, время регенерации фильтра от

встроенного источника питания занимает 2 ч. Комплекс обеспечивает порог обнаружения органических веществ на уровне 10^{-10} г/см³ и время анализа несколько десятков секунд.

Автодозирующее пробоотборное устройство

Проба воздуха отбирается и вводится в ПКК оригинальным автодозирующим устройством в составе ГХ «ЭХО-В-ФИД», обеспечивающим многократный ввод пробы из разового выдоха человека и ввод градуировочной воздушной смеси в ГХ.

Схема комплекса анализа выдыхаемого воздуха с автоматизированной градуировкой приведена на рис.1. Выдох осуществляется в патрубок П (Рис.1) через съёмный одноразовый мундштук. В патрубке осаждаются крупные капли влаги из пробы. Далее выдыхаемый воздух заполняет спиральные фторопластовые трубки, находящиеся в термостате. Температура спиральных трубок 50 °С для предотвращения конденсации на стенках воды в выдыхаемом воздухе. Объем и длина спиральных трубок подобраны таким образом, чтобы размывание концентрации анализируемых веществ было незначительное за время анализа трёх малых проб (около 4 минут), отбираемых из центра объёма трубок и вводимых в ГХ.

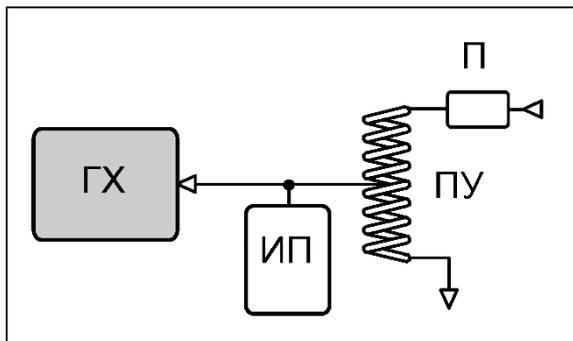


Рисунок 1 – Схема комплекса анализа выдыхаемого воздуха с автоматизированной градуировкой, где П - патрубок, ПУ - фторопластовые трубки пробоотборного устройства, ИП – источник градуировочной концентрации паров ацетона, ГХ – газовый хроматограф.

Источник градуировочной концентрации паров ацетона ИП (Рис.1) содержит сосуд с водным раствором ацетона. Объем

воздуха над раствором насыщается парами ацетона путем барботирования раствора очищенным воздухом из ГХ. Концентрация паров ацетона на уровне 10–10 г/см³ достигается заданием концентрации ацетона в растворе и учетом температуры раствора [5]. Градуировочная концентрация паров ацетона дозируется через фторопластовые трубки ПУ. Дозировкой обеспечивается многократное обновление паров ацетона в объеме трубок. Как следует из рис.1 проба ацетона вводится в ГХ по схеме ввода пробы выдыхаемого воздуха для исключения погрешностей градуировки. Температурные режимы работы ГХ: устройства ввода 110 - 140 оС; ПКК 30 - 50 оС; детектора ФИД 100 - 160 оС.

Относительная погрешность определения концентрации веществ в выдыхаемом воздухе не превышает 9 %.

Программное обеспечение (ПО) для управления ГХ и ПУ разработано специализированное - СОРБАТ-М, устанавливаемое на персональный компьютер, подключённый к хроматографу. Прототипом ПО является программа СОРБАТ [6], созданная для работы с портативными экспрессными поликапиллярными хроматографами серии ЭХО. Программа работает в операционных системах Windows 7, 8. Для удобства работы с параметрами настройки хроматографа и большим количеством получаемых хроматограмм используется созданная в программе СОРБАТ оригинальная структура хранения и обработки данных на основе терминов Приложение и Набор хроматограмм, заменяющих понятия файл и каталог. Каждому Приложению соответствуют свои Наборы хроматограмм с градуировкой и настройками хроматографа, измеренными концентрациями веществ и личными данными пациента. При такой структуре ПО легко контролировать настройки и градуировки прибора, при которых получены хроматограммы.

На рис.2 показан экспериментальный образец комплекса, содержащий ГХ, автодозирующее устройство отбора проб и градуировки хроматографа, персональный компьютер.

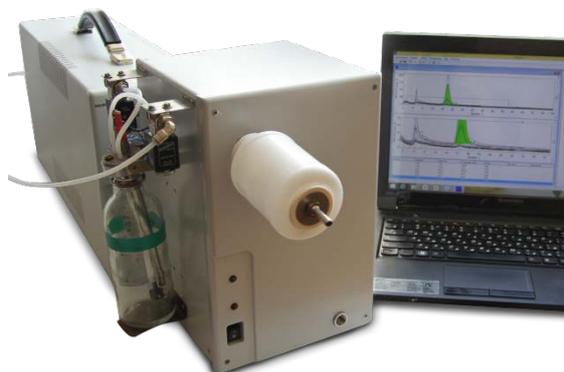


Рисунок 2 – Экспериментальный образец газохроматографического комплекса

Пример экспрессного анализа двух проб воздуха из одного выдоха показан на рис.3. Присутствие в выдыхаемом воздухе пиков ароматических углеводородов (бензол, толуол) указывает на то, что этот человек курит.

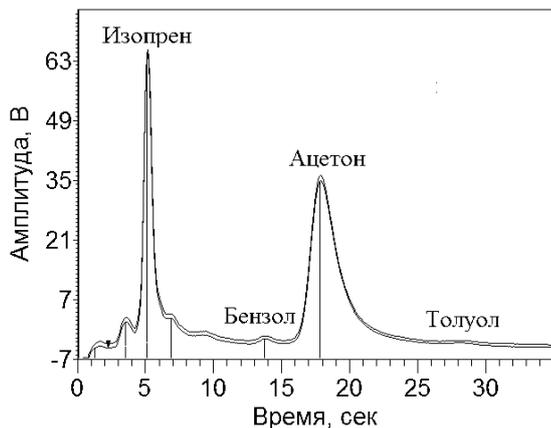


Рисунок 3 – Типичная хроматограмма выдыхаемого человеком воздуха.

Предложения:

1. Использовать созданный экспериментальный образец комплекса для разработки медицинских методик оценки состояния здоровья, риска заболеваний, в частности, сахарным диабетом. Работа в этом направлении по сахарному диабету начата.
2. На основе технического решения экспериментального образца комплекса разработать рабочую конструкторскую документацию опытного образца.
3. Организовать серийный выпуск комплекса, сертификацию комплекса. Провести маркетинг по определению сектора рынка для комплекса.
4. Провести предклинические и клинические испытания комплекса.
5. Сертифицировать комплекс в Минздраве РФ.

Список литературы

1. Španěl P, Dryahina K., Rejšková A., Chippendale T.W.E., Smith D. Breath acetone concentration: biological variability and the influence of diet, *Physiological Measurement*, 2011, vol. 32, no. 8, pp. 23-31.
2. В. Ю. Куликов, Л. А. Руюткина, М. Ю. Сорокин, Е. С. Шабанова, М. Н. Балдин, В. М. Грузнов, А. П. Ефименко, Д. В. Петровский, Е. П. Шнайдер, М. П. Мошкин. Содержание легких углеводов в выдыхаемом воздухе в зависимости от факторов риска метаболических нарушений // *Физиология человека*. – 2011. – Т. 37, № 3. – С. 70–75.
3. Портативные экспрессные газоаналитические приборы для определения следовых количеств веществ / В.М. Грузнов [и др.] // *Российский химический журнал*. 2002. Т. 46. № 4. С. 100-108.
4. Балдин М.Н., Грузнов В.М. Портативный газовый хроматограф с воздухом в качестве газа-носителя для определения следов взрывчатых веществ // *Журнал аналитической химии*, 2013, **68**, № 11, С. 1117-1122.
5. Малышева А.О. Балдин М.Н. Грузнов В.М. Определение коэффициентов распределения летучих органических веществ в системе жидкость-воздух для создания градуировочных газообразных образцов со следовыми концентрациями веществ // *Журнал аналитической химии*. 2017. Т. 72. № 10. С. 3-7.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010615767 Сорбат / Блинова Л.В. РФ заявл. 5.07.2010; опубл. 6.09.2010.

ТАНДЕМНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ МАСС – РЕФЛЕКТРОН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗУЮЩИХ ПРИМЕСЕЙ

Медакин П. О.¹, Шейн А. Г.¹, доктор физико - математических наук, профессор, Потапов А. М.², кандидат химических наук, зав. лабораторией физических методов исследования высокочистых веществ

1 - Волгоградский государственный технический университет, Россия, 400005, Волгоград

пр. им. Ленина, 28, e-mail: pawel.med@yandex.ru , http://vstu.ru

2 - Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Десятых РАН, Россия, 603951

Нижегород, Бокс-75, ул. Тропинина, 49, https://www.ihvv.org

TANDEM LASER MASS REFLECTRON FOR DETECTION OF GAS-FORMING IMPURITIES

Medakin P.O.¹, Shein A.G.¹, Potapov A.M.²

Annotation

The device and principle of operation of tandem laser mass-reflektron, analytical characteristics of determination of gas-forming impurities, limits of their detection in chalcogenide glasses and silicon, as well as ways to improve the device are considered in this work.

Keywords

Time-of-flight mass-spectrometry, instrumentation, gas – forming impurities, laser plasma.

Аннотация

Рассматривается устройство и принцип работы tandemного лазерного масс – рефлектрона, аналитические характеристики определения газообразующих примесей, пределы их обнаружения в халькогенидных стеклах и кремнии, а также пути модернизации прибора.

Ключевые слова

Времяпролетная масс – спектрометрия, приборостроение, газообразующие примеси, лазерный источник ионов.

Исследования, технологические процессы, производство, контроль продукции и многое другое невозможно без применения универсального высокочувствительного метода анализа вещества – масс – спектрометрии. Современная масс – спектрометрия – это универсальный, высокоточный метод элементного и изотопного анализа веществ, находящихся в различном агрегатном состоянии и обладающих различными физическими свойствами.

Однако, несмотря на широкие возможности современных масс - спектрометров, проблема определения газообразующих примесей (ГП) в твердых веществах остается очень актуальной. Согласно данным Выставки-коллекции веществ особой чистоты, именно их содержание, в подавляющем большинстве случаев, определяет суммарную чистоту вещества [1]. Главными причинами этого являются поверхностные загрязнения пробы и высокий фон аналитического оборудования. Большинство из существующих методов определения содержания газообразующих примесей, являются либо очень дорогостоящими и энергозатратными, либо имеют ограниченную применимость или не отвечают современным требованиям по чувствительности и точности анализа.

Для решения данной проблемы, в институте химии высокочистых веществ РАН, был разработан и создан tandemный лазерный масс – рефлектрон (рисунок 1).

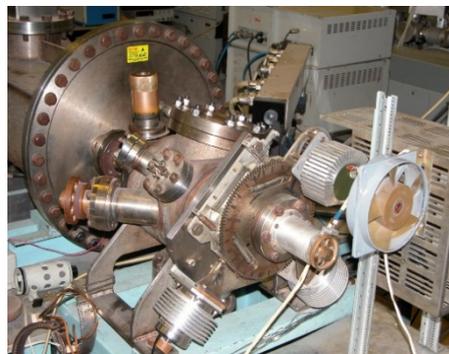
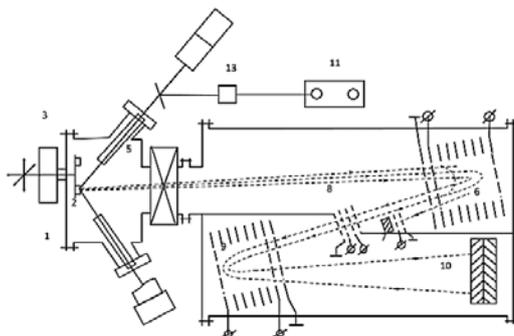


Рисунок 1 – Схема (слева) и внешний вид tandemного лазерного масс - рефлектрона(справа)[2]

Прибор состоит из однододового Nd:YAG лазера 11 со двоекимпульсным импульсом. Первым импульсом проводится очистка поверхности образца 1, вторым – отбор материала пробы на анализ. Источник ионов 2 содержит систему наблюдения и фокусировки излучения 5 в пятно диаметром 50 мкм. Система перемещения образца 3 обеспечивает сплошное сканирование его поверхности в растровом режиме. Образованная под

действием лазерного излучения плазма, свободно разлетается в вакуум. Полученные ионы поступают в масс-анализатор, состоящий из двух последовательно расположенных ступеней типа масс-рефлектор 6, 9, расположенных в одном вакуумном корпусе, но отделенных друг от друга плотными экранами. Электродинамический клапан 8 открывается только на время пролета пакетов ионов ГП примесей, генерируемых вторым импульсом. В одной плоскости с клапаном расположен детектор ионов основы 7. После пролета второго плеча масс-рефлектора, ионы примесей регистрируются детектором 10.

Преимуществами, лазерного метода ионизации, являются возможность анализировать любые классы твердых веществ, отсутствие необходимости специальной подготовки исследуемого образца и стерильность лазерного пробоотбора.

Результаты проверки эффективности очистки поверхности пробы представлены на рисунке 2.

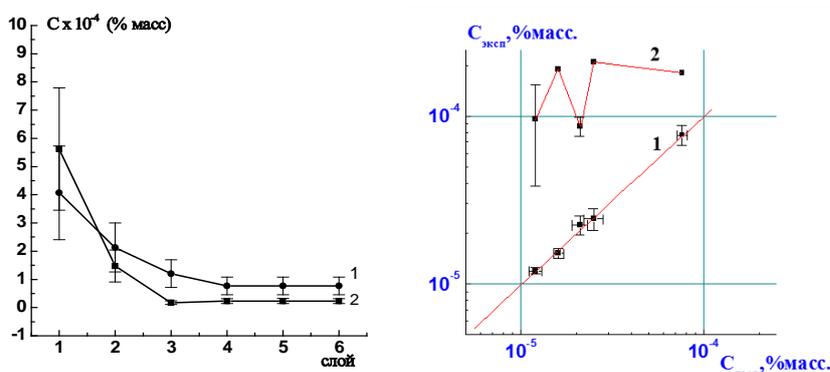


Рисунок 2 – Изменение определяемой концентрации водорода при последовательном удалении слоев в ГСО алюминиевых сплавов: 1 - ГСО №7219-96, 2 - ГСО №7085-93(слева) и определение водорода в ГСО алюминия при включенном – 1 и выключенном – 2 очищающем лазере (справа) [3]

Правильность методики определения ГП в металлах проверяли сравнением результатов масс-спектрометрических измерений содержания H , C , N и O в ГСО металлов и сплавов. В полупроводниках и халькогенидных стеклах сравнением с результатами измерений методом ИК-спектрометрии. Для кремния, халькогенидных стекол и металлов получены пределы обнаружения для кислорода и углерода на уровне $7 \cdot 10^{-7}$ мас. %, водорода - $5 \cdot 10^{-7}$ мас. % и $1 \cdot 10^{-8}$ мас. % для водорода в алюминии, определенного по дейтерию в стандартном образце алюминия[2,3,4].

Несмотря на то, что пределы обнаружения ГП, полученные на ТЛМР, не имеют аналогов в мире, прибор нуждается в модернизации и дальнейшем совершенствовании. Так как наличие фона в аналитическом оборудовании существенно влияет на возможности прибора, необходимо исключить применение вакуумных узлов с применением масел и вакуумной смазки. Создание полностью «сухого» вакуума позволит снизить фон и соответственно улучшить пределы обнаружения ГП. Также в необходимо модернизировать систему детектирования, управляющую и регистрирующую электронику. Сборки из микроканальных пластин, с помощью которых происходит детектирование ионов основы и примеси, вносят высокий уровень шума, их замена на ВЭУ, а также создание полноценной цифровой системы управления позволит повысить точность измерений, легкость в использовании и соответственно привлекательность на рынке.

Список литературы

- 1 Анализ данных по примесному составу образцов простых твердых веществ Выставки-коллекции веществ особой чистоты./ Г. Г. Девярых [и др.] // Высокочистые вещества. – 1992. – № 5-6.
- 2 Определение водорода и кислорода в халькогенидных стеклах на тандемном лазерном масс рефлектроне / В.В. Безруков[и др.]// Журнал аналитической химии. – 2002. – 57. – С.378 – 382.
- 3 Определение газообразующих примесей в твердых высокочистых веществах методом времяпролетной лазерной масс-спектрометрии./ И. Д. Ковалев [и др.] // XI Конф по химии высокочистых веществ, Н. Новгород, 2000г. / ИХВВ РАН, Н. Новгород, 2000. – С. 178.
- 4 Определение газообразующих примесей в высокочистом кремнии на тандемном лазерном масс-рефлектроне / И. Д. Ковалев [и др.] // XII Конф по химии высокочистых веществ, Н. Новгород, 2004г. / ИХВВ РАН, Н. Новгород, 2004. – С. 250.

ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДИССЕКТОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПУЧКОВ ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ

Воробьев Н.С.¹, к.ф.-м.н., зав. отделом Фотозлектроники, Горностаев П.Б.¹, н.с.

Заровский А.И.¹, вед. инженер, Комельков А.С.¹, аспирант

Мешков О.И.², д.ф.-м.н., зав. сектором, Смирнов А.В.¹, с.н.с.

Шашков Е.В.¹, к.ф.-м.н., зав. лабораторией, Дорохов В. Л.², аспирант

Решетов Д. Ф.², студент, Борин В. М.², студент

1 – Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, <http://www.gpi.ru/>,

119991, Москва, ул. Вавилова, д. 38, тел. +7 (499) 135-4148, e-mail: postmaster@kapella.gpi.ru

2 – Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, <http://www.inp.nsk.su>

630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 11, тел. +7 (383) 329-4760, e-mail: inp@inp.nsk.su

THE PICOSECOND DISSECTOR FOR DIAGNOSTICS OF LONGITUDINAL PROFILE OF THE BEAMS IN ACCELERATORS

Vorobiev N.S.¹, Gornostaev P.B.¹, Zarovsky A.I.¹, Komel'kov A.S.¹, Meshkov O.I.², Smirnov A.V.¹,

Sashkov E.V.¹, Dorokhov V. L.², Reshetov D. F.², Borin V. M.²

Annotation

This work is devoted to the development of picosecond optical dissector for diagnostics of longitudinal profile of the bunches of particles in synchrotron radiation sources and other cyclic accelerators. The basic ideas of the operation and design of the device are discussed. The examples of the applications of the dissector on the modern accelerators are presented.

Keywords

Dissector, streak camera, temporal resolution, accelerator, synchrotron radiation.

Аннотация

Данная работа, выполненная в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН совместно с коллегами из отдела фотозлектроники ИОФ А.М. Прохорова РАН, посвящена разработке пикосекундного электронно-оптического диссектора для диагностики продольного профиля пучков в ускорителях заряженных частиц. Подробно описываются конструкция и принцип действия диссектора, а также приводятся примеры его применения на крупных физических установках.

Ключевые слова

Диссектор, временное разрешение, ускоритель, синхротронное излучение.

Введение

Необходимым условием для управления работой ускорителя элементарных частиц является информация о продольном профиле пучка. Речь идет об регулярном измерении всплеск света с длительностью в диапазоне от единиц до сотен пикосекунд. Эти всплески связаны с испусканием заряженными частицами синхротронного излучения (СИ) в оптическом диапазоне, и их временной профиль однозначно связан с продольной плотностью частиц в пучке. Регистрация пространственного распределения частиц в пучке важна как при настройке ускорителя для диагностики разнообразных неустойчивостей пучка частиц, так и при штатной эксплуатации установки, когда требуется обеспечить стабильность ее параметров. Такого рода постоянный контроль за продольным профилем пучка осуществляется лишь на ускорителях, оснащенных электронно-оптическими диссекторами. Эти устройства разработаны и изготавливаются только в России и не имеют аналогов в мире.

В настоящее время на циклических ускорителях в России и за рубежом успешно эксплуатируются два поколения диссекторов: ЛИ-602 и ПИФ-01Д. В работе описываются их принцип действия и обобщается опыт эксплуатации.

Диссектор

Диссектор - специальный фотозлектронный прибор, основанный на стробоскопическом принципе регистрации для измерения параметров быстропротекающих периодических процессов в ближней ультрафиолетовой, и видимой области спектра с пикосекундным временным разрешением. Оптическое изображение на фотокатод преобразуется в пропорциональное электронное изображение, которое переносится при помощи фокусирующей системы на входную диафрагму умножителя. Входная диафрагма умножителя имеет считывающую щель, перпендикулярно которой и развертывается электронное изображение.

Если на фотокатод диссектора спроектировать точечное изображение исследуемого импульсного источника света, а на отклоняющие пластины подать высокочастотное напряжение развертки синхронное с появлением импульсов, то в плоскости разделительной диафрагмы при каждом появлении светового импульса будет появляться изображение, распределение плотности электронов в котором в направлении развертки будет

соответствовать распределению интенсивности во времени в исследуемом световом импульсе. При каждом появлении этого электронного изображения диафрагма вырезает (стрибирует) узкий участок и на коллекторе умножителя появляется сигнал пропорциональный числу электронов, проходящих через диафрагму умножителя. При большой скорости развертки этому участку соответствует пикосекундный временной интервал. Если процесс повторяется, то интенсивности светового импульса в выбранной временной точке будет соответствовать средний ток коллектора умножителя. Сканирование дает информацию обо всех точках электронного распределения.

Диссекторы с временным разрешением от 5 до 20 пс успешно эксплуатируются на ускорителях Сибирь-2 (Москва), ВЭПП-3, ВЭПП-4М, ВЭПП-2000 (ИЯФ СО РАН, Новосибирск), на источнике СИ MLS (Metrology Light Source, Берлин, Германия) и ряде других. При этом регистрируется синхротронное излучение в оптическом диапазоне как из поворотных магнитов ускорителей, так и из ондулятора установки. Сигналы с диссекторов, работающих в ИЯФ, регистрируются АЦП и обрабатываются в режиме on-line, что позволяет проводить непрерывное измерение длины пучка в ускорителях и измерять спектр продольных колебаний частиц.

Важной задачей ближайшего будущего является модификация диссектора для измерений продольного профиля многобанчевых пучков.

Список литературы

1. О. В. Анчугов, В. Л. Дорохов, Г. Я. Куркин, Э. И. Зинин, П. А. Молявин, О. И. Мешков, Д. А. Шведов, А. В. Петрожицкий, П. Б. Горностаев, А. И. Заровский, Е. В. Шашков, А. В. Смирнов, М. Я. Щелев. “Калибровка пикосекундного электронно-оптического диссектора”, Автометрия, т. 52, № 3, стр. 108-115 (2016).
2. E. I. Zinin, O. V. Anchugov, V. L. Dorokhov, G. Ya. Kurkin, O. I. Meshkov, A. N. Petrozhitsky, D. V. Shvedov, P. B. Gornostaev, A. I. Zarovskii, E. V. Shashkov, A. V. Smirnov, M. Ya. Schelev. “Direct temporal-resolution calibration of new-generation dissector”, Journal of Instrumentation, V. 11, T03001 (2016).

**РАЗРАБОТКА ДОПЛЕРОВСКОГО СТЕРЕОМОНИТОРА ПЛОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ
ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ И СОЗДАНИЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО КРОВОТОКА**

Миловидов Г.Д.^{1,2}, Казанцев А.П.^{1,2}, к.т.н., с.н.с., зав. лаб., Сенин А.А.^{1,2}, к.т.н., н.с.

*1 – ФГБУН Институт биологического приборостроения с опытным производством РАН
лаборатория биомедицинских разработок (№16), <http://ibp-ran.ru>*

Россия, 142290, Московская область, г. Пущино, ул. Институтская, д.7, телефон +7 (495) 624-5749

2 – ФГБОУ ВО Пуцинский государственный естественно-научный институт

**DEVELOPMENT OF A FETAL DOPPLER STEREO-MONITOR FOR THE PREGNANCY SURVEILLANCE
E-HEALTH SYSTEMS AND EXPERIMENTAL SETUP FOR ARTERIAL BLOOD FLOW SIMULATION**

Milovidov G.D.^{1,2}, Kazantsev A.P.^{1,2}, Senin A.A.^{1,2}

Annotation

The work is aimed at antenatal morbidity and mortality reduction. A prototype a Doppler ultrasonic stereomonitor is developed for double channel measurements of intracardiac blood flow at steady position of the channels. Fine adjustment of channel insonation angles may be required. Aortal blood flow simulating experimental setup is implemented to test the stereomonitors.

Keywords

Telemedicine, biomedical ultrasound, Doppler measurement, stereo fetal Doppler, arterial blood flow modeling.

Аннотация

Разработка направлена на сокращение антенатальной заболеваемости и смертности. Создан экспериментальный образец ультразвукового доплеровского стереомонитора плода, позволяющий проводить измерения внутрисердечного кровотока плода со статическим положением двух датчиков при небольшой подстройке углов инсонации. Реализована экспериментальная установка для моделирования артериального кровотока и испытания стереомониторов плода.

Ключевые слова

Телемедицина, биомедицинский ультразвук, доплерометрия, доплеровский стереомонитор плода, моделирование артериального кровотока.

Для мониторинга на ранних сроках беременности (с 10-й недели) необходимо следить за гемодинамикой плода. Изменения сердечного выброса и других гемодинамических показателей его состояния можно отслеживать по доплерографическим сигналам стереометрической пары ультразвуковых (УЗ) зондов, подобных применяемым в кардиотокографии (КТГ), работающих либо в разных частотных диапазонах, либо с разделением во времени.

Цель работы – повышение эффективности системы телемедицинского сопровождения беременности для диагностики на ранних сроках, что ведет к снижению заболеваемости и смертности плода.

Для достижения цели был разработан ультразвуковой доплеровский стереомонитор плода (Stereo Fetal Doppler) для получения эхо-сигнала от объемного кровотока сердца плода, отличающийся от обычного доплеровского монитора наличием второго канала зондирования. Такой стереомонитор позволяет: проводить доплерометрию без подстройки угла инсонации, т.е. проводить измерения без перемещения доплеровского зонда, и отслеживать множество гемодинамических показателей состояния плода.

Принцип работы стереомонитора основан на излучении и приеме отраженного ультразвукового сигнала с разделением во времени двумя зондами, синхронизированными между собой и расположенными под разными углами к исследуемому объекту. Упрощенная блок-схема доплеровского стереомонитора показана на рисунке 1.

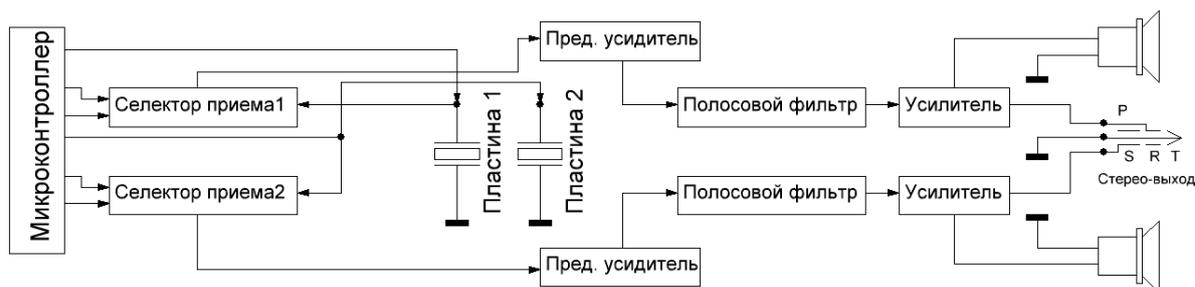


Рисунок 1 – Блок-схема доплеровского стереомонитора плода

Синхронной работой двух УЗ-зондов управляет микроконтроллер, который задает частоту УЗ-колебаний и формирует управляющие сигналы для передатчиков и приемников УЗ-сигнала.

В процессе разработки стереометрического доплерометрического зонда было необходимо проводить его испытания и калибровку. В ходе анализа рынка были найдены устройства (фантомы), позволяющие производить такие исследования. Обычно они представляют собой емкость с расположенными внутри трубками, имитирующими артерии, наполненную тканеимитирующим материалами, для обеспечения распространения ультразвуковых волн, подобно тому, как они распространяются в организме человека. Также необходимо устройство для задания потока жидкости, имитирующей кровотоки. Чаще всего применяют обычный насос с крыльчаткой, но такой подход обеспечивает только турбулентный поток и имеется сложность добиться ламинарного потока. Применение перистальтического насоса позволяет добиться импульсного потока с хорошей повторяемостью, но в этом случае трудно изменить объем импульса потока, если возникает такая необходимость.

Для проведения экспериментов с доплеровским стереомонитором плода была разработана и реализована экспериментальная установка, моделирующая артериальный кровоток, с использованием тканеимитирующих материалов при измерении объемных скоростей потоков. При всей простоте конструкции, разработанная экспериментальная установка отличается от аналогичных фантомных установок возможностью изменения объема импульса при неизменной скорости потока симуляционной жидкости. Принцип действия установки основан на поочередной работе исполнительных механизмов, пережимающих эластичный шланг в двух разных точках, между которыми образуется участок с избыточным давлением жидкости, нагнетаемым насосом.

В процессе разработки экспериментальной установки для моделирования артериального кровотока было применено 3D-моделирование в среде SolidWorks и модуле FlowSimulation. В данной среде был смоделирован поток жидкости по шлангам с разными диаметрами и переходами с одного диаметра на другой. Были найдены режимы работы и конфигурации, при которых поток становится турбулентным и предложены решения для устранения этого эффекта.

Таким образом, разработанная экспериментальная установка для моделирования артериального кровотока позволяет исследовать возможности различных УЗ-фетальных доплеров, в том числе разработанного доплерометрического стереомонитора плода, применение которого в системе телемедицинского сопровождения беременности позволит проводить диагностику на ранних сроках, тем самым повысит ее эффективность.

Список литературы

1. А.П. Казанцев, Сенин А.А., Пономарёва Ю.Н., Мочалова М.Н., Прошин Е.М. Подход к созданию массовой телемедицинской технологии домашнего мониторинга плода. // Биомедицинская радиоэлектроника». – 2015. – №5. – С. 37-45.
2. Kazantsev A., Ponomareva J., Kazantsev P., et al. Development of e-health network for in-home pregnancy surveillance based on artificial intelligence. // Proc. of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2012), 2-7 Jan 2012, Hong Kong and Shenzhen, China. – P. 82-84.
3. Kazantsev A., Ponomareva J., Kazantsev P. Development and validation of an AI-enabled mHealth technology for in-home pregnancy management. // Proc. of the 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering. Apr. 26-28, 2014, Sapporo City, Hokkaido, Japan. – Beijing: IEEE, 2014. – P. 927-931.
4. Kazantsev A.P.; Senin A.A.; Ponomareva J.N.; Mochalova M.N. An mHealth approach to remote fetal monitoring. // Proc. of the Int. Healthcare Innovation Conference (HIC), 8-10 Oct. 2014, Seattle, WA, USA. – IEEE, 2014, P.239-242.
5. Медведева Д.А., Казанцев А.П., Пономарева Ю.Н, Чацкис Е.М, Сенин А.А., Минаев Н.С, “Имитационная модель доплерометрии внутрисердечного кровотока плода”, Биомедицинская радиоэлектроника №6, 2016.
6. Применение ультразвука в медицине: физические основы. Под ред. Хилла К. – М.: Мир, 2009.
7. J. F. Kenny, T. Plappert, P. Doubilet, D. H. Saltzman, M. Cartier, L. Zollars, G. F. Leatherman and M. G. St. John Sutton, “Changes in intracardiac blood flow velocities and right and left ventricular stroke volumes with gestational age in the normal human fetus: a prospective Doppler echocardiographic study,” in *Circulation*, vol. 74:1208-1216, Dallas, TX, 1986.
8. S. Jantarasaengaram, K. Vairojanavong, “Eleven fetal echocardiographic planes using 4-dimensional ultrasound with spatio-temporal image correlation (STIC): a logical approach to fetal heart volume analysis,” in *Cardiovascular Ultrasound*, 2010.
9. R. Parasuraman, C. Osmond, D. T. Howe, “Gestation-specific reference intervals for fetal cardiac Doppler indices from 12 to 40 weeks of gestation,” in *Journal of Obstetrics and Gynecology*, 3, pp. 97-104, Southhampton, UK, 2013.
10. S. Luewan, Y. Yanase, F. Tongprasert, K. Srisupundit and T. Tongsong, “Fetal cardiac dimensions at 14–40 weeks gestation obtained using cardio-STIC-M,” in *Ultrasound Obstet Gynecology*; 37: pp. 416–422, 2011.
11. G. K. Sharland and L. D. Allan, “Normal fetal cardiac measurements derived by cross-sectional echocardiography,” in *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2, pp. 175-181, 1992.
12. M. Ben-Ami, D. Peleg, S. Haddad and Y. Perlitz, “Normal cardiac flow velocities at 14-16 weeks of gestation measured by transvaginal ultrasound,” in *Ultrasound Obstet Gynecol*; 19: pp. 47-50, 2002
13. G. Mielke and N. Benda, “Blood flow velocity waveforms of the fetal pulmonary artery and the ductus arteriosus: reference ranges from 13 weeks to term,” in *Ultrasound Obstet Gynecol*; 15: pp. 213-218, 2000.
14. Doppler ultrasound. Ed. By D.Evans, W.N.McDicken. – New York, 1985. Z. Stankovic, B. D. Allen, J. Garcia, K. B. Jarvis, M. Mark, “4D flow imaging with MRI,” in *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*; 4(2) : pp. 173-192, 2014.
15. R. J. van der Geest, P. Garg, “Advanced analysis techniques for intra-cardiac flow evaluation from 4D flow MRI,” in *Current Radiology Reports*, 4: 38, 2016.

16. J. Töger, M. Carlsson, G. Söderlind, H. Arheden and E. Heiberg, "Volume Tracking: A new method for quantitative assessment and visualization of intracardiac blood flow from three-dimensional, timeresolved, three-component magnetic resonance velocity mapping," in *BMC Medical Imaging*, 11: 10, 2011.
17. E. Heiberg, U. Pahlm-Webb, S. Agarwa, E. Bergvall, H. Fransson, K. Steding-Ehrenborg, M. Carlsson and H. Arheden, "Longitudinal strain from velocity encoded cardiovascular magnetic resonance: a validation study," in *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 15: 15, 2013
18. J. Togger, "Measurement and analysis of intracardiac blood flow and vortex ring formation," *Doctoral Theses in Mathematical Sciences : 5* , Lund, Sweden, 2014.
19. J. Eriksson, "Quantification of 4D Left Ventricular Blood Flow in Health and Disease," *Doctoral Theses, Division of Cardiovascular Medicine Department of Medical and Health Sciences, Linköping University, Linköping, Sweden*, 2013.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ БЕРЕМЕННОСТИ

Минаев И.С.^{1,2}, Казанцев А.П.^{1,2}, к.т.н., с.н.с., зав. лаб.

Сенин А.А.^{1,2}, к.т.н., н.с., Минаев Н.С.^{1,2}, Субботина Л.М.^{1,2}

*1 – ФГБУН Институт биологического приборостроения с опытным производством РАН
лаборатория биомедицинских разработок (№16), <http://ibp-ran.ru>*

Россия, 142290, Московская Область, г. Пущино, ул. Институтская, д.7, телефон +7(495) 624-5749

2 – ФГБОУ ВО Пуцинский государственный естественно-научный институт

SYSTEM DEVELOPMENT FOR REMOTE PREGNANCY SURVEILANCE

Kazantsev A.P.^{1,2}, Minaev I.S.^{1,2}, Senin A.A.^{1,2}, Minaev N.S.^{1,2}, Subbotina L.M.^{1,2}

Annotation

The work is aimed at the improvement of fetal monitoring process and ultimately to reduction of antenatal morbidity and mortality. A scalable e-Health system for monitoring of the fetal status is proposed. A method for minimization of the fetal status uncertainty is developed. A committee neural network for fetal intracardiac blood flow profile recognition is proposed. A method that minimizes the uncertainty of the fetal state evaluation is proposed. The neural network for recognition of fetal intracardiac blood flow profiles is considered. An architecture example of a local computer network to operate deep neural networks (Deep Neural Networks) is considered.

Keywords

Telemedicine, biomedical ultrasonics, Doppler measurement, obstetrics, fetal monitoring, artificial intelligence.

Аннотация

Работа направлена на повышение качества мониторинга плода, и в конечном итоге -- на сокращение антенатальной заболеваемости и смертности. Предложена масштабируемая телемедицинская информационная система для мониторинга состояния внутриутробного плода. Разработан метод минимизации неопределенности оценки состояния внутриутробного плода. Синтезирована кооперативная нейронная сеть для распознавания профилей объемного внутриутробного кровотока сердца плода. Рассмотрен пример построения локальной вычислительной сети для работы с глубокими нейронными сетями (Deep Neural Networks).

Ключевые слова

Телемедицина, ультразвуковой монитор плода, доплерография, доплерометрия, акушерство и гинекология, мониторинг плода, искусственный интеллект.

Разработана телемедицинская информационная система дистанционного мониторинга состояния внутриутробного плода. Система имеет модульную архитектуру и может быть развернута как на одном персональном компьютере, так и в компьютерной сети. Масштабируемость системы предусматривает ее применение для массового сопровождения беременности.

Система также предназначена для использования в научных исследованиях. Информационная система позволяет накапливать структурированные данные, необходимые для следующих этапов исследования, поиска корреляций в сигналах методами машинного обучения и вычислительного интеллекта. Собираемые в такой системе большие массивы обезличенных данных (Big Data), обеспечивают поиск новых диагностических признаков, повышают качество мониторинга и позволяют создавать новые методы исследования с применением алгоритмы вычислительного интеллекта (Deep Learning). Для проверки новых научных гипотез реализована возможность добавления разнообразных прикладных программ простой регистрацией их в системе.

Для добавления новых прикладных программ разработан программный интерфейс (API). При этом указывается адрес программы и декларируется структура данных.

Разработан метод минимизации неопределенности оценки состояния внутриутробного плода на основе покоординатного спуска Гаусса-Зейделя. Полнота и качество информации об оценке зависит от качества сигнала, который можно контролировать с помощью верхнего и нижнего порогов энтропии и времени усреднения, которое необходимо для срабатывания порогов. Эти три параметра изменяются с уменьшаемым шагом, минимизируя неопределенность оценки. Уменьшаемый шаг каждого параметра позволяет уменьшать неопределенность за счёт отсеивания большего числа шумовых помех, а также увеличивать скорость расчёта оценки. Таким образом, устанавливается точное значение оценки состояния внутриутробного плода, вычисленное на участках с малым уровнем энтропии частоты сердечных сокращений плода. В сравнении с аналогичным методом без минимизации, неопределенность уменьшается почти в 2 раза. Уменьшение неопределенности увеличивает надежность медицинского заключения.

Выполнены программная реализация метода и развертывание программы в системе телемедицинского сопровождения беременности.

В развитие применяемых в системе методов мониторинга, для дистанционной оценки состояния плода во II триместре беременности разработана кооперативная нейронная сеть, объединяющая 100 идентичных глубоких нейронных сетей, распознающих в совокупности 2000 классов профилей внутрисердечного кровотока плода, получаемых доплеровским ультразвуковым зондированием с последующим чирплет-преобразованием сигнала зонда, несущего информацию о скоростях кровотока. Таким образом осуществляется идентификация двух тысяч дискретных ракурсов положения широко-апертурного зонда в окрестности сердца с шагом 6^0 по каждой из двух угловых координат трехмерной полярной системы координат с началом в условном центре сердца плода при радиальной оси, коллинеарной оси зонда. Обучаемая методом обратного распространения ошибки, каждая из ста глубоких сетей включает в себя пять свёрточных слоев и два полно-связных классификационных слоя.

Для задач искусственного интеллекта (Artificial Intelligence) и машинного обучения (Machine Learning), в частности глубокого обучения (Deep learning) в лаборатории была развернута локальная вычислительная сеть с сервером для расчетов, в комплектацию которого входит высокопроизводительный графический адаптер для параллельных вычислений (GeForce GTX 1060 6GB), большой объем оперативной памяти (32GB) и быстродействующий SSD-накопитель. Сервер работает под операционной системой Ubuntu Server 16.04 LTS, а для работы с глубокими нейронными сетями (Deep Neural Networks) установлены платформа CUDA и платформа Caffe. Применение такой архитектуры позволило существенно сократить время обучения нейронных сетей. Обучение разработанной нейронной сети выполнялось в 3-х вариантах системы:

- на центральном процессоре ноутбука (Intel Celeron CPU 2920 1,86 GHz) 20 суток (100%);
- на графическом процессоре ноутбука (NVIDIA GeForce 940M) 13 часов (2,7%);
- на графическом процессоре сервера (NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB) 1 час 54 мин. (0,4%).

Телемедицинская информационная система дистанционного мониторинга состояния внутриутробного плода благодаря полной автоматизации процесса мониторинга существенно повышает скорость обработки наблюдений и снижает стоимость медицинских услуг. Главным достоинством системы является повышение производительности труда врача, возможность оперативного наблюдения за состоянием большого числа беременных. Наличие базы диагностических данных, собранных за весь срок наблюдения, позволяет повысить медицинскую эффективность лечебного процесса. Благодаря высокой точности и информативности, которые еще можно повышать, а также в силу низкой себестоимости - телемедицина становится доступной любому учреждению здравоохранения и привлекательной для страховых компаний, а наша разработка может быть коммерциализирована.

Список литературы

1. А.П. Казанцев, Сенин А.А., Пономарёва Ю.Н., Мочалова М.Н., Прошин Е.М. Подход к созданию массовой телемедицинской технологии домашнего мониторинга плода.// «Биомедицинская радиоэлектроника». – 2015. №5. С. 37-45.
2. Kazantsev A., Ponomareva J., Kazantsev P., et al. Development of e-health network for in-home pregnancy surveillance based on artificial intelligence. // Proc. of the IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI 2012), 2-7 Jan 2012, Hong Kong and Shenzhen, China, pp. 82-84.
3. Kazantsev A., Ponomareva J., Kazantsev P. Development and validation of an AI-enabled mHealth technology for in-home pregnancy management. // Proc. of the 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering. Apr. 26-28, 2014, Sapporo City, Hokkaido, Japan. Beijing: IEEE, 2014, pp. 927-931.
4. Kazantsev A.P.; Senin A.A.; Ponomareva J.N.; Mochalova M.N. An mHealth approach to remote fetal monitoring. // Proc. of the Int. Healthcare Innovation Conference (HIC), 8-10 Oct. 2014, Seattle, WA, USA. – IEEE, 2014, pp.239-242.
5. Медведева Д.А., Казанцев А.П., Пономарева Ю.Н., Чацкис Е.М., Сенин А.А., Минаев Н.С, “Имитационная модель доплерометрии внутрисердечного кровотока плода”, «Биомедицинская радиоэлектроника» №6, 2016.
6. J. F. Kenny, T. Plappert, P. Doubilet, D. H. Saltzman, M. Cartier, L. Zollars, G. F. Leatherman and M. G. St. John Sutton, “Changes in intracardiac blood flow velocities and right and left ventricular stroke volumes with gestational age in the normal human fetus: a prospective Doppler echocardiographic study,” in *Circulation*, vol. 74:1208-1216, Dallas, TX, 1986.
7. S. Jantarasaengaram, K. Vairojanavong, “Eleven fetal echocardiographic planes using 4-dimensional ultrasound with spatio-temporal image correlation (STIC): a logical approach to fetal heart volume analysis,” in *Cardiovascular Ultrasound*, 2010.
8. R. Parasuraman, C. Osmond, D. T. Howe, “Gestation-specific reference intervals for fetal cardiac Doppler indices from 12 to 40 weeks of gestation,” in *Journal of Obstetrics and Gynecology*, 3, pp. 97-104, Southhampton, UK, 2013.
9. S. Luewan, Y. Yanase, F. Tongprasert, K. Srisupundit and T. Tongsong, “Fetal cardiac dimensions at 14–40 weeks gestation obtained using cardio-STIC-M,” in *Ultrasound Obstet Gynecology*; 37: pp. 416–422, 2011.
10. G. K. Sharland and L. D. Allan, “Normal fetal cardiac measurements derived by cross-sectional echocardiography,” in *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2, pp. 175-181, 1992.
11. M. Ben-Ami, D. Peleg, S. Haddad and Y. Perlitz, “Normal cardiac flow velocities at 14-16 weeks of gestation measured by transvaginal ultrasound,” in *Ultrasound Obstet Gynecol*; 19: pp. 47-50, 2002

12. G. Mielke and N. Benda, "Blood flow velocity waveforms of the fetal pulmonary artery and the ductus arteriosus: reference ranges from 13 weeks to term," in *Ultrasound Obstet Gynecol*; 15: pp. 213-218, 2000.
13. K. L. Reed, E. J. Meijboom, D. J. Sahn, S. A. Scagnelli, L. M. Valdes-Cruz and L. Shenker, "Cardiac Doppler flow velocities in human fetuses," in *Circulation*; 73: pp.41-46, 1986.
14. Z. Stankovic, B. D. Allen, J. Garcia, K. B. Jarvis, M. Mark, "4D flow imaging with MRI," in *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*; 4(2) : pp. 173-192, 2014.
15. R. J. van der Geest, P. Garg , "Advanced analysis techniques for intra-cardiac flow evaluation from 4D flow MRI," in *Current Radiology Reports*, 4: 38, 2016.
16. J. Töger, M. Carlsson, G. Söderlind, H. Arheden and E. Heiberg, "Volume Tracking: A new method for quantitative assessment and visualization of intracardiac blood flow from three-dimensional, timeresolved, three-component magnetic resonance velocity mapping," in *BMC Medical Imaging*, 11: 10, 2011.
17. E. Heiberg, U. Pahlm-Webb, S. Agarwa, E. Bergvall, H. Fransson, K. Steding-Ehrenborg, M. Carlsson and H. Arheden, "Longitudinal strain from velocity encoded cardiovascular magnetic resonance: a validation study," in *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, 15: 15, 2013
18. J. Togger, "Measurement and analysis of intracardiac blood flow and vortex ring formation," *Doctoral Theses in Mathematical Sciences* : 5 , Lund, Sweden, 2014.
19. J. Eriksson, "Quantification of 4D Left Ventricular Blood Flow in Health and Disease," *Doctoral Theses*, Division of Cardiovascular Medicine Department of Medical and Health Sciences, Linköping University, Linköping, Sweden, 2013.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ В МИТОХОНДРИЯХ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК

Моисеева С. П.¹, к.т.н., с.н.с., e-mail: spmoiseewa@yandex.ru, тел: +7 4967 31 89 40
Котельников Г. В.¹, к.т.н., зав. лаб., e-mail: gvkotelnikov@yandex.ru, тел: +7 4967 31 89 40
Грabelных О.И.², д.б.н., гл.н.с., и.о. рук. лаб., e-mail: grolga@sifibr.irk.ru, тел: +7 3952 42 46 59
Побежимова Т. П.², д.б.н., гл.н.с., e-mail: pobezhimova@sifibr.irk.ru, тел: +7 3952 42 46 59
Войников В. К.², д.б.н., науч. рук., e-mail: vvk@sifibr.irk.ru, тел: +7 3952 42 67 21
 1 – ИБП РАН www.ibp-ran.ru, 142290 г. Пушкино Московская область, ул. Институтская, д.7
 2 – СИФИБР СО РАН www.sifibr.irk.ru, 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.132, а/я 317

CALORIMETRIC MEASUREMENTS OF HEAT PRODUCTION IN PLANT CELL MITOCHONDRIA

Moiseyeva S.P., Kotelnikov G.V., Grabelnykh O.I., Pobezhimova T.P., Voinikov V.K.

Annotation

Measurements of heat production in the plant cell mitochondria were performed on the experimental sample of the nanocalorimeter. The addition was carried out without delay and with a delay of 1.5 hours at a temperature of 24 °C. The results of measurements of heat production in freshly isolated mitochondria of winter wheat in a suspension medium showed a 6-fold decrease in heat production in the case of a delayed experiment, which confirmed the need for measurements without delay in time to ensure precise measurements.

Keywords

Nanocalorimeter, precision measurements, heat production, plant mitochondria.

Аннотация

На экспериментальном образце нанокалориметра выполнены измерения теплопродукции митохондрий растительных клеток. Введение добавки проводилось без задержки во времени и с задержкой в течение 1.5 часов при температуре 24 град. С. Результаты измерений теплопродукции в свежeweделенных митохондриях озимой пшеницы в среде суспендирования показали снижение теплопродукции в 6 раз в случае эксперимента с задержкой, что подтвердило необходимость проведения измерений без задержки во времени для обеспечения прецизионных измерений.

Ключевые слова

Нанокалориметр, прецизионные измерения, теплопродукции, растительные митохондрии.

Введение

Впервые калориметрическим методом получены данные о тепловой энергии при дыхании митохондрий печени крыс японским ученым *Nakamura T. и др.* в 1978 году [1].

В ИБП РАН проводятся на создаваемом нанокалориметре измерения теплопродукции митохондрий растительных клеток по программе биотехнических испытаний нанокалориметра в условиях максимально приближенных к существующим современным научным задачам растениеводства по поиску веществ, снижающих неблагоприятное воздействие природной среды.

В публикациях последних лет о калориметрических исследованиях различных митохондрий нет данных о использовании исследовательских образцов митохондрий, хранившихся на льду и помещавшихся в измерительный объем калориметрических камер без задержки во времени. Тем не менее, обеспечение указанных условий крайне важно для исследований короткоживущих объектов. Современные аналоги, например, описанные в работах [2, 3], Omega [4], VP-ITC, iTC200, Auto iTC200 (MicroCal, USA), не предназначены для измерения тепловой мощности в процессах трансформации и диссипации энергии в митохондриях из-за разобщения дыхания и фосфорилирования митохондрий в процессе длительного, более 10 минут, выравнивания температуры добавки в них до температуры исследуемого образца.

В нанокалориметре данная задача решается на основе зарекомендовавших себя технических решений, реализованных в первом адиабатическом сканирующем микрокалориметре ДАСМ-1, и теоретических исследований, сделанных при разработке капиллярного титрационного калориметра КТД-2156 [5, 6]. Впервые тепловые шунты применены для исключения влияния тепловых помех из внешней среды на измерительный сигнал. Данное решение обеспечило высокую чувствительность микрокалориметра ДАСМ-1.

В работе [7] предложена расчетная формула коэффициента влияния теплового эффекта в зоне шунта на регистрацию теплового эффекта в измерительном объеме калориметрической камеры. Данная зависимость обеспечивает расчет геометрии теплового шунта. Через шунт все паразитные тепловые потоки рассеиваются в термостатирующей оболочке камер, не попадая в измерительный объем калориметра.

В работе [6] представлена расчетная формула для определения максимальной скорости перемещения иглы с титрантом через активный шунт заданной геометрии. При скоростях равной и меньше данной скорости температура иглы с титрантом становится равной температуре теплового шунта до выхода из него.

В работе [5] предложено новое решение равномерного распределения вещества добавки по всему объему исследуемого образца. Перечисленные работы являются теоретической основой создаваемого нанокалориметра.

Результаты теоретических исследований учтены в настоящее время при проведении разработки нанокалориметра, что обеспечивает выполнение требований к нанокалориметру по введению в измерительный объем калориметрических камер добавки, хранившейся на льду, без задержки во времени, и выделению измерительного объема калориметрических камер.

В ИБП РАН накоплен многолетний опыт в создании и выпуске высокочувствительных калориметров типов ДСМ и ДАСМ. Выпуск экспериментальных образцов нанокалориметра станет достойным продолжением создания и выпуска указанных приборов, успешно работающих до настоящего времени в отечественных и зарубежных научных организациях.

Экспериментальная часть

Нанокалориметр обеспечивает точные измерения теплопродукции при исследованиях короткоживущих митохондрий растительных клеток, добавка которых в измерительный объем калориметрических камер вводится практически без задержки во времени, сразу после установки дозирующего узла в прибор.

Для приготовления добавки митохондрии выделяли из побегов 3-х дневных этиолированных проростков озимой пшеницы, выращенных при температуре 24 град. С, методом дифференциального центрифугирования по стандартной методике [8]. Среда выделения содержала 300 mM сахарозы, 40 mM MOPS-KOH (pH 7.4), 10 mM KCl, 2 mM EDTA, 1 mM MgCl₂, 0.5% цистеин и 0.1% БСА (бычий сывороточный альбумин). Рабочая и эталонная калориметрические камеры с измерительным объемом 156 мкл, а также эталонный дозирующий шприц заполнялись следующим составом: среда инкубации (18 mM KН₂PO₄, 125 mM KCl, 5 mM EDTA, 1 mM MgCl₂, pH 7.4) и субстрат окисления (10 mM малаат; 10 mM глутамат). Для заполнения рабочего дозирующего шприца использовалась суспензия свежеработанных митохондрий озимой пшеницы в среде ресуспендирования (300 mM сахарозы, 40 mM MOPS-KOH, 10 mM KCl, 5 mM EDTA, 1 mM MgCl₂, pH 7.4). Эксперимент проводился при температуре калориметрических камер 24 град. С.

Добавка объемом 10 мкл со скоростью 1 мм/с вводилась в измерительный объем калориметрических камер при опускании дозирующих игл на 50 мм, т.е. на всю длину измерительного объема.

На рис.1 приведены кривые изменения величины теплопродукции митохондрий озимой пшеницы во времени. На

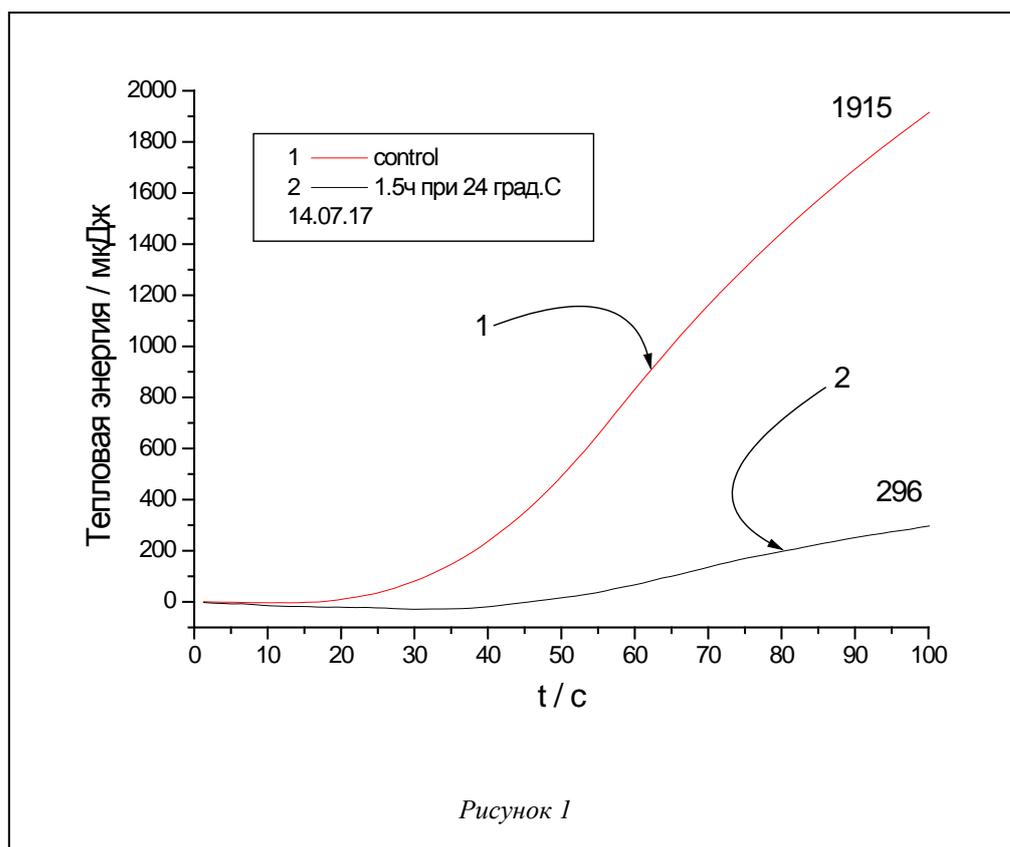


Рисунок 1

кривой 1 показан результат контрольного эксперимента, при котором добавка, хранившаяся на льду, введена в течение 10-20 сек в измерительный объем калориметрических камер. На кривой 2 показан результат эксперимента, в котором добавка, хранившаяся на льду, перед введением в измерительный объем калориметрических камер, находилась 1.5 часа при температуре 24 град. С. Полученные результаты показывают, что через 1.5 часа величина измеренной теплопродукции для добавки, находившейся в течение 1.5 часов при температуре 24 град. С снизилась более, чем в 6 раз.

Эти эксперименты достаточно наглядно подтверждают, что для получения точных измерений теплопродукции в митохондриях растительных клеток должны обеспечиваться условия введения охлажденной добавки в измерительный объем калориметрических камер без задержки во времени.

Следует отметить, что по результатам испытаний экспериментального образца нанокалориметра планируется при выпуске таких приборов в ИБП РАН расширить возможности нанокалориметра за счет реализации в нем режима управляемого охлаждения. Будет предусмотрен сканирующий режим охлаждения до температуры, близкой к нулю. Это позволит непрерывно измерять изменение теплопродукции и определять температуру, при которой теплопродукция будет достигать нулевого значения.

В ИБП РАН накоплен многолетний опыт в создании и выпуске высокочувствительных калориметров типов ДСМ и ДАСМ. Выпуск экспериментальных образцов нанокалориметра станет достойным продолжением создания и выпуска указанных приборов, успешно работающих до настоящего времени в отечественных и зарубежных научных организациях.

Заключение

В ИБП РАН проводятся на создаваемом нанокалориметре измерения теплопродукции митохондрий растительных клеток по программе биотехнических испытаний нанокалориметра в условиях максимально приближенных к существующим современным научным задачам растениеводства для исследований термогенеза растений при действии экстремальных факторов природной среды и поиску механизмов и соединений, снижающих их неблагоприятное воздействие.

Основные конструктивные и технологические характеристики нанокалориметра обеспечивают прецизионные измерения теплопродукции при работе с короткоживущими объектами. Новые технические решения внедрены в нанокалориметр и отражены в конструкторской документации ЮФВК.408827.001.

Литература

1. Nakamura T., Matsuoka I. Calorimetric studies of heat of respiration of mitochondria // *Journal of Biochemistry*. 1978. Vol. 84, no. 1. P. 39–46.
2. Velázquez-Campoy A., López-Mayorga O., Cabrerizo-Vilchez M.A. Development of an isothermal titration microcalorimetric system with digital control and dynamic power Peltier compensation. I. Description and basic performance // *Review of Scientific Instruments*. 2000. Vol. 71, no. 4. P. 1824–1831.
3. Garcia-Fuentes L., Baron C., Mayorga O.L. Influence of dynamic power compensation in an isothermal titration microcalorimeter // *Analytical Chemistry*. 1998. Vol. 70, no. 21. P. 4615–4623.
4. Wiseman T., Williston S., Brandts J.F., Lin L.-N. Rapid measurement of binding constants and heats of binding using a new titration calorimeter // *Analytical Biochemistry*. 1989. Vol. 179, no. 1. P. 131–137.
5. Kotelnikov G.V., Moiseyeva S.P., Mezhburd E.V., Krayev V.P. New isothermal titration calorimeter for investigations on very small samples. Theoretical and experimental studies // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002. Vol. 68, no. 3. P. 803–818.
6. Kotelnikov G.V., Moiseyeva S.P., Mezhburd E.V., Maevsky E.I., Grishina E.V. Studying dispersoid systems method of introducing an injecting needle into calorimetric chamber of capillary titration calorimeter // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. Vol. 81, no. 2. P. 255–259.12.
7. Kotelnikov G.V., Moiseyeva S.P., Mezhburd E.V., Krayev V.P. Method of separating the sensitive volume of calorimetric cells in a differential titration calorimeter // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2000. Vol. 62, no. 1. P. 39–50.
8. Побежимова Т.П., Колесниченко А.В., Грабельных О.И. Методы изучения митохондрий растений. Полярография и электрофорез / М.: ООО «НПК Промэкспобезопасность», 2004. – 98 с.

**ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЕ РАЗРАБОТКИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА УДМФИЦ УРО РАН**

*Молин С.М., к.т.н., руководитель Физико-технического института
УдмФИЦ УрО РАН, ведущий научный сотрудник*

*ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, <http://udman.ru/>, 426067, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т.Барамзиной, д. 34
тел. (3412)508-200, факс(3412)507-959, e-mail: udnc@udman.ru*

INSTRUMENT DEVELOPMENT OF PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE OF UDMFRC UB RAS

Molin S.M.

Annotation

The report presents one of the aspects of the activity of the academic institute related to the implementation of the engineering potential of the institute's full-time employees both for solving current internal research tasks and for meeting the pressing needs of the market for instrument-making products.

Keywords

Engineering potential, research tasks, instrumentation products.

Аннотация

В докладе представлен один из аспектов деятельности академического института, связанный с реализацией инженерного потенциала штатных работников института как для решения текущих внутренних научно-исследовательских задач, так и для удовлетворения насущных потребностей рынка приборостроительной продукции.

Ключевые слова

Инженерный потенциал, научно-исследовательские задачи, приборостроительная продукция.

Введение

В Физико-техническом институте Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН (г.Ижевск) приборостроительная инженерная деятельность достаточно широко развита и всемерно поддерживается и в настоящее время, поскольку администрация центра считает эту деятельность весьма важной не только как обеспечивающую научную деятельность, но и как имеющую перспективу для расширения внебюджетной деятельности и привлечения в центр дополнительных финансовых ресурсов. Приборы, разработанные и созданные инженерами ФТИ, нашли признание и достойно оценены как у нас в стране, так и за её пределами. Удмуртский федеральный исследовательский центр, как правопреемник входящих в него институтов, планирует всемерно развивать приборостроительный аспект деятельности, повышать уровень разработок и активнее взаимодействовать в этих вопросах с предприятиями реального сектора экономики.

Аспекты приборостроительной деятельности ФТИ УдмФИЦ УрО РАН

Приборостроительная деятельность в Физико-техническом институте УдмФИЦ УрО РАН на начальной стадии функционирования содержала большой сегмент чисто научного приборостроения по созданию уникальных приборов для научно-исследовательской деятельности – магнитные и электронные спектрометры. В последние 20 лет всё больше работ выполняется в части обеспечения потребностей предприятий в решении задач неразрушающего контроля продукции, обеспечения её испытаний и мониторинга функционирования. Кроме того, начиная с 2012 года, идут работы в области медицинского приборостроения и обеспечения экологического мониторинга.

Аппаратура для высокоинтенсивных динамических испытаний

Прежде всего, необходимо отметить линейку высоконадёжных ударостойких приборов для обеспечения высокоинтенсивных динамических испытаний изделий специального назначения [1] в Российском федеральном ядерном центре – ВНИИ экспериментальной физики (г.Саров) и ВНИИ технической физики (г.Снежинск): «СИГМА», «ПАРУС», «РИСК», «АИДА», «ИСКРА», «ПИК». Приборы разрабатывались в течение последних 20 лет в тесном сотрудничестве с сотрудниками ВНИИ экспериментальной физики (г.Саров) и обеспечивают высокоточные измерения процессов в элементах конструкции при испытаниях. По совокупности параметров – ударная стойкость, метрологические параметры, ремонтпригодность – приборы не имеют конкурентов ни в России, ни за её пределами. В разработке участвовали не только инженеры, но и научные сотрудники института. За эту разработку в период с 2010 по 2014гг. участники работы трижды были удостоены стипендии Президента России за вклад в создание прорывных технологий при создании новых образцов специальной техники. В настоящее время идёт работа над новым поколением приборов этого класса, которые в ближайшие два года позволят вывести процедуру высокоинтенсивных динамических испытаний изделий на новый качественный уровень. Вся аппаратура сертифицирована Госстандартом и внесена в Госреестр средств измерений.



Рисунок 1 – Линейка приборов для обеспечения высокоинтенсивных динамических испытаний.

Аппаратура для вибрационной диагностики подвижного состава железнодорожного транспорта

Следующим примером является создание линейки приборов для оперативной вибродиагностики элементов подвижного состава Российских железных дорог [2,3]. Линейка представлена усилителями заряда для датчиков вибрации («ВИД» и «ОСА») и сборщиками данных серии «ПВС». Эти приборы явились ответом академического института на конкретные потребности рынка в импортозамещении, и они были созданы в тесном взаимодействии с инженерами ОАО «РЖД». Благодаря высокой квалификации наших инженеров удалось глубоко проанализировать возникшие потребности, выявить непроработанные вопросы обеспечения качественных измерений и в условиях жесточайшей конкуренции на рынке усилителей заряда найти незанятую нишу и создать конкурентоспособные образцы приборов, выдержавшие испытание временем. Всего в различных вагонных и локомотивных депо нашей страны и стран ближнего зарубежья (Украина, Белоруссия, Казахстан) до сегодняшнего дня работает около 1000 приборов разработки ФТИ УрО РАН. Аппаратура сертифицирована Госстандартом и внесена в Госреестр средств измерений. Прототип этих приборов, созданный ещё в 1997 году, получил серебряную медаль на 46-й Выставке изобретений в Брюсселе «Эврика-97». Сейчас разработан и испытан в условиях локомотивного депо в г.Н.Новгород новый образец прибора этого назначения.



Рисунок 2 – Линейка приборов для оперативной вибродиагностики.

Приборы для неразрушающего магнитного контроля изделий

Не оставляют своим вниманием инженеры института и текущие потребности научных исследований, ведущихся в нашем институте в рамках государственного задания. Ярким примером такой деятельности является создание аппаратно-программного комплекса для обеспечения измерения магнитных параметров образцов ферромагнитного материала в режиме сканирования [4,5]. При создании этой аппаратуры были решены несколько принципиальных задач, что позволило научным сотрудникам провести цикл важных исследований и опубликовать результаты в ведущих научных журналах. Кроме того, предложенный инженерами подход оказалось возможным масштабировать в перспективную технологию неразрушающего магнитного контроля структуры и свойств ферромагнитных материалов, которая может быть использована в реальном секторе экономики. В частности, установлены контакты с ЗАО «Ультракraft» (г.Череповец), которое заинтересовалось возможностью создания на предложенных принципах устройств для встраивания в конкретный технологический цикл изготовления металлического проката для контроля однородности его свойств. Европейские и азиатские коллеги также высоко оценили предложенный подход, присудив Золотую медаль 41-го Международного салона изобретений (Женева, Швейцария, 10-14 апреля 2013г.) и Почётный диплом 5-й Харбинской международной выставки научно-технических достижений (Харбин, КНР, 29.06 – 04.07.2014г.). Сегодня разработка продолжается как в направлении обеспечения фундаментальных научных исследований, так и в направлении создания новой технологии неразрушающего контроля.



Рисунок 3 – Сканирующий измеритель магнитных параметров.

Медицинское направление приборостроительных разработок

Интересным объектом приложения инженерных талантов сотрудников ФТИ УдмФИЦ УрО РАН стало в последние годы медицинское направление. В этой области на основе активного взаимодействия с практикующими хирургами разработаны принципы и изготовлен макетный образец устройства для неинвазивной анулопластики клапанов сердца [6,7]. По отзывам ведущих кардиохирургов страны (Л.А.Бокерия, НЦССХ им. А.Н.Бакулева) это направление совершенствования хирургических процедур имеет мировую новизну и перспективу в части создания новых высокоэффективных кардиохирургических технологий, что может быть существенным вкладом в обеспечение снижения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний трудоспособного населения.

Заключение

Представленные в докладе результаты, на взгляд автора, являются примером высокоэффективной инженерной деятельности в области приборостроения и иллюстрируют потенциал корпуса инженеров академических институтов в ускорении научно-технологического развития России. Стоящие перед научно-исследовательскими организациями ФАНО России задачи, определённые в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, не могут быть эффективно решены без активного участия инженерного корпуса академических организаций, поэтому всемерное укрепление инженерного состава, обеспечение развития набора его компетенций, особенно в контексте постепенного перехода к цифровой экономике и реализации Национальной технологической инициативы, являются важнейшей задачей исследовательских центров.

Литература

16. Молин С.М. Комплекс аппаратуры «Сигма-Парус» для регистрации ударных сигналов /Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. и др.// Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 9. – С.54 – 58.
17. Молин С.М. Двухканальная система регистрации и обработки виброакустических и ударных сигналов ДАРС / Молин С.М., Карелин А.В., Леньков С.В. и др. // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 1. – С. 46–48.
18. Молин С.М. Мобильная система вибродиагностики подвижного тягового состава железнодорожного транспорта / Молин С.М., Карелин А.В., Леньков С.В. и др. // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 11. – С. 15 – 21.
19. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В. // Патент РФ на полезную модель № 166304, 20.11.2016.
20. Захаров В.А. Магнитный структуроскоп / Молин С.М., Леньков С.В., Колясев В.А. // Патент РФ на полезную модель № 173646, 04.09.2017.
21. Захаров В.А. Устройство для анулопластики анатомических отверстий / Захаров В.А., Бокерия Л.А., Молин С.М. и др.// Патент РФ на полезную модель №153073, 27.06.2015.
22. Захаров В.А. Устройство для анулопластики клапана сердца /Захаров В.А., Бокерия Л.А., Молин С.М. и др.// Патент РФ на полезную модель №153549, 27.07.2015.

СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОМЕТЕОДАНЫХ В ТАГАНРОГСКОМ ЗАЛИВЕ И РЕКЕ ДОН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Московец А.Ю.¹, инженер-исследователь, alexazov@mail.ru

Валов Г.В.¹, канд. физ.-мат. наук, с.н.с, Начальник ИТО, valov@ssc-ras.ru

Висягина Е.В.², магистр 2-го года обучения, visyagina.lena2017@ya.ru

Юрасов Ю.И.¹, канд. тех. наук, докторант, и.о. зам. председателя по науке, yurasp@ya.ru

1 – Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, сайт: ssc-ras.ru

Ростов-на-Дону, пр. Чехова 41, 344006, Россия

2 – Институт наук о земле ЮФУ, сайт: sfedu.ru, Ростов-на-Дону, ул. П. Зорге 40, 344090, Россия

SYSTEMS FOR REGISTRATION OF HYDROMETHODEANS IN THE TAGANROG BAY AND DON RIVER FOR FUNDAMENTAL RESEARCH OF THEIR HYDROLOGICAL REGIME

Moskovets A.Yu.¹, Valov G.V.¹, Visyagina E.V.², Yurasiv Yu.I.¹

Annotation

The introduction of modern environmental monitoring systems, allows for the online acquisition, accumulation and analysis of a huge array of data. The obtained data from automatic hydrometeorological posts serve as a basis for constructing long-term and short-term models for forecasting the development of hazardous natural phenomena. A system of registration of hydrometeorological data for basic research of hydrological regimes of rivers and seas was created in the SSC RAS. The accumulated data of the sea hydrological post "Vzmorye" show the dynamics of the salinization processes of the Taganrog Gulf of the Azov Sea. Fix the penetration of salted water into the delta of the Don River.

Keywords

Hydrometeorological, dangerous phenomena, salinity, salinity, Automatic weather station.

Аннотация

Внедрение современных систем мониторинга состояния окружающей среды, позволяет в оперативном режиме получать, накапливать и анализировать огромный массив данных. Получаемые данные с автоматических гидрометеорологических постов служат основой встроений долгосрочных и кратко срочных моделей прогнозов развития опасных природных явлений. В ЮНЦ РАН создана система регистрации гидрометеоданных для проведения фундаментальных исследований гидрологических режимов рек и морей. Накопленные данные морского гидрологического поста «Взморье» показывают динамику процессов осолонения Таганрогского залива Азовского моря. Фиксируют проникновение осолоненных вод в дельту реки Дон.

Ключевые слова

Гидрометеоданные, опасные явления, соленость, осолонение, Автоматическая метеостанция.

Проведение экспедиционных мониторинговых исследований по изучению закономерностей функционирования наземных и водных экосистем юга России является приоритетной задачей в деятельности Южного научного центра РАН, поскольку только проведение масштабных по географии и комплексных по содержанию экспедиций позволяет собрать данные, с помощью которых может быть решен большой спектр задач, связанных с изучением различных процессов как природного, так и антропогенного характера, протекающих в исследуемых экосистемах для прогнозирования экстремальных нагонов и сгонов в Азово-Черноморском бассейне [1-4].

Для мониторингового исследования в ЮНЦ РАН были разработаны созданы стационарные метеорологические и гидрологические посты. Метеорологические наблюдения ведутся на научно-исследовательском стационаре (НЭС) «Маньч», научно-экспедиционной базе (НЭБ) «Кагальник», НЭС «Донской» и метеогидропосту (МГП) «Взморье». Используются метеостанции как российского, так и зарубежного производства, с автоматическим измерением показателей.

В комплекс исследований в том числе входят гидрологические, метеорологические, гидрохимические, гидробиологические, геоморфологические показатели.

Появление в начале XXI века новейший метеостанций с автоматическим измерением метеоданных значительно повысило точность расчетов и прогнозов, а также увеличилась частота регистраций метеоданных (дискретностью 10 мин, 1 час, 3 часа и т.д.). Примером такой модернизированной метеостанции является метеостанция LUFFT WS400-UMB (рис.1), установленная на НЭС «Донской», МГП «Взморье», НЭБ «Кагальник».

Относительная влажность измеряется посредством ёмкостного чувствительного элемента; применен точный чувствительный элемент NTC для измерения температуры воздуха, измерение осадков осуществляется посредством 24ГГц доплеровского радара, позволяющего регистрировать не только количество, но и тип осадков.

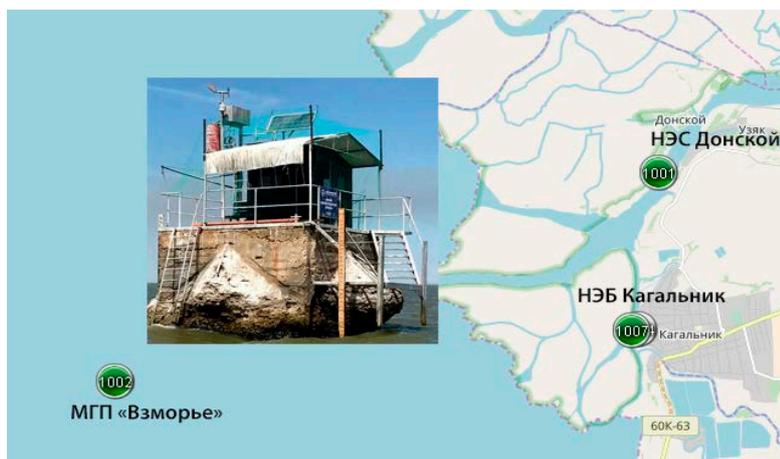


Рисунок 1 – Карта-схема сети ЮНЦ РАН гидрометеорологического мониторинга в устье реки Дон. На врезке представлен созданный в ЮНЦ РАН гидрометеопост «Взморье» находящийся в Таганрогском заливе.



Рисунок 2 – Автоматическая метеостанция LUFFT WS400-UMB.

Для изучения гидрологического режима устьевой области реки Дон, на причале НЭС «Донской» и на МГП «Взморье» установлены радарные уровнемеры УЛМ 31А1, производства Российской компании Лимако (рис.3). Принцип действия основан на измерении времени распространения радиоволны от антенны уровнемера до поверхности воды и обратно.

Полученные с использованием уровнемера НЭС «Донской» данные представлены на рис. 4 (<http://meteo.ssc-ras.ru/#>).

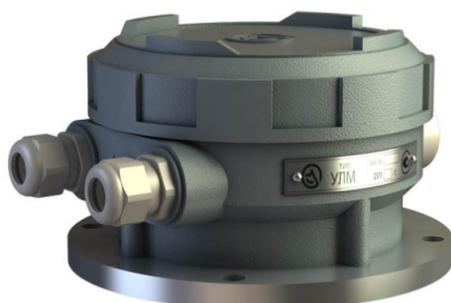


Рисунок 3 – Радарный уровнемер УЛМ 31А1.

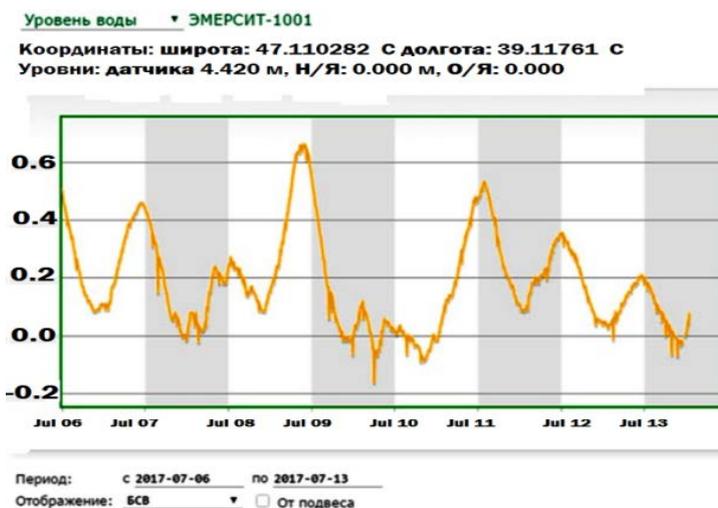


Рисунок 4 – График изменения уровня воды на НЭС «Донской».

Для определения солености воды применяют электронные приборы, позволяющие в непрерывном режиме определять электропроводность и температуру водной среды. На постах ЮНЦ РАН в качестве такого прибора использован солемер Солис СЛ15-10Т (рис.5). Он обладает необходимой точностью, допускает размещение датчиков в агрессивных средах (морская вода) и имеет стандартный интерфейс для обмена данными (RS-485 с протоколом Modbus RTU). Полученные с использованием указанного солемера на МГП «Взморье» данные представлены на рис.6, 7 (<http://meteo.ssc-ras.ru/#>).

Централизованный сбор, обработка и передача данных каждого гидро- или метеопоста на серверы осуществляется специально разработанными в ЮНЦ РАН блоками управления и программным обеспечением (см. рис. 8).

Полученный объем данных позволит проводить углубленный анализ динамики изменения параметров, характеризующих состояние морской среды Азово-Черноморского бассейна, уточнять и совершенствовать методы прогнозирования и модели развития опасных нагонных явлений.



Рисунок 5 – Солемер Солис СЛ15-10Т.

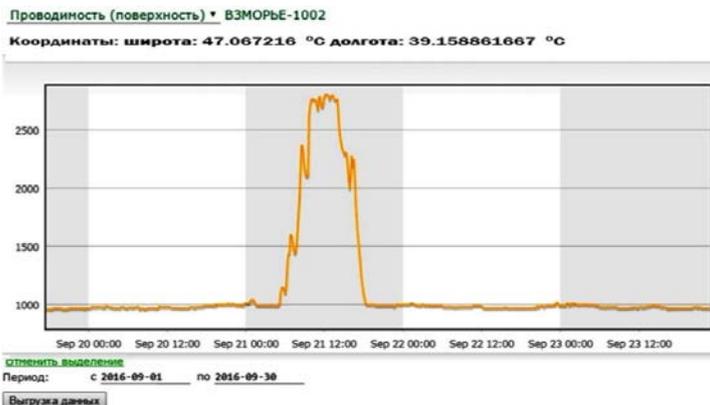


Рисунок 6 – График изменения электропроводности в Таганрогском заливе на МГП «Взморье».

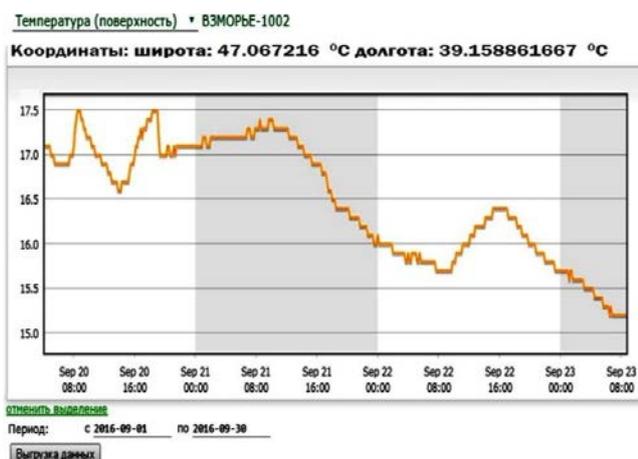


Рисунок 7 – График изменения температуры воды в Таганрогском заливе на МГП «Взморье».



Рисунок 8 – Разработанная в ЮНЦ РАН программная оболочка для отображения в табличной форме данных гидрологического поста поступающих на сервер в реальном времени.

Отсюда вытекает немаловажный аспект работы организуемой ЮНЦ РАН сети гидро- и метеопостов — возможность заблаговременного оповещения населения прибрежной зоны Азовского моря о возможных подтоплениях, позволяющего спасти имущество, а в некоторых случаях и человеческие жизни.

Главным результатом создания современной системы мониторинга стало накопление и анализ процессов проникновения осолоненных морских водных масс в устье реки Дон, выявление закономерностей сезонной динамики. Результатом исследований стали научные статьи в журналах «Наука Юга России» [2,3], а также индексируемые в базах данных Scopus, WoS [1], в том числе планируемые к выходу в 2018 г.

Результаты получены в рамках выполнения Госзадания ЮНЦ РАН №01201363187с использованием оборудования ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

Литература

1. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Причины осолонения таганрогского залива// Доклады Академии наук. 2017. Т. 477. № 1. С. 92-96.
2. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Ясакова О.Н. Аномальное осолонение в таганрогском эстуарии и Дельте Дона// Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 1. С. 43-50.
3. Григоренко К.С., Московец А.Ю., Аршакян Г.Г., Мирко А.С. О взаимодействии пресных речных вод р. Дон и осолоненных вод таганрогского залива Азовского моря Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 1. С. 107-111.
4. Чикин А.Л., Клещенков А.В., Чикина Л.Г. Математическая модель процесса изменения солености в таганрогском заливе при штормовых нагонах. В сборнике: Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук: Международного научного форума "Достижения академической науки на Юге России"; Международной молодежной научной конференции "Океанология в XXI веке: современные факты, модели, методы и средства" памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова; Всероссийской научной конференции "Аквакультура: мировой опыт и российские разработки" Федеральное агентство научных организаций; Российская академия наук; Южный научный центр Российской академии наук; Институт аридных зон ЮНЦ РАН; Институт социально-экономических и гуманитарных исследований ЮНЦ РАН. 2017. С. 263-266.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА

*Мохаммед Кхалиль Сультан Абдулла, аспирант, (г. Казань, КНИТУ им. А.Н. Туполева)
КНИТУ им. А.Н. Туполева, институт РЭИТ, кафедра РИИТ, почтовой индекс 420097, <https://kai.ru/>
<https://kai.ru/web/institute-of-radio-engineering-and-telecommunications>, Khalil.mohammed@mail.ru, 89600546849*

METHODS FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF A PHYSICAL FIELD

Mohammed khalil sultan Abdulla

Annotation

The work is devoted to the methods of measuring the temperature of their features, disadvantages, resolving power and the principle of constructing these methods.

Key words

The Non-contact methods, the contact methods, the electrical, the non-electrical, the distribution method.

Аннотация

Работа посвящена вопросам методов измерения температуры объектов их особенности, недостатки, разрешающая способность и принципы построения этих методов.

Ключевые слова

Бесконтактные методы, контактные методы, электрические методы, неэлектрические методы, методы распределённых измерений.

Получение информации о температуре различных объектов занимает ведущее место в большинстве видов научного и технического эксперимента, играет большую роль в информационном обеспечении управления сложными технологическими процессами. Значимость температурных данных подчёркивает и тот факт, что на производствах с непрерывным характером технологических процессов измерение температуры составляет около 50% от общего числа всех измерений [5]. Для измерения температуры объектов в различных состояниях (твёрдом, жидком, или газообразном) в настоящее время широко используют как контактные, так и бесконтактные средства измерения, которые учитывают условия теплообмена первичного преобразователя с объектом измерения.

Под термином измерение температуры будем понимать передачу небольшой порции тепловой энергии от объекта к датчику, который должен преобразовать эту энергию в электрический сигнал [4].

На данный момент все температурные датчики по методу измерения делятся на два типа:

- 1) Равновесный, данный метод подразумевает измерение температуры, при условии установления теплового равновесия между измеряемым полем и чувствительным элементом.
- 2) Прогнозируемый, при измерении температуры данным методом тепловое равновесие не наступает, а значение текущей температуры определяют по скорости изменения температуры датчика.

Рассмотрим классификацию датчиков по типу чувствительного элемента:

- 1) Терморезистивные датчики (резистивные детекторы температуры, детекторы на р-п переходах и термисторы). Данный метод основывается на зависимости удельного сопротивления металла или сплава от температуры.

Преимуществами данного типа датчиков являются долговременная стабильность, высокая чувствительность и простота создания интерфейсных схем.

- 2) Термоэлектрические контактные датчики (термопары). При измерении температуры данным способом один ее спай служит эталоном и его температуру определяют при помощи отдельного детектора абсолютной температуры, либо его помещают в материал, находящийся в физическом состоянии, температура которого точно известна.

- 3) Полупроводниковые датчики температуры на основе р-п перехода. Рассмотрим данные датчики поподробнее.

Для измерения температуры используются диоды и биполярные транзисторы, т.к. характеристики полупроводникового р-п перехода в диодах и биполярных транзисторах довольно сильно зависят от температуры [5]. В данном случае зависимость тока от напряжения выражается по следующей формуле:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{2kT}\right), \quad (1)$$

где I - ток, I_0 - ток насыщения, величина которого зависит от температуры, q - величина заряда электрона, V - напряжение, k - постоянная Больцмана, T - температура.

Логично, что зависимость напряжения на переходе от температуры имеет следующий вид:

$$V = \frac{E_g}{q} - \frac{2kT}{q} (\ln K - \ln I), \quad (2)$$

где E_g - ширина зоны запрещенных энергий для кремния при температуре абсолютного нуля (0 К), K - константа, независящая от температуры.

Как видно из формул (1 и 2) получить значение температуры не составляет сложности. В связи с этим можно разработать распределенный датчик на основе p-n перехода.

Достоинством таких датчиков является простота и низкая себестоимость, линейность характеристик и низкая погрешность [3].

4) Оптические датчики температуры (флуоресцентные, интерферометрические, на основе растворов, изменяющих цвет от температуры).

5) Акустические датчики температуры. Принцип работы основан на зависимости скорости звука от температуры среды, через которую он распространяется. По примеру сухого воздуха при нормальных условиях (н.у.) данная зависимость имеет вид:

$$v \approx 331,5 \sqrt{\frac{T}{273.15}} \text{ м/с}, \quad (3)$$

где v - скорость звука, T - абсолютная температура.

6) Пьезоэлектрические датчики температуры. Для получения результата наблюдают зависимость частоты вибрации кристалла из кварца от температуры, что иллюстрирует формула:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = a_0 + a_1 \Delta T + a_2 \Delta T^2 + a_3 \Delta T^3, \quad (4)$$

где ΔT и Δf - температура и сдвиг по частоте соответственно, f_0 - частота калибровки, a - коэффициенты аппроксимации [6].

Датчики данного типа используют при измерении температуры бесконтактным методом. Они широко распространены в медицине в целях не инвазивного измерения глубинной температуры, например, в онкологии.

Недостатками таких измерений является то, что при прикосновении они могут вызывать ответные физиологические реакции, что в свою очередь влечет искажение измерения глубинной температуры. Кроме того, возможно возникновение отражений на границе «датчик-среда», это также вызывает погрешности.

Как известно, контроль и измерение температуры можно разделить на параллельный или последовательный съем информации [5]. При параллельном съеме информации осуществляется одновременный контроль температуры в различных точках объекта в одно и тоже время многоканальными устройствами[4]. Такие системы обладают высоким быстродействием, но требуют значительных программных, аппаратных и материальных затрат. Основная часть сканирующих измерительных систем составляют фото, видео датчики (мониторы). Преимущества последних: широкий диапазон измерения, высокие чувствительность и быстродействие. Недостатки: необходимость в охлаждении инфракрасного (ИК) приёмника излучений и влияние температуры самой аппаратной системы.

В настоящее время контактные методы измерения являются наиболее распространенными[4]. Широкое применение этих методов обусловили такие их качества как, высокая точность, надежность, достоверность получаемой информации, простота применения и экономичность. По способу измерения температуры различных объектов электрические методы делятся на дискретные и распределённые. Дискретные методы основаны на применении хорошо изученных традиционных точечных датчиков. Они в свою очередь делятся на ододатчиковые и дискретно-распределенные (ДРД).

Недостатками данных методов являются необходимость применения высокоточных механических перемещающих устройств, низкое быстродействие, сложность использования

Рисунок 1 – Контактные методы по типу приемников .



Особенностью измерительной схемы, реализующей данный метод с параллельным съемом информации, является наличие отдельного для каждого канала физической линии связи, многоканального регистратора, с своим для каждого канала устройством обработки (ОУ). Измерительные схемы данного типа обладают наибольшим быстродействием, которое ограничена только тепловой инерционностью применяемого точечного термопреобразователя. В том же время практическая реализация этих схем требует значительных материальных затрат, что накладывает ограничения на число контролируемых точек.

Существенно увеличить количество точек измерения позволяют методы использующие последовательный съём информации. Измерительные схемы, реализующие данный метод отличаются большим многообразием. Они отличаются наличием аналогового коммутатора и общим для всех каналов устройства обработки и регистрации. Быстродействие таких систем, при заданной точности измерения и большим количеством датчиков, ограничено пропускной способностью аналогового коммутатора и устройства обработки.

Повысить быстродействие этих систем можно при выборе оптимального алгоритма опроса датчиков. Общим недостатками измерительных систем на ДРД являются большой объём вторичной аппаратуры, необходимость применения отдельных соединительных проводников для каждого ДРД и т.п.

Принципиально иной подход, позволяющий решить данную проблему, основан на применении одномерных или многомерных распределённых измерительных структур (РИС), вдоль длины или по поверхности которых измеряется распределение температуры [6]. Измерение одним подобным датчиком эквивалентны измерениям, получаемым с десятков и тоже сотен дискретных датчиков. Кроме того необходимо отметить, что большинство процессов, протекающих в технических и природных системах носят не сосредоточенный, а распределённый характер. Для того чтобы, определить состояние объекта с РИС теоретически, необходимо знать значение параметров в каждой точке области, которую занимает объект [6,7].

Следовательно, для достоверного отражения процессов протекающих в распределённых системах, необходимо использование соответствующих распределённых измерительных средств. Общая теория распределённых датчиков предложена профессором Евдокимовым Ю.К.. Она базируется на разработанной концепции построения распределённой "измерительной среды", физической реализацией которой являются распределённые датчики, каждая точка которого способна выполнять сенсорные и информационные функции. Большим преимуществом распределённых датчиков является, то, что измерения подобным датчиком соответствуют измерениям полученных с помощью десятков и сотен дискретных датчиков. применение таких датчиков позволяет значительно ускорить и упростить процесс измерения, исключить избыточную информацию.

Заключение

Приведённая статья позволяет сделать вывод о разнообразии методов, применяемых в настоящее время для измерения температуры различных объектов. В интервале температур, где могут применяться контактные методы измерения, им отдаётся предпочтение из-за их более высокой точности и локальности измерений. Контактные неэлектрические методы имеют довольно широкое применение в качестве индикаторов и узкодиапазонных измерителей температуры. Наибольшее распространение для автоматизированного контроля и измерения получили измерительные системы, основаны на применении множества дискретных датчиков температуры.

Общими недостатками этих систем является большой объём вторичной аппаратуры, необходимость применения отдельных соединительных проводов для каждого датчика. Кроме того, системы на ДРД не всегда способны, в силу дискретного характера применяемых датчиков, обеспечить достоверное измерение распределённой структуры поля температуры.

Принципиально иной подход, позволяющий решить данную проблему основан на применении одномерных или многомерных распределённых структур, вдоль длины или по поверхности которых измеряется распределение температуры. В работах профессора Евдокимова Ю.К. предложен новый подход в измерении физических полей, основанный на концепции "распределённой измерительной среды", физической реализацией которой являются распределённые датчики.

Список литературы

1. *Evdokimov Yu.K., Martemianov S.* Continuously distributed sensors for steady-state temperature profile measurements: main principles and numerical algorithm // *Journal of Heat and Mass Transfer.* 2004. Т. 47. № 2. С. 329-340.
2. *A. P. Leontyeva, I. O., Yaroshchuka, S. V. Smirnovb, A. V. Koshelevaa, A. A., Pivovarova, A. N., Samchenkoa, and A. N., Shvyreva.,* A spatially distributed measuring complex for monitoring hydrophysical processes on the ocean shelf // *physical instruments for ecology, medicine, and biology* ISSN 0020-4412, *Instruments and Experimental Techniques*, 2017, Vol. 60, No. 1, pp. 130–136. © Pleiades Publishing, Ltd., 2017.
3. Пат. 2206878 РФ. Способ измерения пространственного распределения температуры и устройство для его осуществления/ Байтуллин А.Ф., Евдокимов Ю.К., Кутин Е.М., Михеев В.Г., Нетфуллов Ф.Х., Партс Я.А., Сагдиев Р.К.// 20.06.2003.

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ АБСОРБЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА**

*Никитин А.К.¹, д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела инфракрасной спектроскопии
Герасимов В.В.², к.ф.-м.н., научный сотрудник, Князев Б.А.², д.ф.-м.н., главный научный сотрудник
Хасанов И.Ш.¹, к.ф.-м.н., научный сотрудник отдела инфракрасной спектроскопии
1 – Научно-технологический центр уникального приборостроения (НТЦ УП) РАН, <http://ntcup.ru>
117342, Москва, улица Бутлерова, д.15, тел. (495) 333-61-02, e-mail: alnikitin@mail.ru
2 – Институт ядерной физики им.Г.И. Будкера СО РАН, <http://www.inp.nsk.su/>, 630090 Новосибирск
проспект Академика Лаврентьева, д. 11, тел. (383) 3294760, e-mail: inp@inp.nsk.su*

**PROSPECTS OF CREATING SURFACE PLASMON-POLARITONS ABSORPTION SPECTROMETER
OF THE TERAHERTZ RANGE**

Nikitin A.K.¹, Gerasimov V.V.², Knyazev B.A.², Khasanov I.Sh.¹

Annotation

The achievements and prospects in the field of development of devices for the surface plasmon-polaritons (SPPs) generation by a tunable frequency source of terahertz (THz) radiation, as well as those for measurements of the SPP field distribution and their propagation length determination are described in the talk. A scheme of the absorption SPP spectrometer, characterized by high signal-to-noise ratio, with fixed coupling elements and a mirror delay-line for changing the run path of SPPs is implemented. A scheme of THz SPP absorption-type spectrometer employing a broadband radiation source and a dispersive spectrometer to compare SPP spectra after the SPPs have cover different distances is described.

Keywords

Surface plasmon-polaritons, terahertz radiation, surface electromagnetic waves, infrared absorption spectrometry, Fourier spectrometry, thin films, optical sensors.

Аннотация

Описаны достижения и перспективы в области разработки устройств по генерации поверхностных плазмон-поляритонов (ППП) терагерцового (ТГц) диапазона излучением внешнего источника, а также – по промеру поля ППП и определению их длины распространения. Реализована характерная высоким соотношением сигнал/шум схема абсорбционного ППП спектрометра с неподвижными элементами преобразования излучения и зеркальной линией задержки для изменения расстояния пробега ППП по образцу. Предложена схема ТГц плазмонного спектрометра абсорбционного типа, в которой используется широкополосный источник излучения и сравнение спектров этого излучения, после преодоления им в форме ППП различных расстояний по поверхности образца.

Ключевые слова

Поверхностные плазмон-поляритоны, терагерцовое излучение, поверхностные электромагнитные волны, инфракрасная абсорбционная спектроскопия, Фурье спектроскопия, тонкие плёнки, оптические сенсоры.

Введение

В настоящее время ведётся интенсивное освоение терагерцового (ТГц) диапазона оптического излучения [1]. Одно из основных направлений разработки ТГц-технологий, наряду с интроскопией, - спектроскопия полимерных, органических и биологических объектов, имеющих линии поглощения в ТГц диапазоне, соответствующие вращательным и колебательным степеням свободы молекул.

Известно, что эффективным методом инфракрасной (ИК) спектроскопии тонкослойных объектов является метод поверхностных плазмон-поляритонов (ППП), в котором излучение источника преобразуют в эванесцентную (экспоненциально затухающую) *p*-поляризованную волну, направляемую поверхностью проводника (металла) с отрицательной диэлектрической проницаемостью [2]. Однако механический перенос методик ППП-спектроскопии из ИК диапазона в ТГц область частот оказался невозможным в силу ряда особенностей ТГц ППП: а) их длина распространения достигает тысяч длин волн (λ); б) глубина проникновения поля в окружающую среду (воздух) – сотен λ ; в) показатель преломления превышает единицу (на границе «металл-воздух») всего на $10^{-3} \div 10^{-4}$; г) высокая эффективность их преобразования в объёмные волны из-за рассеяния на неоднородностях поверхности, и, как следствие этого, - большой вклад радиационных потерь в затухание ППП [3].

В данной работе представлена возможность создания абсорбционного ППП-спектрометра ТГц диапазона с высоким соотношением сигнал/шум, обеспечиваемым за счёт применения в спектрометре цилиндрических сегментов в качестве элементов преобразования излучения источника в ППП и обратно, а также – уголкового зеркала, примыкающих к поверхности образца, для изменения длины пробега ППП.

Абсорбционная ППП-спектроскопия среднего ИК диапазона

В методе абсорбционной ППП-спектроскопии измеряемой величиной является длина распространения ППП $L = \lambda / (2\pi \cdot k'')$, равная расстоянию на котором интенсивность поля ППП уменьшается в $e \approx 2,718$ раз; здесь k'' - мнимая часть показателя преломления ППП. В среднем ИК диапазоне величина L составляет единицы сантиметров.

Для измерения величины L ИК диапазоне используют двухпризменный способ, в котором преобразование излучения в ППП и обратно осуществляют посредством дифракции излучения на ребрах двух прозрачных призм (Рисунок 1) [4]. Суть способа состоит в измерении интенсивности I поля ППП не менее чем в двух точках трека с координатами x_1 и x_2 при перемещении одной из призм. Тогда $L = (x_2 - x_1) / \ln(I_{x_1} / I_{x_2})$. Измерения величины L на данной частоте ν производятся на чистой поверхности образца - L_0 , и после завершения формирования на ней переходного слоя - L ; тогда обусловленная слоем разность $\Delta L = L_0 - L$. Зависимость $\Delta L(\nu)$ представляет собой спектр поглощения ППП исследуемым слоем в рабочем диапазоне частоты излучения.

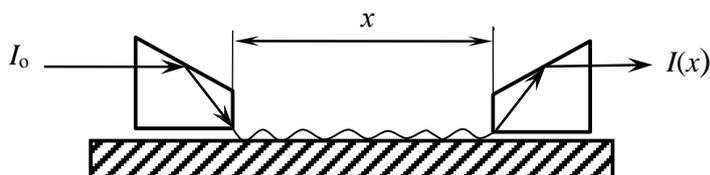


Рисунок 1. Схема двухпризменного способа измерения длины распространения ППП. [4].

Однако в практических условиях двухпризменная схема измерения L оказалась мало эффективной из-за высокого уровня шума, обусловленного дифракцией ППП на элементах преобразования и вариаций зазора между образцом и подвижной призмой при её перемещении в процессе измерений. Причём интенсивность паразитных объёмных волн возрастает с увеличением длины волны и становится совершенно неприемлемой в ТГц диапазоне.

Схемы абсорбционных ППП-спектрометров ТГц диапазона

Наиболее важная проблема, которую необходимо было решить для развития метода ППП-спектроскопии в ТГц диапазоне, - эффективное преобразование объёмного излучения (ОИ) внешнего источника в ППП. Метод НПВО неприменим на ТГц частотах, в связи с макроскопической длиной распространения L ППП. Эмпирически было установлено, что наиболее эффективным (десятки процентов) и слабо дисперсионным методом генерации ТГц ППП электромагнитным полем внешнего источника является метод дифракции излучения на ребре металлического образца, называемый зарубежными исследователями the end-fire coupling method [5].

Не менее важной проблемой являлись и интенсивные объёмные волны, порождаемые на элементе преобразования. Размещение экранов у поверхности образца приводило либо к неполной защите от паразитного излучения (если экран располагался вне поля ППП), либо к дифракции на экране самих ППП [6]. Проблема экранирования от паразитных засветок была решена размещением элемента согласования и фотоприёмника на различных гранях образца, сопряжённых скруглённым ребром [7]. Ещё более совершенным (с точки зрения эффективности преобразования и экранирования) элементом преобразования оказался цилиндрический сегмент, выпуклая поверхность которого металлизирована, покрыта слоем диэлектрика и примыкает к торцу образца [3].

Не второстепенной являлась и проблема изменения длины пробега ППП (расстояние x) в процессе измерений (без этого невозможно определить величину L), сопряжённая с конструкцией элемента преобразования ППП в ОИ, детектируемое приёмником. В качестве элемента обратного преобразования мы предложили использовать примыкающее к поверхности образца и перемещаемое вдоль трека ППП плоское зеркало, отражающая поверхность которого наклонена на 45° относительно поверхности; зеркало сообщает ППП отрицательную добавку к импульсу, что и обуславливает их трансформацию в ОИ, направляемое на фотодетектор (Рисунок 2).

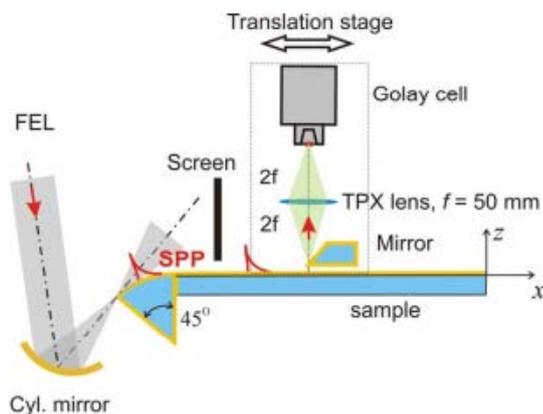


Рисунок 2 – Схема абсорбционного ППП-спектрометра с подвижным элементом преобразования (mirror) ППП (SPP) в детектируемое объёмное излучение [3].

Основным недостатком спектрометра, схема которого приведена на рисунке 2, является необходимость перемещения наклонного зеркала (элемента преобразования ППП в ОИ), поддерживая неизменной величину

зазора (порядка λ) между ним и поверхностью образца в процессе измерений. Соблюдение этого условия требует трудоёмкой прецизионной юстировки измерительной установки и практически невыполнимо. Вследствие этого точность определения L составляет примерно 10%, т.е. неприемлемо низкая. Таким образом, проявилась необходимость разработки и создания установки с неподвижными элементами (прямого и обратного) преобразования излучения, но способной изменять длину пробега x ППП в процессе измерений.

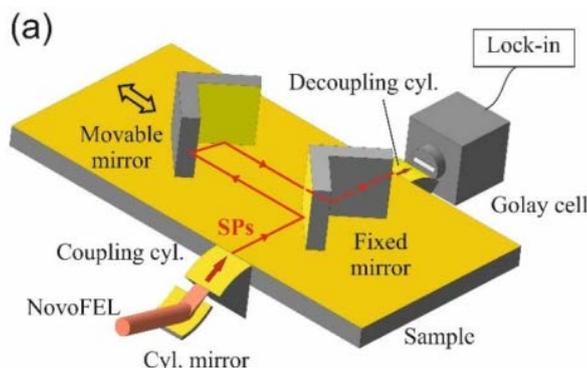


Рисунок 3 – Схема абсорбционного ППП-спектрометра с подвижным элементом преобразования (mirror) ППП (SPP) в детектируемое объёмное излучение [8].

Для изменения длины пробега x ППП нами было предложено использовать линию задержки, состоящую из двух уголкового зеркала (одно из которых неподвижно, и размещено в плоскости падения излучения, а второе – подвижное) и ось которой перпендикулярна треку ППП [8]. Основой для такого предложения явилась работа [9], в которой установлено, что ТГц ППП полностью отражаются плоским зеркалом, установленным перпендикулярно волноведущей поверхности, если величина зазора между ним и поверхностью образца не превышает 2λ . Чтобы защитить поверхность образца от механических повреждений подвижным зеркалом, скользящим по поверхности, на неё в работе [8] рекомендовано нанести тонкослойное непоглощающее покрытие субволновой толщины. Оба элемента преобразования (coupling cylinder and decoupling cylinder) неподвижны и представляют собой 1/8 часть диска с металлизированной выпуклой поверхностью, покрытой слоем ZnS толщиной примерно 1 мкм.

Заключение

Таким образом, нами разработано и в ближайшее время будет апробировано с использованием Новосибирского лазера на свободных электронах устройство (являющееся по сути абсорбционным ППП-спектрометром с перестраиваемым по частоте источником излучения) для измерения длины распространения поверхностных плазмон-поляритонов терагерцового диапазона, характеризуемое высоким соотношением сигнал/шум. Потенциально, в этом устройстве вместо перестраиваемого по частоте источника монохроматического излучения может быть использован такой мощный источник широкополосного ТГц излучения как синхротрон, что значительно сократит время измерений и повысит их спектральное разрешение; однако, в этом случае, придётся использовать классический дисперсионный спектрометр для анализа излучения на выходе устройства.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Российского Научного Фонда №18-12-00430 и Российского Фонда Фундаментальных Исследований №18-32-00930.

Список литературы

1. Братман В.Л., Литвак А.Г., Суворов Е.В. Освоение терагерцового диапазона: источники и приложения // УФН. – 2011. – Т. 181. - №8. - С. 867-874.
2. Поверхностные поляритоны. Поверхностные электромагнитные волны на границах сред. Под ред. В.М. Аграновича и Д.Л. Миллса // М.: Наука, 1985. – 525 с.
3. Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Lemzyakov A.G., Nikitin A.K., Zhizhin G.N. Growth of terahertz surface plasmon propagation length due to thin-layer dielectric coating // JOSA (B). – 2016. - V. 33. - Is. 11. - P. 2196-2203.
4. Жижин Г.Н., Москалева М.А., Шомина Е.В., Яковлев В.А. Распространение поверхностных электромагнитных волн по металлическим поверхностям // Гл.3 в [2].
5. Stegeman G.I., Wallis R.F., Maradudin A.A. Excitation of surface polaritons by end-fire coupling // Optics Letters. – 1983. – V. 8. – No.7. – P.386-388.
6. Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.К. Способ индикации дифракционных спутников поверхностных плазмонов терагерцового диапазона // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36. - Вып.21. - С. 93-101.
7. Gerasimov V.V., Knyazev B.A., Kotelnikov I.A., Nikitin A.K., Kulipanov G.N., Zhizhin G.N. Surface plasmon polaritons launched using a terahertz free electron laser: propagating along a gold-ZnS-air interface and decoupling to free waves at the surface tail end // JOSA (B). – 2013. - V.30. - Is. 8. - P. 2182-2190.
8. Никитин А.К., Князев Б.А., Герасимов В.В. Устройство для измерения длины распространения инфракрасной поверхностной электромагнитной волны // Патент РФ на изобретение RU 2645008, Бюл. №5 от 15.02.2018 г.
9. Герасимов В.В., Князев Б.А., Никитин А.К. Отражение монохроматических поверхностных плазмон-поляритонов терагерцового диапазона плоским зеркалом // Квантовая электроника. - 2017.- Т.47. - №1. - С. 65–70.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМПАНИИ «СКАЛАР», КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА, АГРОХИМИЧЕСКИХ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Носиков В.В., руководитель группы разработки новых методов анализа почв и растений

Литвинский В.А., руководитель группы спектроскопии

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, www.vniia-pr.ru/
ул. Прянишникова, 31А. г. Москва, 127550. Россия, тел: +7 (499) 976-46-47, e-mail: vniiaser@yandex.com*

SKALAR'S ANALYTICAL INSTRUMENTS AS A SOLUTION FOR HIGH-THROUGH-PUT CHEMICAL ANALYSES IN CROP PRODUCTION, AGROCHEMICAL AND AGROECOLOGICAL STUDIES

Nosikov V.V., Litvinskiy V.A.

Annotation

To provide the efficient and sustainable use of soil and water in cultivated lands one needs to analyze the properties of the aforementioned objects on the regular basis. Nowadays the most part of classic analytical methods are well-automatized which results in class division of analytical instruments, such as continuous flow analyzers and Dumas analyzers. In this article we evaluate both of these classes using for example San⁺⁺ and Primacs SNC100 analyzers, manufactured by Dutch company "Skalar".

Keywords

Continuous flow analyser, Dumas combustion, Skalar, nitrogen, carbon, crop production, agrochemistry, agroecology.

Аннотация

Рациональное и устойчивое использование таких объектов агроландшафта, как почва и воды, требуют регулярного химического анализа параметров свойств и состояния названных объектов. В настоящее время классические химические методы анализа широко автоматизируются, что приводит к формированию отдельных классов оборудования, таких, как проточные анализаторы и анализаторы по методу Дюма. Нами рассматриваются представители этих классов производства компании Скалар (Нидерланды) – анализаторы San⁺⁺ и Primacs SNC100.

Ключевые слова

Проточный анализатор, сухое сжигание, метод Дюма, Скалар, азот, углерод, сельское хозяйство, агрохимия, агроэкология.

Введение

Решение современных проблем почвоведения, агрохимии и агроэкологии базируется на детальном изучении химических и физических свойств почвы и произведенной продукции растениеводства. Решение вопросов химизации сельского хозяйства и повышения почвенного плодородия, рационального использования земельных угодий и удобрений, изучение природы и генезиса отдельных почвенных типов и обширных почвенно-географических зон и провинций — все это требует предварительной химико-аналитической характеристики почв в сочетании с глубоким пониманием закономерностей почвообразования и специфических особенностей химии почв. С помощью классических приемов химического анализа накоплен огромный фактический материал, освещающий химический состав почв и многие ее свойства. Это позволило обосновать нуждаемость почв в удобрениях, описать историю и закономерности образования типов почв. Классические объемные и весовые методы анализа, которые часто сокращенно называют просто химическими методами, останутся и в дальнейшем одним из важнейших приемов изучения состава почв. Существенным недостатком этих методов является их токсичность для химика-аналитика и большая трудоемкость; кроме того, применение этих методов сопровождается выраженным воздействием на почву различных реактивов и в силу длительности определения эти методы малопригодны для изучения динамики почвенных процессов. Наиболее применимыми для массовых определений агрохимических показателей в настоящее время являются высокоскоростные, проточные анализаторы и высокопроизводительные приборы для определения азота сухим сжиганием по Дюма.

Метод проточного анализа

Проточный метод анализа, оформленный, в виде автоматизированных аналитических комплексов по метрологическим характеристикам способен на равных конкурировать с другими инструментальными методами анализа [1], такими, как флуориметрия и атомно-эмиссионная спектрометрия с дугой постоянного тока, уступая названным методам в величине линейного динамического диапазона, однако превосходя их по чувствительности (обладая более низким пределом обнаружения) и не испытывая, в большинстве случаев, негативного влияния интерференций присутствующих в почвенных и растительных экстрактах катионов и анионов. Вышеназванные достоинства обусловили распространенность проточных анализаторов в лабораториях Агрохимической службы Минсельхоза СССР. В Центральном научно-исследовательском институте агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО) была начата разработка нормативной документации и модернизация инструментального оформления для проточного анализа [2], которая продолжается/продолжает вестись [3, 4, 5] приемником ЦИНАО – Всероссийским научно-исследовательским институтом агрохимии имени Д.Н. Прянишникова.

Проточные анализаторы нашли свое применение во всем мире в самых разных отраслях – контроле качества пищевой, табачной, винодельческой, пивоваренной продукции, экологическом контроле загрязненности питьевой и морской воды, промышленных стоков. Это оборудование позволило автоматизировать определение в исследуемых объектах как катионов и анионов (например, аммония, калия, хлора, нитрат-ионы), так и веществ молекулярной структуры (фенолы, альдегиды, сахара, органические кислоты, и т.п.).

Сухое сжигание по методу Дюма

Метод сухого сжигания по Дюма является более точной, быстрой, безопасной, экономически и экологически безвредной альтернативой методу Кьельдаля. Анализ уровня углерода/азота (их соотношения) в почвах обладает особым диагностическим значением, так как азот – основной элемент для роста и развития растений, а углерод необходим для поддержания структуры почвы, обеспечения происходящих в ней процессов энергией и питательными веществами. Соотношение углерода и азота является важным показателем состояния почвы и ее пригодности для роста растений и получения урожая сельскохозяйственных культур.

Инструментальное оформление

Фирма «Скалар» (Нидерланды) существует с 1973 г. При ее создании основной задачей было производство нового аналитического оборудования для решения в первую очередь задач экологического характера. Спектр аналитических приборов, производим «Скалар» включает в себя десятки моделей, в том числе проточный анализатор San⁺⁺ и анализатор азота/углерода методом сухого сжигания по Дюма PrimacsSNC, вобравшие в себя опыт многих лет в областях спектрофотометрического и газовольнометрического анализа и автоматизации. Проточный автоматизированный анализатор San⁺⁺ успешно используется в лабораториях по анализу воды во всем мире уже несколько десятилетий. Этот анализатор может использоваться для параллельного и последовательного выполнения анализов методами с колориметрическим детектированием и может включать компоненты для подготовки пробы к анализу, например дистилляцию и/или разложение. Анализатор San⁺⁺ построен по модульному принципу и может быть сконфигурирован согласно требованиям лаборатории. При необходимости на анализаторе можно одновременно определять до 16 параметров в 4 различных видах объектов (матрицах). Закрытая аналитическая система идеально подходит для выполнения чувствительных к загрязнению анализов низких, на уровне пределов обнаружения, концентраций, например, в морской воде. Анализатор управляется многозадачным программным обеспечением FlowAccess с русифицированным интерфейсом.

Гибко настраиваемый анализатор PrimacsSNC-100 использует метод высокотемпературного каталитического сжигания (метод Дюма) для получения быстрого, точного и надежного определения содержания азота (N), протеина, общего углерода (TC), общего элементарного углерода (TEC), общего неорганического углерода (TIC) и общего органического углерода (TOC) – всё на одном приборе, оснащенный встроенным автосамплером на 100 позиций для определения содержания азота и углерода в твердых пробах и почве. Ввод проб осуществляется с помощью уникальной системы вертикальной подачи. Остатки пробы после сжигания, остаются в тигле, а не в реакторе. Это предотвращает скопление остатков в зоне сжигания, позволяет реже обслуживать прибор и снижает вероятность возникновения эффекта переноса между пробами. Для анализов TOC, TEC и TIC используется высокотемпературное каталитическое сжигание и недиспергирующий ИК-детектор (NDIR). Установка температуры опциональна и специальная программа повышения и понижения температуры позволяет проводить анализ TEC (также ROC) в соответствии со стандартом DIN 19539. Также может проводиться анализ TIC путем обработки пробы кислотой. Определение TN/протеина выполняется по методу Дюма с использованием детектора теплоэлектропроводности (катарометра).

Заключение

Приборы из линейки оборудования, выпускаемого в настоящее время компанией «Скалар» позволяют сформировать укомплектованную аналитическую лабораторию для быстрого и качественного определения показателей почвенного плодородия и использования в системе агрохимической службы России, а также при решении научно-практических задач в области агроэкологии.

Список литературы

1. Литвинский, В.А. Проточные анализаторы: приложение способа автоматизации экологических исследований к классическим методам агрохимического анализа почвы / В.В. Носиков, В.А. Литвинский, Е.А. Гришина, С.Л. Белопухов // Вестник Казанского технологического университета – 2016. - Т. 19. № 21, С. 178-180
2. Державин, Л.М. Методические указания по проведению анализов почв в зональных агрохимических лабораториях. / Под ред. Л.М. Державина. М.: ЦИНАО, 1977
3. Гришина, Е.А. Химический анализ подвижных соединений бора на проточном анализаторе San⁺⁺/ Е.А. Гришина, В.А. Литвинский, В.В. Носиков, С.Л. Белопухов // Бутлеровские сообщения – 2017. - Т. 51, № 29, С. 108-114
4. Носиков, В.В. Определение обменного кальция с использованием проточного анализатора San⁺⁺/ Е.А. Гришина, В.А. Литвинский, В.В. Носиков, С.Л. Белопухов, Н.О. Чилингарян, И.М. Жогин // Бутлеровские сообщения – 2017. - Т. 52. № 10, С. 118-125
5. Гришина, Е.А. Применение непрерывного проточного анализа для определения обменного магния в основных типах почв России/ Е.А. Гришина, В.А. Литвинский, В.В. Носиков, С.Л. Белопухов, Н.О. Чилингарян, И.М. Жогин // Бутлеровские сообщения – 2017. - Т. 52. № 10, С. 118-125.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ В ИНТЕРЕСАХ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Олейников А.М.¹, д.т.н., проф., гл. научн. сотр, Усачев В.В.², студент

1 - Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28, E-mail: ota091041@gmail.com

2 - ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет", РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

PRACTICAL DESIGN FOR WIND INSTALLATIONS DEVELOPMENT

Oleinikov A.M.¹, Usachev V.V.²

Annotation

This article describes original design gearless wind installations horizontal axis or vertical axis type and their main components-many-pole generators with electromagnetic excitation or magnitoelektricheskogo type, as well as other Hub devices. Examples of testing small and medium-sized wind turbines, as well as patent-protected new prospective design that can be used when designing large WIND TURBINES power limit (10–15 Mw) use in areas with increased wind flow.

Keywords

Energy, vetrojelektricheskaja installation, slow-speed generators, permanent.

Аннотация

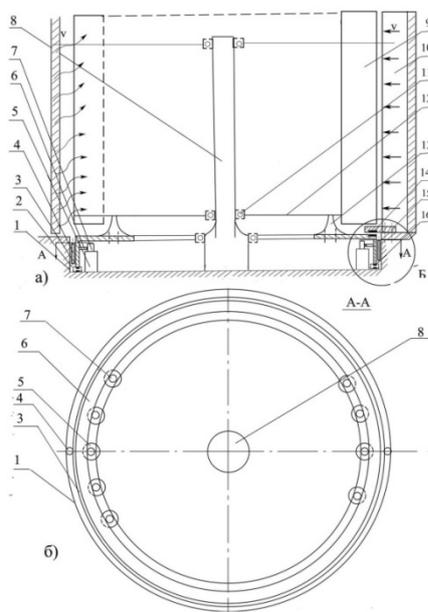
В докладе приведены оригинальные разработки безредукторных ветроэлектрических установок (ВЭУ) горизонтально-осевого или вертикально-осевого типа и их основных элементов – многополюсных генераторов с электромагнитным возбуждением или магнитоэлектрического типа, а также других узловых устройств. Приведены примеры испытаний ветроустановок малой и средней мощности, а также защищенные патентами новые перспективные разработки, которые могут быть востребованы при проектировании крупных ВЭУ предельной мощности (на 10–15 МВт).

Ключевые слова

Энергетика, ветроэлектрическая установка, тихоходные генераторы, постоянные магниты.

В ветроэнергетике, как одном из эффективных видов возобновляемой энергетики, наблюдается устойчивое развитие, при этом основные вложения направлены на разработку преимущественно ВЭУ большой мощности.

На сегодня одна из самых больших в мире ВЭУ фирмы Enercon E126 мощностью 7,58 МВт, у которой только электрогенератор весит 220 т. Ясно, что реализация этих проектов базируется не только на новейших теоретических разработках и научно-технических достижениях, но и требует достаточно крупных материальных вложений.



Главные ограничения, связанные с увеличением мощности и вырабатываемой электрической энергии, обусловлены как габаритами современных ВЭУ, так и динамическими нагрузками на лопасти ветроколеса, требующими применения новых материалов, а также аэродинамическими возможностями ветротурбины [1,]. В этом плане одним из путей дальнейшего повышения энергоэффективности ВЭУ видится в улучшении характеристик генераторов, а также в дроблении мощности ветрового потока на несколько генераторов, установленных на одной опоре. Так, например, в ВЭУ ТГ-750 [5] на каждой лопасти основного ветроколеса размещен генератор, снабженный своим “малым” ветроколесом (ВК) относительно небольшого диаметра и реализуется аэродинамическая мультипликация частоты вращения основного ветроколеса за счет того, что генерирующие “малые” ВЭУ постоянно перемещаются по окружности в воздушном потоке, и скорость вращения их ВК в 12–15 раз превышает скорость вращения основного ветроколеса (7,5–27 об/мин).

Ясно, что такое решение в реализации редукции сопряжено с вполне определенными проблемами конструктивного и эксплуатационного характера. Тем не менее, разработчики прогнозируют дальнейшее увеличение их мощностей.

Как альтернатива этому проекту нами разработана многомашинная ВЭУ вертикально-осевого типа (МВОВУ), которая защищена патентом [6]. Ее суть заключается в том, что вся электрическая часть, расположенная в основании опоры на неподвижной платформе, включает заданное число генераторов (от нескольких единиц до сотни), которые приводятся во вращение от вертикально-осевой ветротурбины, при этом через узел соединения генераторов и турбины реализуется механическая редукция, так что при относительно низкой скорости вращения рабочего ветроколеса (1-2 об/мин) обеспечивается работа генераторов переменного или постоянного тока (на 75–375 об/мин).

Рисунок 1 – Конструктивная схема многомашинной вертикально-осевой ветроустановки

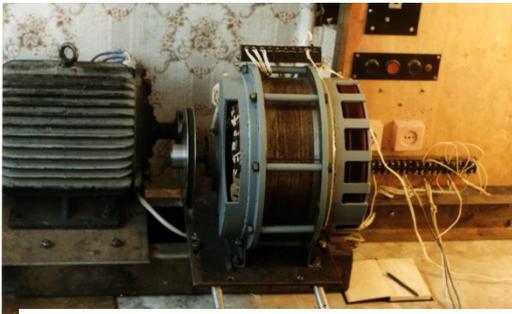


Рисунок 2 – Ветроэлектрогенератор ВЭГ-5-750

Основные элементы установки (рис. 1): 1 – основание-корпус; 2 – подпятник; 3 – рабочее колесо; 4 – центрирующие валики; 5 – неподвижные статоры; 6 – узел зацепления; 7 – роторы генераторов; 8 – центральная стойка; 9 – ветроколесо; 10 – направляющий аппарат; 11 – подшипниковый узел; 12 – поперечная тяга ветроколеса; 13 – опора ветроколеса; 14, 16 – магнитные подвесы; 15 – нажимные сегменты.

Коэффициент механической редукции при передаче мощности определяется соотношением диаметров рабочего колеса (6) и вала ротора (7) генератора (5). Вся механическая часть ВЭУ устанавливается на магнитных подвесах (14 и 16) и центрируется в производственном пространстве центрирующими валами (4).

Такая ВЭУ будет отличаться высокой надежностью, простотой обслуживания и способностью эффективно работать при широком диапазоне мощности ветрового потока, что обеспечивается возможностью варьировать число включаемых генераторов в зависимости от мощности ветрового потока. Ее максимальная мощность ограничивается только геометрическими размерами и аэродинамическими параметрами ветроколеса и может достигать 10–12 МВт.



Рисунок 3 – Безредукторная ВЭУ с опытным СГ ВЭГ – 10 – 125

Разработки тихоходных генераторов. ВЭУ такого типа требуют применения специальных тихоходных синхронных генераторов (СГ) и на это нацелены наши разработки СГ с электромагнитным возбуждением (рис.2) и на постоянных магнитах различного исполнения в широком диапазоне мощностей и скоростей вращения (от 2,5 до 35 кВт и более и от 75 до 750 об/мин).

В опыте конструирования и эксплуатации и тихоходный многополюсный синхронный генератор с электромагнитным возбуждением ВЭГ-10-125 (10 кВт, 125 об/мин), предназначенный для автономной (или сетевой) безредукторной ВЭУ (рис.3). Более чем годовые испытания этой установки показали вполне приемлемые мощностные, энергетические и прочностные характеристики и единственным элементом, потребовавшим замены, оказалось хвостовое оперение.

Последующей инициативой в совершенствовании подобных многополюсных генераторов для безредукторных ВЭУ выступили расчеты, проектирование и изготовление подобной же машины магнитоэлектрического типа – с постоянными высококоэрцитивными магнитами на роторе, при этом в тех же примерно габаритах, что и для ВЭГ-10-125, достигнута мощность 20 кВт при 125 об/мин и напряжении 230 В.

В данном СГПМ-20-125 реализована та же конструктивная схема с неподвижным цилиндрическим статором и вращающимся ротором, причем для возможности сочленения с ветроколесом и тормозным устройством на роторе предусмотрен удлиненный конец вала со шпоночными канавками для крепления необходимых элементов.

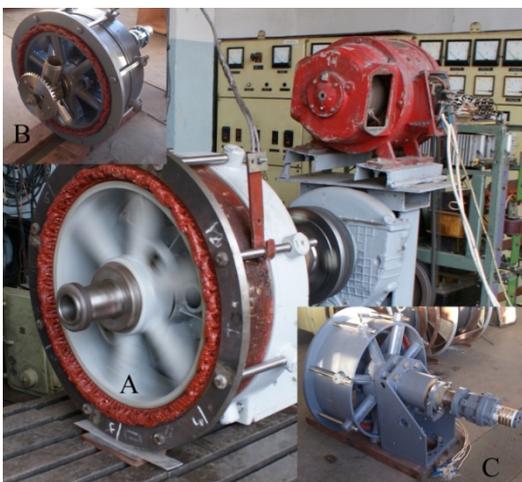


Рисунок 4 – СГПМ-20-125 на стенде (А) и головка ВЭУ-20-125 в сборе (В и С)

На рис. 4 показан экспериментальный стенд для и головка ВЭУ-20-

исследования и испытаний СГПМ-20-125 (А) 125 в сборе в двух проекциях (В и С), на которых видны устройства для установки лопастей, а также элементы механизма поворота (без электропривода).

Разработка опытной вертикально-осевой ВЭУ. Наряду с этим нами предприняты инициативы по изготовлению вертикально-осевой ВЭУ с тихоходным синхронным генератором малой мощности (1,5 кВт, 375 об/мин) на постоянных магнитах [8].

Важным фактором в выборе типа ВЭУ явилась возможность применения лопастей без кривки профиля, более простыми в изготовлении и относительно невысокой стоимости, при этом предпочтение отдано ротору Дарье с вертикально установленными на ветроколесе лопастями, который имеет, к тому же, определенные преимущества по сравнению с горизонтальной ВЭУ.

Вся конструкция ветроустановки размещается на металлической стойке, которая представляет собой толстостенную металлическую трубу из стали марки Ст.10 с площадками для закрепления опоры к земле, с одной

стороны, а с другой – ветроколеса с генератором. Для упрочнения несущей площадки предусмотрены ребра жесткости.

Лопasti ветроколеса закреплены в специальных держателях обтекаемой формы. Угол разворота лопасти фиксирован, но предусмотрена возможность установки трех положений угла атаки: 5°, 10° и 15°. Для нормальной работы ВЭУ, с учетом возникающих на концах лопасти завихрений, выбрано 3 лопасти. Для придания прочности конструкции центральные трубки каркаса ветроколеса диаметром 38 мм расположены в два яруса с расстоянием между ними 800 мм. Вырабатываемая электрическая мощность ВЭУ при номинальной скорости ветра 10 м/с составляет 1,5 кВт.

Заключение

Отдельные из описанных выше ВЭУ, также как и установленные на них экспериментальные генераторы серий ВЭГ и СГПМ, прошли успешные испытания в течение нескольких лет, однако были демонтированы в связи с трудностями финансирования. В тоже время накопленный опыт проектирования, производства и испытаний этих установок может быть успешно реализован при реализации других подобных проектов.

К задачам дальнейших исследований в данном направлении следует отнести:

- изучение физических процессов и взаимодействий, а также температурных режимов в реальных условиях эксплуатации ВЭУ;
- усовершенствование системы регулирования напряжения и обеспечения качества вырабатываемой электроэнергии;
- совершенствование методики расчета тихоходных СГ с учетом действующих в ВЭУ электродинамических и механических нагрузок;
- исследования и разработка безотходных технологий производства узловых элементов электромеханических преобразователей и элементов ВЭУ.

Кроме того актуальными являются оптимизация алгоритма управления ВЭУ и их дальнейшие конструктивные усовершенствования.

Список литературы

1. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы: учебник / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев: Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т ХАИ; Севастополь: СевНТУ, 2003. 400 с.
2. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: учебник / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев: Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т ХАИ; Севастополь: СевНТУ, 2004. 519 с.
3. Неисчерпаемая энергия. Книга 3. Альтернативная энергетика. / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: «Севаст. нац. техн. ун-т», 2006. – 643 с.
4. Неисчерпаемая энергия. Книга 4. Ветроводородная энергетика. / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: «Севаст. нац. техн. ун-т», 2007. – 606 с.
5. Голубенко Н.С., Довгалюк С.И., Фельдман А.М. [и др.]. ПФГ «Конкорд». Ветроэлектрическая турбогенераторная установка ТГ-750 // Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в енергозабезпеченні регіону: матеріали наук.-практ. конф. / Регіональний філіал нац. інституту стратегіч. досліджень в м. Дніпропетровську; / за ред. проф. А.І. Шевцова, Дніпропетровськ: 2007. С. 38–41.
6. Пат. 88140 Украина, МПК Н 02 К 21/00. Многомашинная вертикально-осевая ветроустановка / А.М. Олейников, В.Т. Плакида, П.В. Терещенко [и др.]. Оpubл. 11.03.2014. Бюл. № 5.
7. Олейников А.М., Зарицкая Е.И., Пильганчук А.В. Автономная безредукторная ВЭУ с тихоходным синхронным генератором средней мощности // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, Энергетика, Экология: Сб. науч. тр. Севастополь, 2009. Вып. 97. С. 103–106.
8. Автономные ветроэнергетические установки: учебно-методическое пособие для студентов технических высших учебных заведений / А.М. Олейников, Ю.В. Матвеев [и др.] / под ред. А.М. Олейникова. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. 192 с.
9. Пат. 86070 Украина, МПК Н 02 К 21/00. Ротор тихоходного синхронного генератора с постоянными магнитами / А.М. Олейников, В.Н. Мартынов, П.В. Терещенко [и др.]. Заявитель патентообладатель СевНТУ; Оpubл. 25.03.2009. Бюл. № 6.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПОГРУЖАЕМЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ И ОТЛАДКИ НОВЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

*Оленин А.Л., к.т.н., с.н.с. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (<https://ocean.ru/>)
117997, г. Москва, Нахимовский проспект, д.36, тел. 89104780594 e-mail: olenant@hotmail.com*

MULTICHANNEL IMMERSIBLE MEASURING SYSTEM FOR TESTING AND DEBUGGING NEW OCEANOLOGICAL MEASURING CHANNELS

Olenin A.L.

Annotation

The development of new measuring instruments for in situ marine research is considered. Particular attention is paid to the measuring channels for the study of plankton. The work was carried out using the previously created measuring complex in the marine expedition to the Black and Kara Seas.

Keywords

Marine testing, plankton, particles, measuring channel, submersible probe, simultaneous measurements.

Аннотация

Доклад посвящен созданию новых измерительных средств для морских исследований in situ. Особое внимание уделено измерительным каналам для исследования планктона. Работы выполнялись с помощью созданной ранее измерительно-технологической платформы в морских экспедициях в Черное и Карское моря.

Ключевые слова

Морские испытания, измерительный канал, планктон, частицы, погружаемое устройство, одновременные измерения.

Цель и постановка задачи

В результате выполнения большого объема работ по различным программам еще в конце 80-х годов прошлого столетия появились отечественные сертифицированные зондирующие, буксируемые, автономные измерительные комплексы, обеспечивающие экспериментальные исследования в океане в диапазоне пространственно-временных масштабов в пределах от секунд до десятков суток по времени и от сантиметров до сотен и тысяч километров по расстоянию. В настоящее время, на российском рынке измерительной аппаратуры представлено в основном иностранное оборудование ведущих мировых производителей. Однако новые идеи побуждают исследователей обращаться к самостоятельному созданию новых макетных образцов измерительной техники, т.к. существующий парк аппаратуры не отвечает в должной мере потребностям экспериментальных исследований.

В частности, идет непрерывный поиск возможностей создания новых измерительных каналов - основы контактных измерений in situ. Измерительные каналы позволяют проводить количественные измерения различных явлений в водной среде с помощью погружаемых зондов. Например, интерес представляют каналы для анализа размерно-количественного частиц взвеси в морской воде. Работа таких каналов основана либо на обработке изображений частиц взвеси или на более сложных голографических методах регистрации.

Однако многие исследователи недооценивают важность использования специального экспедиционного оборудования для отработки создаваемых макетов. В процессе отладки, испытаний и собственно работы таких устройств требуется обеспечить:

- возможность работы с любого судна
- высокоскоростную передачу данных на борт судна
- достаточный уровень электропитания
- установочное место под канал на силовой раме погружаемого зонда
- получение граничных гидрофизических условий в точке измерения.

Что сделано и предлагается

Для работ с такими каналами в ИО РАН был создан измерительно-технологический комплекс, прошедший испытания в 2013 году на Черном Море [1,2].

Комплекс содержит:

- легко транспортируемую электрическую лебедку с электрическими и оптическими вращающимися переходами
- оптико-волоконный кабель-трос 350 м
- погружаемое устройство (зонд)
- судовой блок и рабочее место оператора

Комплекс позволяет проводить натурные морские испытания различных макетных образцов измерительных каналов с одновременным измерением фоновых гидрофизических условий in situ. При этом отладочные работы с новыми каналами с помощью такого комплекса не мешают проведению плановых измерений на станциях другими научными отрядами (собственная лебедка).

В 2013 году в рейсе на НИС “Денеб” с помощью комплекса были зарегистрированы изображения частиц планктона до глубины 320 м [1]. В 2016 году с помощью комплекса успешно испытана до глубины 200 м в Карском Море погружаемая голографическая камера разработки Томского Государственного Университета и также регистрировались изображения частиц планктона. Работы по регистрации и размерно-количественным измерениям планктона продолжаются.

В настоящее время определены мероприятия по модернизации комплекса, в частности:

-уменьшение массы лебедки, переход на другой тип кабеля

-использование более компактного, уменьшенного по высоте погружаемого зонда с аккумуляторным питанием.

Рекомендации и выводы

Представляется правильным привлечение как самого комплекса, так и научно-технических наработок, полученных при работе с ним при постановке новых НИР и НИОКР по программам морского приборостроения.

Литература

1. Смирнов Г.В., Матишов Г.Г. Оленин А.Л., Аистов Е.А., Григоренко К.С., Степаньян О.В. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник южного научного центра 2014. Т. 10. № 3 С. 54–60
2. Смирнов Г.В., Оленин А.Л. Морские информационно-измерительные системы и новые каналы измерения гидрофизических параметров// Океанология. 2015. Т.55. №2 С. 291-295.

ИТТЕРБИЕВЫЙ БОРТОВОЙ ИОННЫЙ СТАНДАРТ (ПРОЕКТ «ИБИС»)

Пахомов А.Ю., к.б.н., помощник директора по проектной работе

Хабарова К.Ю., к.ф.-м.н., старший научный сотрудник

Семериков И.А., младший научный сотрудник

Колачевский Н.Н., чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., директор

*ФГБУН ФИАН, <https://www.lebedev.ru/>, 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53
тел. (495) 668-88-88 доб.6565, e-mail: pakhomov@lebedev.ru*

YTTERBIUM BASED ION STANDARD («YBIS» PROJECT)

Pakhomov A.Yu., Khabarova K.Yu., Semerikov I.A., Kolachevsky N.N.

Annotation

The work describes the project aimed for development of a prototype of modular platform for an optical frequency standard based on a single ultracold ytterbium ion for both ground and space applications.

Keywords

Optical frequency standard, optical clock, ultracold ions, ytterbium optical clock, GLONAS.

Аннотация

В работе описывается проект по созданию прототипа бортовой модульной платформы оптического стандарта частоты на холодных ионах иттербия для наземных и бортовых приложений.

Ключевые слова

Оптические стандарты частоты, оптические часы, ультра холодные ионы, иттербиевый стандарт частоты, ГЛОНАСС.

Введение

На сегодняшний день точность геопозиционирования, достигаемая с помощью разработанной в России системы ГЛОНАСС, составляет порядка 2 метров, что существенно ограничивает ее использование. Повышение точности глобальных навигационных систем возможно за счет увеличения точности и стабильности наземных и бортовых стандартов частоты. Основной целью проекта «ИБИС» является создание экспериментального образца модульной платформы оптического стандарта частоты, обеспечивающего суточную нестабильность опорного сигнала не хуже $5E-16$ для нового поколения бортовых синхронизирующих устройств космических аппаратов системы ГЛОНАСС и обеспечения пространственной точности геопозиционирования не хуже 20 см.

Иттербиевый Бортовой Ионный Стандарт

На сегодняшний день все существующие системы глобального позиционирования (ГЛОНАСС, GPS, Beidou и др.) используют радиочастотные (микроволновые) стандарты частоты различного типа. Точность и стабильность перечисленных радиочастотных стандартов находятся на уровне от $1E-14$ до $1E-15$ и от $1E-12$ до $1E-13$ за 1 секунду соответственно, чем и ограничивается существующая точность геопозиционирования. Наиболее точным и стабильным на сегодняшний день радиочастотным стандартом для космических приложений является радиочастотный стандарт на ионах ртути, показывающий стабильность $5E-14$ за 1 секунду (проект NASA Deep Space Atomic Clock [1]), запуск которого запланирован на 2018 год.

Несмотря на заметный прогресс в области радиочастотных стандартов частоты, уровень точности $1E-16$ является их пределом, и дальнейшее повышение точности стандартов частоты возможно только за счет перехода из радиочастотного диапазона в оптический диапазон. Разработка методов сверхглубокого лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов, появление фемтосекундных синтезаторов частот в сочетании с развитием технологий высокостабильных лазерных систем позволило создать экспериментальные образцы оптических стандартов частоты с точностью порядка единиц восемнадцатого знака [2]. Мировыми лидерами в этой области являются лабораторные оптические часы на одиночном ионе иттербия (точность $3E-18$) [1], ионе алюминия (точность $7E-18$) [3], ансамблях атомов иттербия (точность $6E-18$) [4] и стронция (точность $2E-18$) [5].

Основным направлением в области оптических стандартов частоты является создание транспортируемых наземных и бортовых часов. Уже были продемонстрированы перевозимые оптические стандарты частоты на основе атомов стронция в Германии [6] и одиночном ионе кальция в Китае [7]. В Германии в 2017 году Министерство науки и образования (BMBWF) запустило большую национальную программу в области фотоники и квантовых технологий “Quantentechnologie – Grundlagen und Anwendungen (QUTEGA)” [8], где в качестве первого пилотного реализуется проект построения портативных оптических часов на единичном ионе иттербия «Opticlock» [9], осуществляемый консорциумом научных организаций, университетов и коммерческих компаний. Аналогичных транспортируемых оптических стандартов частоты на сегодняшний день в России нет.

Имеющийся в России научно-технический задел в области оптических стандартов частоты (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Институт лазерной физики СО РАН, Сколковский институт науки и технологий)

позволяет создать в сжатые сроки экспериментальный образец оптического репера частоты, обеспечивающий относительную суточную нестабильность $5E-16$, что обеспечит достижение дециметровой точности позиционирования в глобальном масштабе, и будет способствовать интенсивному освоению новых территорий, ближнего и дальнего космоса.

В настоящее время первичный эталон времени (цезиевый фонтан ВНИИФТРИ) обеспечивает среднеквадратическое отклонение результатов измерений при воспроизведении единиц времени и частоты, при интервале времени измерений 1 сутки не хуже $5E-16$. В отличие от предлагаемого к разработке оптического стандарта частоты, данный результат относительной нестабильности близок предельно достижимым для стандартов частоты, основанных на квантовых переходах микроволнового диапазона, используемых в созданных в настоящее время устройствах. Кроме того, первичные эталоны частоты и времени являются дорогостоящими громоздкими лабораторными установками, существующими в единичных экземплярах в ведущих метрологических центрах.

В проекте «ИБИС» предлагается разработка и испытание модулей оптического стандарта частоты с последующей их интеграцией в экспериментальный образец бортового оптического репера частоты с суточной нестабильностью $5E-16$.

Результаты, полученные в ходе выполнения проекта «ИБИС», послужат основой для реализации семейства перспективных опытно-конструкторских работ по созданию нового поколения систем синхронизации, повышения точности обнаружения и управления воздушных, надводных и подводных транспортных систем, создания нового поколения систем дистанционного зондирования Земли, миниатюризации компонент бортовых оптических реперов частоты. Внедрение оптических стандартов частоты откроет широкому спектру потребителей – от федеральных органов исполнительной власти до предприятий целого ряда ключевых отраслей экономики возможность получения навигационной, картографической и геодезической информации принципиально нового качества в статическом и динамическом режимах при одновременном уменьшении массогабаритных и эксплуатационных характеристик стандарта и повышении степени автоматизации систем на его основе.

Заключение

Использование нового поколения навигационных систем на основе оптических стандартов частоты с точностью позиционирования на сантиметровом уровне приведет к повышению полноты и качества геодезической информации для строительной и добывающей отраслей, уточнения кадастровых реестров, а также получения конкурентного преимущества российских компаний, использующих новые возможности и сервисы ГЛОНАСС, интенсификации развития новых отраслей экономики, в частности, высокоточного земледелия с использованием роботизированных систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятия 1.4 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI61017X0010).

Список литературы

20. Проект NASA Deep Space Atomic Clock https://www.nasa.gov/mission_pages/tdm/clock/index.html
21. F. Riehle, 2017, "Optical clock networks". Nature Photonics, Импакт-фактор: 37.852. http://www.nature.com/nphoton/journal/v11/n1/full/nphoton.2016.235.html?WT.feed_name=subjects_physics. DOI:10.1038/nphoton.2016.235
22. C. W. Chou et al., 2010, "Frequency Comparison of Two High-Accuracy Al^+ Optical Clocks", Physical Review Letters, Импакт-фактор: 8.462. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.104.070802>. DOI:10.1103/PhysRevLett.104.070802
23. B. J. Bloom, 2014, "An optical lattice clock with accuracy and stability at the 10^{-18} level", Nature, Импакт-фактор:40.137. DOI:10.1038/nature12941. <https://www.nature.com/nature/journal/v506/n7486/full/nature12941.html>
24. T.L. Nicholson, 2015, "Systematic evaluation of an atomic clock at 2×10^{-18} total uncertainty", Nature Communications, Импакт-фактор:12.124. <https://www.nature.com/articles/ncomms7896>. DOI:10.1038/ncomms7896
25. S.B. Koller, 2017, "Transportable Optical Lattice Clock with 7×10^{-17} Uncertainty", Physical Review Letters, Импакт-фактор: 8.462. <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.118.073601#fulltext>. DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.063001
26. J. Cao et al., 2016, "A transportable $40Ca^+$ single-ion clock with 7.7×10^{-17} systematic uncertainty", arXiv:1607.03731
27. <http://www.qutega.de/home/>
28. <http://www.opticlock.de/info/>

**ГАЗОАНАЛИЗАТОР ОСНОВАННЫЙ НА СПЕКТРОСКОПИИ
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯННОГО СВЕТА**

*Петров Д.В., к.т.н., с.н.с.; Матросов И.И., к.т.н., с.н.с.; Зарипов А.Р., инженер 2 кат.
ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический 10/3, тел.: (3822) 492-265, dpetrov@imces.ru, http://www.imces.ru*

GAS ANALYZER BASED ON RAMAN SPECTROSCOPY

Petrov D.V., Matrosov I.I., Zaripov A.R.

Annotation

Description of gas analyzer based on Raman spectroscopy developed in the IMCES SB RAS is presented. Examples of determination of component composition of natural gas and atmospheric air with this device are given. The prospects of such devices are described.

Keywords

Raman spectroscopy, spectrometer, gas analysis, multicomponent gaseous media.

Аннотация

Представлено описание разработки ИМКЭС СО РАН – газоанализатора основанного на спектроскопии комбинационного рассеяния света. Приведены примеры измерения с его помощью состава природного газа и атмосферного воздуха. Описаны перспективы таких приборов.

Ключевые слова

Спектроскопия комбинационного рассеяния света, спектрометр, газоанализ, многокомпонентные газовые среды.

Определение состава многокомпонентных газовых сред в реальном масштабе времени является актуальной задачей в различных областях науки и техники. Прежде всего, в современных газоаналитических приборах, нуждаются предприятия, занимающиеся добычей и переработкой природного газа, предприятия электроэнергетики, природоохранные учреждения и службы МЧС РФ. Помимо этого, востребованность к таким приборам растет и в современной медицине, где достаточно многообещающим направлением является диагностика болезней по составу выдыхаемого воздуха.

В настоящее время существует два метода способные регистрировать все молекулярные компоненты газовой среды: газовая хроматография и масс-спектрометрия. Основными недостатками хроматографов являются длительное время проведения анализа, необходимость в расходных материалах, деградация со временем характеристик основных узлов, а также ограниченный круг анализируемых газовых компонентов на одном приборе. Этих недостатков лишены масс-спектрометры, однако, это дорогие приборы, требующие сложной и трудоемкой пробоподготовки, а также квалифицированного обслуживания. Помимо этого, ни один из данных приборов, в силу своей специфики, не способен обеспечить непрерывный мониторинг состава анализируемой среды.

В ИМКЭС СО РАН ведется разработка нового класса стационарных газоанализаторов, основанных на спектроскопии комбинационного рассеяния света (КР). Данные приборы обладают рядом преимуществ перед существующими аналогами: одновременный контроль с помощью одного лазера с фиксированной длиной волны всех молекулярных составляющих, содержание которых превышает порог чувствительности аппаратуры, возможность диагностики газовых сред с неизвестным компонентным составом, отсутствие расходных материалов, а также оперативность получения результата анализа.

В настоящий момент разработана модификация КР-газоанализатора под названием «СКР-02». Особое внимание при разработке данного прибора было уделено повышению эффективности регистрации спектров для обеспечения требуемого уровня сигналов. В основу прибора положена классическая 90 градусная геометрия сбора рассеянного света, а все основные компоненты размещены на двухъярусной конструкции для повышения компактности (рис. 1).

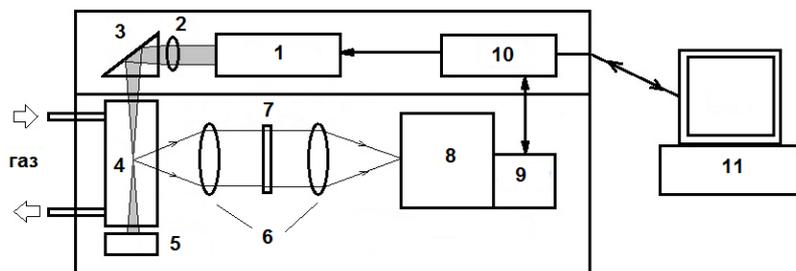


Рисунок 1 – Блок-схема газоанализатора «СКР-02» (1 – лазер, 2 – фокусирующая линза, 3 – поворотная призма, 4 – газовая кювета, 5 – ловушка лазерного излучения, 6 – фотообъектив, 7 – нотч-фильтр, 8 – спектральный прибор, 9 – ПЗС-матрица, 10 – блок питания и управления, 11 – ПК) и его внешний вид.

Принцип работы СКР-02 заключается в следующем. Возбуждающее излучение от непрерывного DPSS лазера мощностью 2 Вт ($\lambda=532$ нм) фокусируется внутри газовой кюветы. Рассеянное на молекулах, находящегося внутри кюветы газа, излучение собирается объективом с относительным отверстием $f/1.8$ и с помощью идентичного объектива направляется на щель спектрометра. Между объективами установлен голографический нотч-фильтр для ослабления на 6 порядков излучения в области длины волны генерации лазера. В спектрометре собранное излучение раскладывается в спектр и регистрируется ПЗС-матрицей Hamamatsu S10141. Блок питания и управления позволяет менять режим работы лазера, а также считывает зарегистрированные спектры КР с ПЗС-матрицы и направляет их на ПК для визуализации и дальнейшей обработки.

Важно отметить, что используемый спектрометр «МКР-02» [1] также является собственной разработкой. При использовании в данном приборе входной щели шириной 40 мкм и дифракционной решетки 1600 штр/мм обеспечивается одновременная регистрация спектрального диапазона $200-3800$ см⁻¹ при разрешении ~ 6 см⁻¹. В данный диапазон попадают фундаментальные колебательные полосы всех молекулярных компонентов, за исключением водорода, который, однако, может быть определен по чисто вращательному спектру. Таким образом в газоанализаторе «СКР-02» обеспечивается одновременный контроль всех молекулярных компонентов анализируемой газовой среды концентрации которых превышает порог чувствительности. В свою очередь, основным методом определения компонентного состава анализируемого газа является метод разложения его зарегистрированного спектра КР по спектрам КР отдельных компонентов. Имеющаяся база спектров КР постоянно пополняется.

Апробация созданного КР-газоанализатора «СКР-02» была проведена на образце природного газа полученном в компании ООО «Газпром трансгаз Томск». В анализируемом газе контролировалось содержание таких компонентов как метан, этан, пропан, н-бутан, изо-бутан, н-пентан, изо-пентан, н-гексан, углекислый газ, азот, водород, кислород и пары воды. Время регистрации одного спектра составляло 100 с, давление газа в кювете – 25 атм. Пример полученного спектра показан на рис. 2. Из данного рисунка видно, что, несмотря на относительно невысокое разрешение спектрометра, полосы всех компонентов достаточно хорошо различимы.

Сопоставление полученных результатов анализа с данными сертифицированного газового хроматографа «Кристалл - 2000М» показало их хорошее взаимное согласие [2], при этом было экспериментально подтверждено, что разработанный прибор способен контролировать содержание всех молекулярных компонентов, концентрация которых превышает 0,005 %. Вместе с этим необходимо отметить, что время получения результата одного анализа данного газа на хроматографе было значительно больше и составляло около 20 минут. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что КР-газоанализаторы являются вполне конкурентоспособны газовым хроматографам в области диагностики состава как природного газа, так и схожих с ним топливных газов (биогаз, сланцевый газ и т.п.).

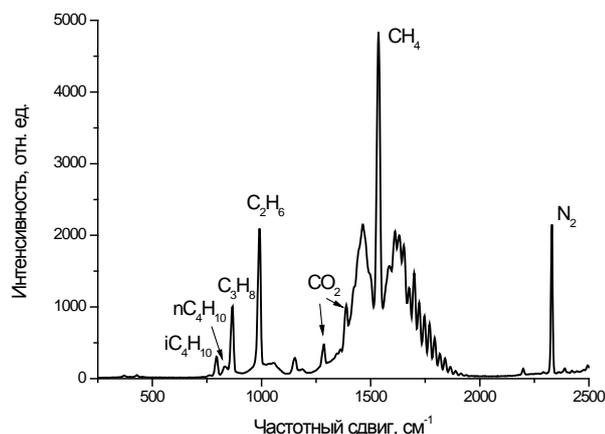


Рисунок 2 – Спектр КР природного газа.

Также возможности прибора были исследованы на примере мониторинга суточных колебаний содержания углекислого газа в атмосферном воздухе. Заборы проб осуществлялись ежедневно (утром и вечером). В целях повышения чувствительности, для отслеживания вариаций углекислого газа на уровне нескольких ppb (0,0001 %), анализируемый воздух сжимался до давления 35 атм, а время накопления сигнала было увеличено до 1000 с. Полученные результаты были сопоставлены с данными аттестованного абсорбционного ИК-газоанализатора LGR 907-0010 и также было получено хорошее соответствие [3]. Отклонения составили <3 ppb. При этом стоит отметить, что в регистрируемых спектрах КР (см. рис. 3) помимо основных компонентов атмосферы (азот, кислород, пары воды и углекислый газ) можно было видеть полосу метана, концентрация которого ~ 2 ppb, а также полосы изотопических модификаций данных молекул ($^{14}\text{N}^{15}\text{N}$, $^{16}\text{O}^{18}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}^{16}\text{O}$). Очевидно, что благодаря возможности одновременного контроля всех молекулярных газовых компонентов, КР-газоанализаторы могут быть применены не только в области экологического мониторинга, но и в тех случаях, когда требуется анализ газовой среды состав которой заранее неизвестен.

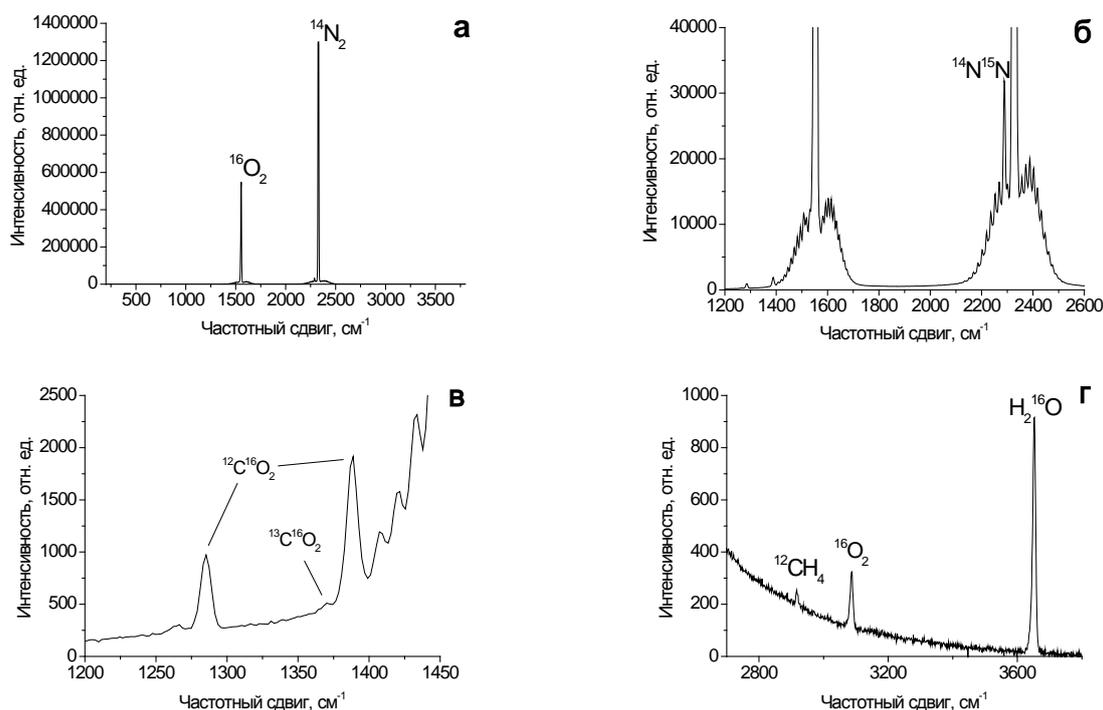


Рисунок 3 – Зарегистрированный спектр КР атмосферного воздуха представленный в диапазонах $200\text{-}3800\text{ см}^{-1}$ (а), $1200\text{-}2600\text{ см}^{-1}$ (б), $1200\text{-}1450\text{ см}^{-1}$ (в), $2700\text{-}3800\text{ см}^{-1}$ (г).

Мы полагаем, что за счет своей универсальности и широкого профиля применения КР-газоанализаторы имеют большое будущее. В настоящее время в ИМКЭС СО РАН ведется доработка улучшенного в части предельной чувствительности КР-газоанализатора «СКР-04». Предполагается, что он будет способен контролировать все молекулярные компоненты, присутствующие в воздухе, содержание которых будет превышать 50 ppb, что обеспечит контроль большинства загрязняющих веществ на уровне ПДК, а также откроет возможность применения КР-газоанализа в области диагностики состава выдыхаемого воздуха.

Литература

1. Петров Д.В., Матросов И.И., Сединкин Д.О., Тихомиров А.А. Эффективный спектральный прибор для спектроскопии комбинационного рассеяния света // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 08. С. 756-760.
2. Булдаков М.А., Королев Б.В., Корольков В.А., Матросов И.И., Петров Д.В., Тихомиров А.А. Анализ природного газа методом спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния света // Оптический журнал. 2013. Т.80. №7. С. 27-32.
3. Petrov D. V., Matrosov I. I., Zaripov A. R. Determination of atmospheric carbon dioxide concentration using Raman spectroscopy // Journal of Molecular Spectroscopy. 2018. Doi: 10.1016/j.jms.2018.01.001.

АВТОНОМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ

*Пляка П. С., к.ф.-м.н., с.н.с., Валов Г. В., к.ф.-м.н., с.н.с., Герасюк В. С. м.н.с., ЮИЦ РАН. <http://www.ssc-ras.ru/>
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, pavstef@mail.ru +7 928 2796408*

AUTONOMOUS COMPLEXES FOR WATER PARAMETERS MONITORING

Plyaka P.S., Valov G.V., Gerasjuk V.S.

Annotation

Flow and submersible systems for monitoring, remote transmission and accumulation of water parameters are designed and manufactured. The complexes include chlorophyll fluorescence, temperature, salinity, fluorescence oxygen sensor. The measurement results are stored in the memory of the base unit and transmitted via an external modem. The samples were tested at the shore stations and on ship board.

Keywords

Water medium, flow sensor, immersion sensor, data transmission, continuous monitoring, fluorimeter.

Аннотация

Разработаны и изготовлены проточный и погружной комплексы для контроля, дистанционной передачи и накопления параметров водной среды. Комплексы включают датчики флуоресценции хлорофилла, температуры, солености, флуоресцентный датчик кислорода. Результаты измерения накапливаются в памяти базового блока и передаются через внешний модем. Образцы испытаны на береговых постах и на борту судна.

Ключевые слова

Водная среда, проточный датчик, погружной датчик, передача данных, непрерывный мониторинг, флуориметр.

Для рационального использования и охраны водных ресурсов требуется достоверная информация о текущем состоянии и динамике изменения характеристик водной среды. В первую очередь это касается районов активного природопользования, к которым, несомненно, относятся реки и прибрежные зоны морей юга России. Наиболее эффективным способом контроля биохимических параметров пресноводных и морских водоемов является сочетание дистанционных и контактных методов. Расшифровка изображений, полученных при помощи спутников, самолетов и беспилотных аппаратов в оптическом, инфракрасном и радиодиапазонах, дает информацию о состоянии водной среды на обширных территориях. Но, дистанционные методы не всегда позволяют оперативно получить доступ к заданному месту наблюдений, зависят от погоды. Кроме того, не все характеристики могут быть определены дистанционно.

С развитием современных технологий и широкой доступностью беспроводных сетей передачи данных контактные системы контроля биохимических параметров природных вод получили дополнительный импульс к развитию. Интеллектуальные датчики с микропрограммной обработкой малопотребляющими микроэлектронными схемами дают возможность с заданной периодичностью проводить измерения на стационарных постах или при движении судна. Результаты измерений могут оперативно передаваться на удаленный сервер и подвергаться комплексной обработке.

Целью работы являлась разработка и испытание автономных комплексов для контактного контроля важнейших параметров водной среды с передачей результатов по беспроводным сетям связи, испытание их на береговых постах и на борту исследовательского судна, отработка алгоритмов накопления и оперативной обработки данных.

Водная среда является средой обитания различных гидробионтов, в том числе и тех, что являются объектами рыбоводства. Интенсификация аквакультуры в естественных и искусственных водоемах требует постоянного мониторинга жизненно важных биохимических показателей. Основными параметрами водной среды, влияющими на ее биопродуктивность, являются температура, содержание растворенного кислорода, кислотность, соленость и концентрация фитопланктона, являющегося первичной кормовой базой. Для измерения перечисленных величин на рынке широко представлены различные приборы, преимущественно зарубежного производства, отличающиеся высокой стоимостью. Чаще всего это приборы широкого диапазона измерений, часто излишне сложные и трудно интегрируемые в распределенную сеть сбора данных, протоколы связи измерительного датчика с контроллером являются обычно закрытыми.

Нами предпринята попытка создать ряд сравнительно простых датчиков, способных легко интегрироваться в автономные измерительные комплексы, предназначенные для эксплуатации на стационарных постах и на борту судна. Датчики содержания хлорофилла-А (хл-А), общего взвешенного вещества, солености, температуры, растворенного кислорода были разработаны и изготовлены в двух вариантах: проточном и погружном.

Для обоих вариантов разработан базовый блок, содержащий аккумулятор напряжением 12 В и емкостью 2,3 А•ч и плату управления (рис.1). К блоку можно подключать до четырех датчиков одновременно, он изготовлен в стандартном герметизированном пластиковом корпусе G218. Подзарядка аккумулятора осуществляется от

внешнего источника постоянного тока, в том числе альтернативного, или от бортовой сети переменного тока для судового варианта.

В соответствии с заданным алгоритмом микроконтроллер платы управления подает питание поочередно на подключенные датчики и проводит их опрос. Обмен данными производится по стандарту RS-485. Полученные от датчиков численные результаты накапливаются в энергонезависимой памяти объемом 16 Мб, передаются на подключенный GSM или спутниковый модем, а также через кабель USB на компьютер, если он подключен.

В датчике хл-А светодиоды с центральной длиной волны 447,5 нм излучают импульсы длительностью от 5 до 80 мкс. Под их воздействием содержащийся в фитопланктоне пигмент флуоресцирует в красной и ближней ИК области. Это излучение через фильтры попадает на кремниевый фотодиод, сигнал с которого усиливается и оцифровывается 16-разрядным АЦП в интегральном исполнении. По другому приемному каналу оцифровывается сигнал пропорциональный мощности возбуждающего светового импульса. Источник опорного напряжения для обоих каналов общий. Микроконтроллер усредняет и предварительно обрабатывает полученные значения и передает в базовый блок.

В проточном варианте датчика хл-А заборная вода протекает по прозрачной трубке с внутренним диаметром 18 мм. С двух сторон трубка освещается светодиодами, с двух других к ней прилегают фотодиодные приемники и светофильтры. Все элементы с платой управления размещены в стандартном пластиковом корпусе G369MF, на котором размещен соединитель РСГ-4. Подключение к системе прокачки воды осуществляется при помощи фланцев под диаметр 0,5 дюйма. В погружном варианте все элементы помещены в цилиндрический корпус из нержавеющей стали, уплотненный силиконовыми кольцами. Возбуждающее излучение и свечение флуоресценции проходят через прозрачное окошко, расположенное в торце цилиндра. К другому торцу присоединена труба для прокладки кабеля.

Датчики общего взвешенного вещества отличаются от описанных выше датчиков хл-А красной длиной волны излучающих светодиодов, отсутствием фильтров и меньшей энергией воздействующего импульса света. В дальнейшем планируется совместить датчики взвешенного вещества и хл-А в одном блоке. Электронные схемы всех оптических датчиков идентичны и отличаются лишь коэффициентами усиления в каналах возбуждения и приема, а также алгоритмом обработки.

В датчике растворенного кислорода нами использован флуориметрический метод. Полимерная пленка, содержащая комплекс на основе рутения (II) перхлората прикрепляется прозрачным клеем к наружной стенке стеклянной пробирки диаметром 21 мм. Внутри пробирки размещаются светодиод и фотодиод со схемами возбуждения и усиления, а также светофильтр. Присутствующий в воде кислород вызывает тушение флуоресценции, что и регистрируется датчиком. В погружном варианте датчика кислорода прозрачная часть датчика выступает из металлического корпуса, контактируя с окружающей водой. В проточном аналогичный элемент вводится через резьбовой фланец в трубопровод.

Измерение температуры воды с точностью от 0,2 до 0,5 градусов не представляет технических трудностей, для этого имеется ряд микросхем известных производителей. В погружном варианте датчиков корпус микросхемы прижимается к защитному корпусу из нержавеющей стали. Для измерения температуры воды в проточном режиме используется тонкостенный патрубок, включенный в трубопровод.

Вышеперечисленные датчики проточного типа прошли длительные испытания на научно-исследовательском судне (НИС) Денеб в ходе экспедиций по низовьям Дона и в акваториях Азовского и Черного морей. Измерения параметров воды проводились с периодичностью три раза в минуту, результаты передавались на сервер с использованием спутникового модема.

Погружные датчики хл-А прошли экспериментальную проверку на Гидрофизической платформе РАН в п. Кацивелли в 2016 г. и прибрежной платформе АН Абхазии в г. Сухум в 2017 г.

Предложения, рекомендации и выводы

Разработаны эскизная конструкторская документация, топология печатных плат, микропрограммное и программное обеспечение. Измерительные комплексы с набором проточных и погружных датчиков показали надежность работы и достоверность измерений, данные оперативно и без потерь передавались на центральный сервер. Получены новые результаты о распределении и динамике параметров прибрежных вод. Устройства рекомендуются для широкого использования.



Рисунок 1 – Базовый блок погружного флуориметрического комплекса со снятой крышкой



Рисунок 2 – Погружной датчик флуоресценции хл-А

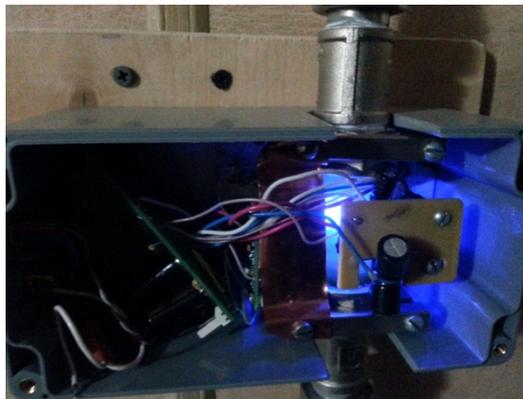


Рисунок 3 – Проточный датчик флуоресценции хл-А



Рисунок 4 – Проточный флуориметрический комплекс в трюме НИС «Денеб»

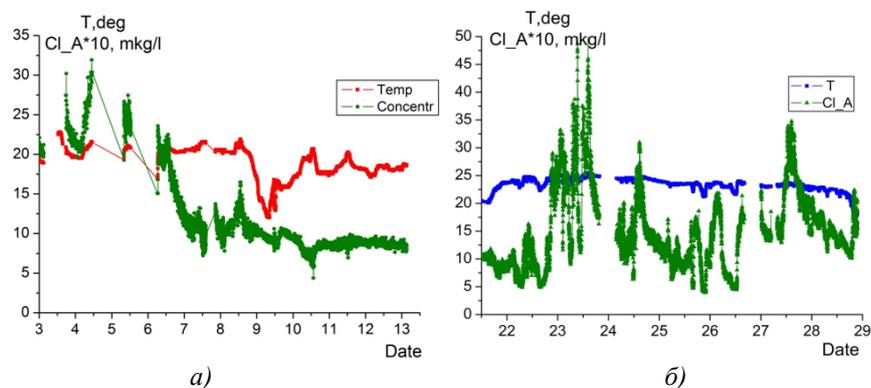


Рисунок 5 – Результаты измерения концентрации хлорофилла-А и температуры в воде Черного моря у побережья Крыма с 3 по 13 октября 2016 г (а) и с 21 по 29 сентября 2016 г в ходе экспедиции НИС «Денеб»

Литература

1. Патент на полезную модель № 165614 Автономный флуориметрический комплекс для определения фитопигментов и других значимых параметров водной среды / Поважный В.В., Поважный А.В., Пляка П.С. // Заявка № 2015153028 Дата регистрации 06.10.2016
2. Патент на полезную модель № 177930 Автономный флуориметрический комплекс для определения содержания хлорофилла фитопланктона и общего взвешенного вещества в водной среде / Пляка П.С., Поважный В.В.// Патент на полезную модель. Заявка № 2016149468. Дата регистрации 16.03.2018.

СОВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ НТЦ УП РАН

Балашов А.А., д.ф.м.н., глав. науч. сотр. отдела ИК спектроскопии

Булатов М.Ф., д.ф.м.н., директор НТЦ УП РАН

Пожар В.Э., д.ф.м.н., зав. отделом акустооптических информационных систем

Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН)

http://www.ntcup.ru, 117342 Москва, ул.Бутлерова,15, тел. (495) 3336102 e-mail: vitold@ntcup.ru

MODERN SPECTRAL OPTICAL INSTRUMENTS DEVELOPED IN SCIENTIFIC TECHNOLOGICAL CENTER OF UNIQUE INSTRUMENTATION OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

Balashov A.A., Bulatov M.F., Pozhar V.E.

Annotation

Review of modern spectral instruments, which are developed in STC UI RAS, is presented. There are presented Fourier-spectrometers, spectrometers, spectrometers based on acousto-optical tunable filters (AOTF): hyperspectrometers, stereo-spectrometers, endoscopic imaging spectrometers, as well as some other devices applied in spectral researches. A classification is presented, which accounts for basic features and characteristics.

Keywords

Spectral instruments, Fourier-spectroscopy, acousto-optics.

Аннотация

В докладе представлен обзор современных средств получения спектральной информации, разрабатываемых в Научно-технологическом центре уникального приборостроения РАН: фурье-спектрометров, спектральных устройств на основе акустооптических перестраиваемых фильтров (спектрометров, гиперспектрометров, стереоспектрометров, эндовидеоспектрометров), а также других оптических приборов, используемых для спектральных исследований. Представлена классификация приборов по основным свойствам и характеристикам.

Ключевые слова

Спектральные приборы, фурье-спектроскопия, акустооптика.

Введение

Оптическая спектроскопия и связанные с ней методы анализа широко используются в фундаментальных научных и прикладных исследованиях. Они дают возможность определять состав образцов, их структуру, состояние. Эти методы позволяют осуществлять неразрушающий контроль объектов, проводить измерения бесконтактно и удаленно. Многие из этих методов могут быть реализованы с помощью приборов, разрабатываемых в Научно-технологическом центре уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН).

Все эти оптические приборы могут быть разделены на группы по разным признакам.

1. По назначению. Выделяются измерительные приборы, исследовательские установки и вспомогательное оборудование.
2. По спектральному диапазону. Приборы охватывают широкую область оптического спектра: от ультрафиолетового (УФ) до далекого инфракрасного (ИК) диапазона. Имеется даже отдельная группа спектральных устройств на основе поверхностных плазмон-поляритонов, работающих в терагерцевом диапазоне [1].
3. По используемым спектральным методам: эмиссионной, абсорбционной (трансмиссионной), люминесцентной (флуоресцентной), модуляционной, дифференциальной, корреляционной, лазерной, многоволновой (фрагментарной) спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния (КР),.
4. По физическому способу регистрации. Имеются узкополосные программно-перестраиваемые фильтры и интерферометрические устройства.
5. По уровню решаемых задач. Все разрабатываемые средства можно разделить на три класса: 1) оптические элементы и устройства, выполняющие отдельные операции с оптическим излучением; 2) приборы, решающие целый класс задач, определяемых их назначением; 3) системы, спроектированные для решения специализированных задач спектрально-оптическими методами.
6. По условиям эксплуатации. Представлены как лабораторные приборы, так и мобильные приборы для исследований в полевых или заводских условиях.

7. По области применения. Приборы предназначены для научных исследований, для технологического контроля, медико-биологических исследований, мониторинга окружающей среды, изучения материалов в естественных и экстремальных условиях.

Ниже представлены основные типы выпускаемых приборов.

Фурье-спектрометры

Эта группа приборов (Рисунок 1) использует селективную модуляцию спектральных составляющих светового потока с помощью интерферометров разного типа. Спектр излучения вычисляется из зарегистрированных интерферограмм. Эти приборы работают в ИК диапазоне (1 – 100 мкм) и имеют различные специализированные модификации (лабораторные, внелабораторные, высокоточные, высокоразрешающие, высокоскоростные).

1. Лабораторные ИК фурье-спектрометры (АФ-1, АФ-3). Приборы разработаны для исследований в ближнем (3500 – 10000 см⁻¹) и среднем ИК диапазоне (400 – 5000 см⁻¹) со спектральным разрешением 0,1 - 8 см⁻¹.

2. Портативный фурье-спектрометр (ПАК-Б). Прибор предназначен для использования в лабораторных и полевых условиях для измерений спектров жидких и твердых образцов в среднем ИК диапазоне с разрешением 2 см⁻¹.

3. Фурье-спектрометр с оптоволоконным зондом (ФСВ). Прибор создан для экспресс-идентификации жидких органических соединений и контроля их состава в среднем ИК диапазоне с разрешением 2 см⁻¹. Позволяет проводить контроль в труднодоступных или опасных местах, в частности в технологических линиях.

4. Фурье-спектрорадиометр (ФСР-03). Прибор предназначен для мониторинга атмосферы в инфракрасном диапазоне излучения и обнаружения загрязняющих веществ в атмосфере, в частности, для обнаружения паров химически-опасных и отравляющих веществ в воздухе, их идентификации и количественной оценке их содержания. Трассовый спектрорадиометр способен работать как в активном режиме (с собственным источником излучения), так и в пассивном (по собственному тепловому излучению атмосферы). Он работает в среднем ИК диапазоне (800 – 4000 см⁻¹) с программно-регулируемым спектральным разрешением 0,3-8 см⁻¹.

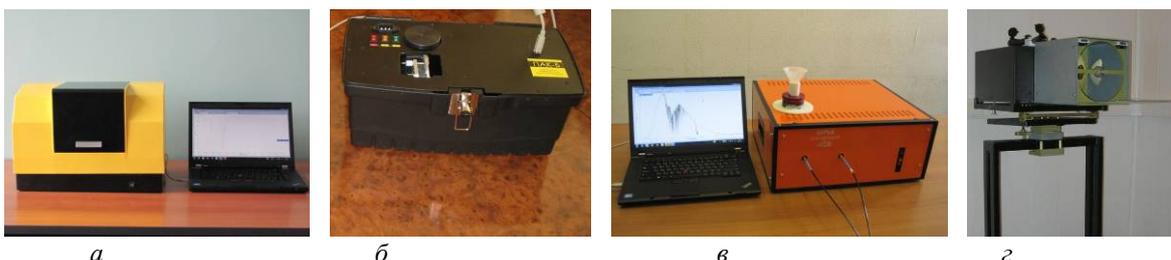


Рисунок 1 – Выпускаемые фурье-спектрометры: АФ-3 (а), ПАК-Б (б), ФСВ (в), ФСР-03 (г)

Ранее были разработаны следующие спектрометры: двухканальный фурье-спектрометр (ФС-02), фурье-спектрометры высокого разрешения (ФС-01, УФС-02), высокоскоростной фурье-спектрометр (БФС-01), а также система контроля качества горючего (АСИ ККГ-01).

Спектральные приборы на акустооптических (АО) фильтрах

Эта группа приборов (Рисунок 2) использует перестраиваемые ультразвуком оптические фильтры (АО фильтры). Мобильная конструкция допускает использование в различной обстановке.

1. Спектрометры (spectrometers), регистрирующие спектр оптического излучения $S(\lambda)$. Рабочий диапазон охватывает одну октаву по частоте в пределах от 0,25 мкм до 4 мкм при спектральном разрешении от 6 - 60 см⁻¹.

2. Приборы получения спектральных изображений (spectral imaging devices) представляют собой насадки на микроскоп или эндоскоп, которые существенно расширяет возможности этих стандартных устройств. Получение спектрального изображения $I(x,y;\lambda)$ на некоторой длине волны λ позволяет визуализировать распределение соответствующего вещества в образце.

3. Гиперспектрометры (hyperspectral imagers) обеспечивают получение данных о спектральных и пространственных свойствах объекта $I(x,y;\lambda)$. Способны, обеспечить анализ объектов с использованием методов спектральной визуализации.

4. Приборы получения спектральных стереоизображений (spectral stereo-imaging devices) позволяют зарегистрировать пары разноракурсных спектральных изображений $I_{1,2}(x,y;\lambda)$ на разных длинах волн, что позволяет определять спектральные и объемные свойства объекта.

5. Прибор определения объемной структуры слабоотражающих объектов (SD OCT) позволяет по спектру отраженного от неоднородной прозрачной среды светового потока $I(x,y;\lambda)$ методами спектральной оптической когерентной томографии (spectral-domain optical coherence tomography) определить распределение коэффициента

отражения по объему среды $R(x,y,z)$, выявляя, в частности, структуру биологических тканей. Прибор может быть также эффективно использован в профилометрии, для определения локальной формы поверхности непрозрачного отражающего объекта. На его основе создана многофункциональная установка для измерения объекта без его перемещения в трех режимах: классической и спектральной микроскопии и оптической когерентной томографии.

6. Система определения оптической толщины прозрачных объектов (digital holography) позволяет методами спектральной цифровой голографии определить фазовый портрет объекта, связанный с неоднородностью показателя преломления $n(\lambda)$ или толщины $d(x,y)$.

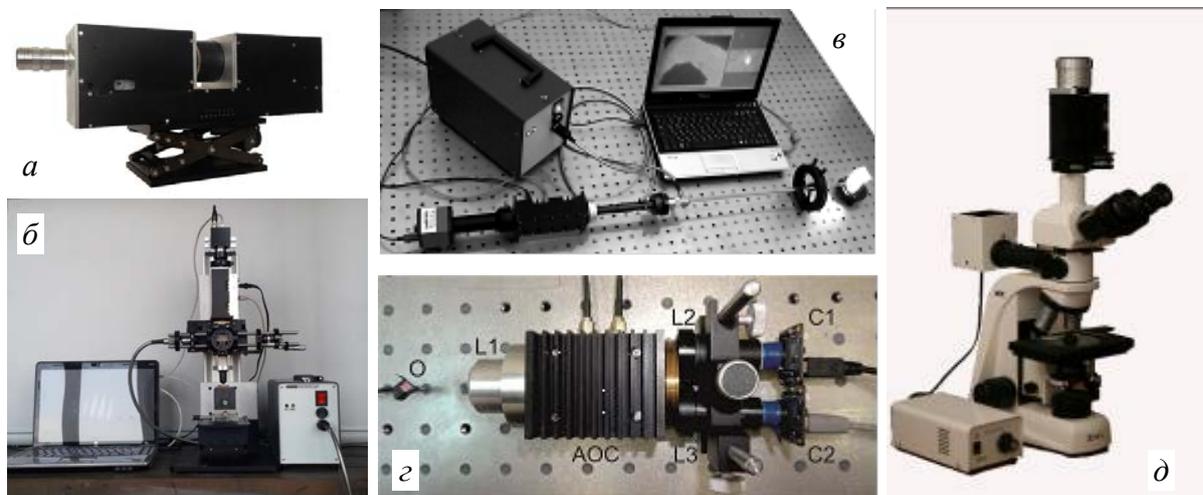


Рисунок 2 – АО спектральные системы:

- а – гиперспектрометр; б – система для профилометрии и оптической когерентной томографии (ОКТ);
в – эндоскопический видеоспектрометр; г – стереоспектрометр;
д – многофункциональная установка для ОКТ, микроскопии и спектральных измерений.*

7. Дифференциальные спектрометры (differential spectrometers) обеспечивают аппаратную регистрацию на произвольных длинах волн λ_k дифференциальных свойств спектра, в частности производных $S'(\lambda)$, $S''(\lambda)$ и без сканирования спектра определить наличие веществ в образце.

8. Система регистрации динамики спектральных характеристик (time-resolved system) позволяет по флуоресцентному отклику на нескольких длинах волн контролировать биодинамику или протекание технологических процессов.

9. Измерительно-аналитический комплекс (research system) на основе портативного АО спектрометра с лазерным возбуждением и баз данных по спектрам объектов разной природы проводить экспресс-анализа объектов во внелабораторных условиях.

Другие устройства

В число других, вспомогательных средств входят лазерные и узкополосные перестраиваемые источники света на основе АО монохроматоров, калиброванные по толщине (длине пути) кюветы, отражатели, оптоволоконные зонды, приставки зеркального и диффузного отражения для фурье-спектрометров.

Лазеры включают импульсные твердотельные одномодовые лазеры ИК и видимого диапазона (1,06 мкм, 532 нм, 355 нм, 266 нм, 212 нм, 1,57 мкм, 2.12 мкм). Также разработан RGB лазер, содержащий 3 смешиваемые в разных пропорциях компоненты: 632 нм, 532 нм и 451 нм.

Стереозондоскоп, содержащий видеокамеру и треугольную призму на дистальном конце, позволяет зарегистрировать пару разноракурсных изображений в труднодоступных полостях и построить их стереоизображение.

Заключение

Совокупность спектральных устройств, приборов и систем, разработанных в НТЦ УП РАН достаточна для проведения спектральных исследований объектов разного типа с помощью классических методов спектроскопии. Кроме того, они позволяют реализовать новые эффективные методы спектрального анализа.

ЦИФРОВОЙ ПОЛЯРИМЕТР-САХАРИМЕТР АП-05М

Пеньковский А.И., начальник отдела аналитических приборов НПО-430

Путилина Е. Ю., инженер-конструктор НПО-430, Верещагин В.И., ведущий инженер-электроник НПО-430

АО «Швабе – Технологическая лаборатория», www.shvabe.com

420075, Россия, г.Казань, ул. Лунатова, 37, email: mail@shvabe-techlab.ru

DIGITAL POLARIMETER-SACCHARIMETER AP-05M

Penkovsky A. I., Putilina E. Y., Vereshchagin V. I.

Annotation

This article describes a modernized digital polarimeter-saccharimeter AP-05M. This device is based on new method for measuring the angle of rotation of the plane of polarization.

Keywords

Plane of polarization, angle of rotation of the plane of polarization, linear-polarized light, optically active pollutant.

Аннотация

В данной статье описан модернизированный цифровой поляриметр-сахариметр АП-05М. Прибор основан на новом способе измерения угла поворота плоскости поляризации.

Ключевые слова

Плоскость поляризации, угол вращения плоскости поляризации, линейно-поляризованный свет, оптически активное вещество.

Цель данной работы заключается в создании отечественного конкурентоспособного лабораторного прибора для измерения концентрации содержания оптически активных веществ в прозрачных растворах в процентах. **В настоящее время** для этих целей используют устаревшие отечественные приборы или дорогостоящие зарубежные.

В России и за рубежом сахариметры изготавливают: ОАО «ЗОМЗ» (г.Загорск) поляриметр круговой СМ-3; «Аналит Прибор» (г.Киев) сахариметры универсальные Су-4, СУ-5; Сахариметр Sucromat «Anton Paar» (Австрия), AP-300 «Atago» (Япония) и другие.

Цифровой поляриметр-сахариметр АП-05М (далее сахариметр АП-05М) предназначен для измерения концентрации содержания оптически активных веществ в прозрачных растворах в процентах, С%, миллимолях, ммоль/л, в градусах сахарной шкалы °S, а также измерения угла поворота плоскости поляризации α° линейно поляризованного света, прошедшего через оптически активное вещество.

Другие зарубежные поляриметры, спектрополяриметры, дихрографы, автоматические полярископы являются сложными, универсальными, дорогими приборами, которые построены, как правило, по компенсационной схеме. В качестве компенсаторов и модуляторов использованы ячейки Фарадея, Погкельса или сложные углоизмерительные устройства для контроля поворота одного из поляризационных фильтров.

Отличительная особенность сахариметра АП-05М заключается в том, что это самый компактный, точный цифровой поляриметр-сахариметр. Внешний вид сахариметра АП-05М показан на рисунке 1.

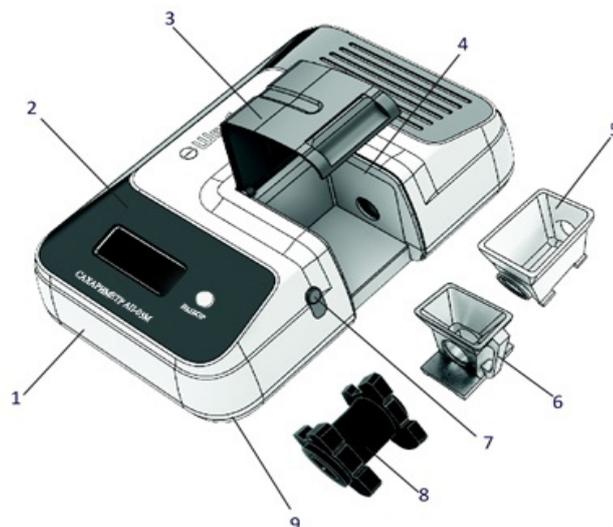


Рисунок 1 – Внешний вид сахариметра

1 – кожух; 2 – цифровое табло; 3 – крышка; 4 – кюветный отсек; 5 – кювета длиной 50 мм; 6 – кювета длиной 10 мм; 7 – винт «УСТ. НУЛЯ»; 8 – контрольное устройство; 9 – основание

Высокая точность измерения сахариметра АП-05М достигнута благодаря применению составного поляризационного фильтра, позволяющего переключать плоскость поляризации линейно поляризованного света на угол 90° при одном фотоприемнике, а так же использованию монохроматического света с более короткой длиной волны ($\lambda_e = 546 \text{ нм}$). Электрическая схема позволяет индцировать результаты измерений концентрации оптически активных веществ в процентах, градусах сахарной шкалы или в миллимоль/литр, а также в градусах угла поворота плоскости поляризации. Структурная схема прибора представлена на рисунке 2.

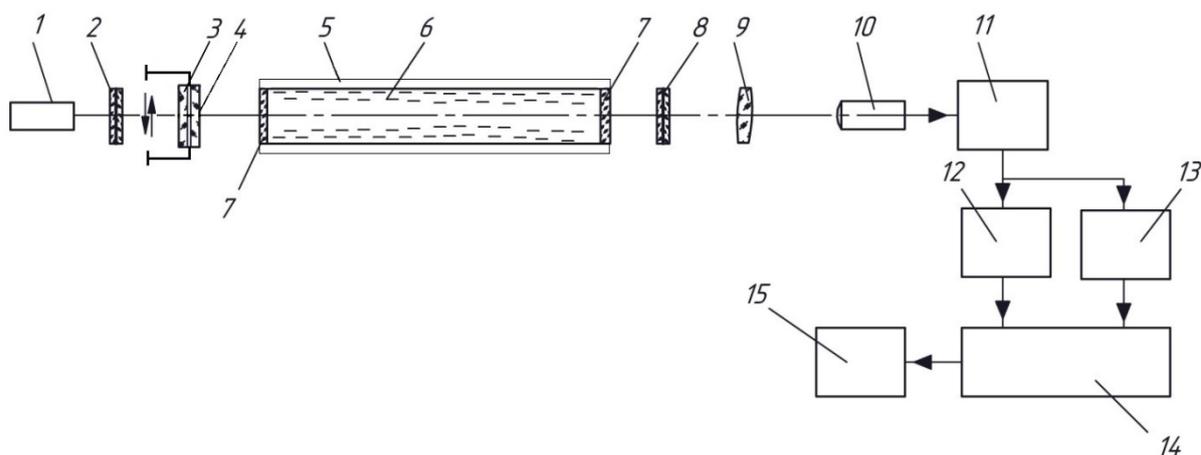


Рисунок 2 – Структурная схема портативного сахариметра АП-05М.

1 – лазерный модуль; 2 – поляризатор; 3,4 – составной поляризатор; 5 – кювета; 6 – исследуемый продукт; 7 – окна кюветы; 8 – поляризатор; 9 – линза; 10 – фотоприемник; 11 – предварительный усилитель; 12 – формирователь разности сигналов; 13 – формирователь суммы сигналов; 14 – блок измерения отношений сигналов; 15 – индикатор результатов измерений.

Принцип действия сахариметра основан на изменении угла вращения плоскости поляризации света при его прохождении через оптически активное вещество. Особенность сахариметра заключается в том, что ориентация плоскости поляризации монохроматического линейно поляризованного света периодически скачками изменяется на 90° . Далее свет последовательно проходит кювету с исследуемым раствором и поляризационный фильтр, плоскость пропускания которого расположена под углом $\pm 45^\circ$ по отношению к плоскости поляризации падающего на кювету линейно поляризованного света.

Если исследуемый раствор не содержит оптически активного вещества, то линейно поляризованный свет проходит кювету без изменения азимута поляризации. Интенсивности света, воспринимаемые фотоприемником,

после каждой смены азимута поляризации света остаются постоянными и на выходе фотоприемника уровни сигналов одинаковы, т.е. $U_1 = U_2 = U_0$.

Если исследуемый раствор содержит оптически активное вещество, то в зависимости от вещества и его концентрации азимут линейно поляризованного света после кюветы изменяется на величину α . При этом в спектре сигнала фотоприемника вместо постоянной составляющей U_0 будут присутствовать сигналы U_1 и U_2 , уровни которых по отношению к постоянной составляющей U_0 пропорциональны изменению азимута линейной поляризации α .

Микропроцессор сахариметра определяет:

- отношение разности амплитуд сигналов фотоприемников к их сумме

$$Q = (U_1 - U_2)/(U_1 + U_2);$$

- угол поворота плоскости поляризации света

$$\alpha = 0,5 \arcsin Q \text{ в градусах};$$

- концентрацию оптически активного вещества в растворе

$$C, \% = (\alpha \cdot ([\alpha]_{\lambda} \cdot L)^{-1} = K \cdot \alpha,$$

где K – постоянный коэффициент, который устанавливается при калибровке.

где C – концентрация оптически активного вещества, %;

L – длина кюветы, дм;

$[\alpha]_D$ – удельное вращение оптически активного вещества, град/дм.

Для проверки работоспособности прибора и правильности его настройки предназначено контрольное устройство 8 (рисунок 1). Принцип работы контрольного устройства основан на явлении разных коэффициентов пропускания наклоненной стеклянной пластинки для двух взаимоортогональных составляющих поляризованного света.

Преимущества сахариметра АП-05М:

- компактный, точный цифровой поляриметр-сахариметр.
- по сравнению с другими сахариметрами, сахариметр АП-05М позволяет производить объективные измерения концентрации оптически активных веществ в процентах, в миллимолях (ммоль/л) и в единицах сахарной шкалы, с высокой точностью без дополнительных расчетов.
- сахариметр АП-05М защищен патентами РФ №2029258, №2108564, № 2263303, №2325630.
- цена сахариметра АП-05М ниже любых известных цифровых поляриметров-сахариметров.

©А. И. Пеньковский, Е.Ю. Путилина, В.И. Верещагин.

Список литературы

1. Волкова Е. А. Поляризационные измерения: Издательство стандартов. Москва. 1974. – 156 с.
2. Патенты РФ № 2029258, № 2108564, № 2263303, № 2325630.

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ НА АТОМНО-ЗОНДОВОМ ТОМОГРАФЕ ПАЗЛ-3D

*Разницын О.А. науч. сотр., Лукьянчук А.А. науч. сотр., Шутов А.С. инженер
Рогожкин С.В., нач. отдела, д-р физ.-мат. наук
Институт теоретической и экспериментальной физики
имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», www.itep.ru
117218, Москва, ул. Б. Черемушкинская, 25, 8-(499)-789-66-00
Oleg.Raznitsyn@itep.ru*

OPTIMIZATION OF A METHOD FOR MATERIAL ANALYSIS ON THE TOMOGRAPHIC ATOM PROBE APPLE-3D

Raznitsyn O.A., Lukiyanchuk A.A., Shutov A.S., Rogozhkin S.V.

Annotation

In this study the results of testing the technique for analyzing metals and semiconductors with the APPLE-3D atom probe tomograph are demonstrated. A spatial resolution of 2-3 Å and a mass resolution $M / \Delta M$ of about 1000 units are obtained.

Keywords

Atom probe tomography, time-of-flight mass spectrometer.

Аннотация

В данной работе продемонстрированы результаты отработки методики анализа металлов и полупроводников на атомно-зондовом томографе ПАЗЛ-3D. Достигнуто пространственное разрешение 2-3 Å и разрешение по массе $M/\Delta M$ примерно 1000 ед.

Ключевые слова

Атомно-зондовая томография, времяпролетная масс-спектрометрия.

В настоящее время существует множество задач по разработке и эксплуатации материалов, где необходим контроль различных наноразмерных особенностей структуры: их размеров, формы, а также состава, в том числе после различных воздействий на материал. Соответственно, для этого требуются соответствующие методики контроля. Одной из методик, позволяющих проводить подобный анализ, является Атомно-зондовая томография, способная визуализировать структуру материала с высоким пространственным разрешением (до 0,3нм) и определять химическую природу каждого отдельного атома.

На базе НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ разработан атомно-зондовый томограф «ПАЗЛ-3D» [1], отличительной особенностью которого является применение лазерного испарения и современного быстродействующего детектора с эффективностью ~90%. Указанный комплекс (в совокупности с собственным программным обеспечением) позволяет визуализировать трехмерную структуру материала с пространственным разрешением 2-3Å и разрешением по массе $M/\Delta M$ до 1000. В процессе разработки прибора проведены калибровочные эксперименты на различных сталях и модельных сплавах для нахождения оптимальных параметров сбора данных. В рамках этих экспериментов проведен анализ точности восстановления данных от мощности лазера, интенсивности испарения, формы образцов, базовой температуры образцов. На примере модельного сплава Fe-Cr продемонстрирована точность определения химического состава 0.06% [2]. Продемонстрирована возможность анализа сталей [3] и сплавов (в частности ванадиевых, см. Рисунок 1), а также полупроводников.

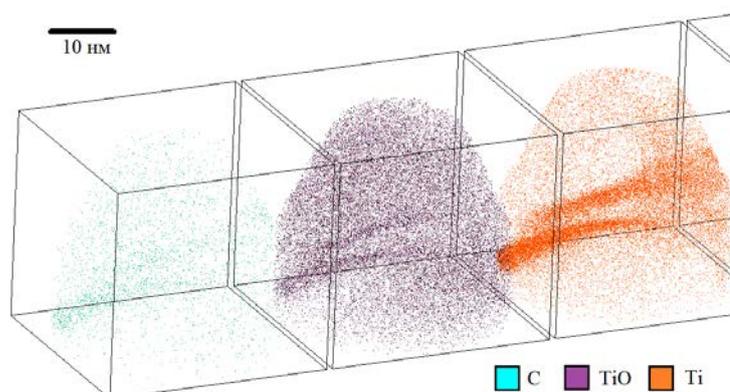


Рисунок 1 – Наноразмерные выделения в сплаве V-4Ti-4Cr, обогащенные титаном, оксидом титана и углеродом

Литература

4. Рогожкин С.В., Алеев А.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Кириллов С.Е., Прототип атомного зонда с лазерным испарением, Приборы и техника эксперимента, 2017, № 3, С. 129-134
5. Разницын О.А., Лукьянчук А. А., Шутов А.С., Рогожкин С. В., Алеев А. А., Оптимизация параметров анализа материалов методами атомно-зондовой томографии с лазерным испарением атомов, Масс-спектрометрия, 2017, Т. 14, № 1, С. 33-39
6. Рогожкин С. В., Искандаров Н. А., Лукьянчук А. А., Шутов А. С., Разницын О. А., Никитин А. А., Залужный А. Г., Кулевой Т. В., Куйбида Р. П., Андрианов С. Л., Леонтьева-Смирнова М. В., Можанов Е. М., Никитина А. А., Исследование наноструктуры ферритно-мартенситной стали ЧС-139 в исходном состоянии и после облучения ионами Fe, Перспективные материалы, 2017, № 11, С. 5-17.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ *IN VIVO*

Разницына И.А., младший научный сотрудник лаборатории медико-физических исследований аспирант кафедры «Медицинская физика»

Тарасов А.П., инженер лаборатории медико-физических исследований

Рогаткин Д. А., доктор технических наук, заведующий лабораторией медико-физических исследований

НИЯУ МИФИ Московский Областной Научно-Исследовательский Клинический Институт

http://medphyslab.com, 129110, г. Москва, ул. Щенкина, 61/2, тел. +7 (495) 6818984, e-mail: info@medphyslab.com

IMPROVEMENT OF EQUIPMENT FOR LASER FLUORESCENCE SPECTROSCOPY *IN VIVO*

Raznitsyna I.A., Tarasov A.P., Rogatkin D.A.

Annotation

Features of a new device for laser fluorescence spectroscopy *in vivo* are presented. Technical solutions are proposed to address the shortcomings of existing analogues. In particular, incorporation of a white light source into the system is proposed to determine the diffuse spectrum of the tissue for subsequent correction of the fluorescence spectra. In this case, the equality of diagnostic volumes is achieved by using a special position of illuminating and receiving fibers in a probe. A need for using a device regulating the transfer function is shown.

Keywords

Laser fluorescence spectroscopy, backscattering spectrum, fiber optic probe, white light source.

Аннотация

Представлены особенности нового устройства для лазерной флюоресцентной спектроскопии *in vivo*. Предложены технические решения устраняющие недостатки существующих аналогов. В частности, предложено включить в систему широкополосный источник белого света с целью определения спектра диффузного отражения для последующей коррекции спектра флюоресценции. При этом равенство диагностических объемов достигается путём использования специальной геометрии расположения осветительных и приёмных волокон. Также показана необходимость предоставить пользователям возможность коррекции передаточной функции прибора.

Ключевые слова

Лазерная флюоресцентная спектроскопия, диффузное отражение, оптоволоконный зонд, широкополосный источник излучения

Введение

Сегодня лазерная флюоресцентная спектроскопия (ЛФС) используется в различных медицинских областях [1]. Метод основан на детектировании вторичных спектров после воздействия на исследуемую область лазерным излучением. Регистрируемый вторичный спектр отражает интенсивность флюоресценции экзогенных или эндогенных флюорофоров, содержащихся в исследуемой биоткани [2]. Известно, что на спектр флюоресценции, зарегистрированный прибором, существенное влияние оказывают оптические свойства тканей. Особенно заметно данное влияние при исследовании флюорофоров зеленого диапазона длин волн в тканях с различным кровенаполнением, так как основным биологическим веществом, поглощающим в данном диапазоне, является гемоглобин [3]. Существующая отечественная аппаратура, реализующая метод ЛФС и используемая в клинике, не учитывает влияние рассеивающих и поглощающих свойств биотканей, потому позволяет определить лишь спектр зарегистрированной флюоресценции, который сам по себе не имеет диагностической значимости для врача [2]. Среди зарубежных приборов встречаются системы, включающие в себя, помимо лазеров, источник белого света [4]. Интенсивность обратно рассеянного излучения на каждой длине волны отражает долю излучения на этой длине волны, которая попадает в приёмник, по отношению к зондирующему излучению. Различные математические алгоритмы, использующие спектр диффузного отражения, с теми или иными допущениями рассчитывают концентрации флюорофоров в биотканях [4]. Основным недостатком отечественных приборов, например, комплекса «ЛАКК-М» [5], является то, что осветительные волокна для лазерного источника и источника белого света освещают неодинаковые участки биоткани, что приводит к неточностям и ошибкам. Ещё одной проблемой является неидентичность результатов, полученных даже среди линейки приборов одного производителя. Было проведено исследование, в котором оценивались погрешности измерений, проведенных на разных приборах одного производителя [6]. Исходя из полученных в работе данных, можно отметить необходимость, помимо стандартных калибровочных процедур, проводить коррекцию передаточной функции, что требует дополнительных технических решений. В данной работе предложен вариант устройства, исключающий вышеперечисленные недостатки.

Описание устройства

Макет разработанного прибора «Мультиком» (Рис.1) содержит оптический зонд (1), дистальный конец которого контактирует непосредственно с поверхностью исследуемого объекта (2), а на проксимальном конце разветвляется и соединяется с системой контроля (3). Зонд включает в себя группу оптических волокон, доставляющих излучение от лазерных источников (4) и источника белого света (5) к объекту, и приёмное волокно, доставляющее вторичное излучение от объекта в блок фильтров (6). В макете представленного устройства используется 4 узкополосных лазерных источника излучения на длинах волн 365 нм, 405 нм, 532 нм и 632 нм. В качестве широкополосного источника используется стандартный ксеноновый источник белого света на основе ксеноновой лампы. Отфильтрованный сигнал детектируется спектрометром (7), после чего все измеренные спектры передаются в блок управления и входных данных (9), подключающийся к стандартному персональному компьютеру с необходимым программным обеспечением.

Работа устройства осуществляется следующим образом: блок управления и входных данных (9) формирует, принимает и обрабатывает две основных управляющих команды: «наблюдение» и «измерение». По команде «наблюдение» включается выбранный узкополосный источник (4) в непрерывном режиме и происходит регистрация спектра вторичного излучения флюоресценции спектрометром (7). По команде «измерение» в памяти устройства выполняется сохранение последнего измеренного спектра флюоресценции, выключается узкополосный источник (4), на короткое время включается источник белого света (5) и регистрируется спектр диффузного отражения в белом свете. Далее все измеренные спектры передаются в блок управления и входных данных (9) для последующей обработки.

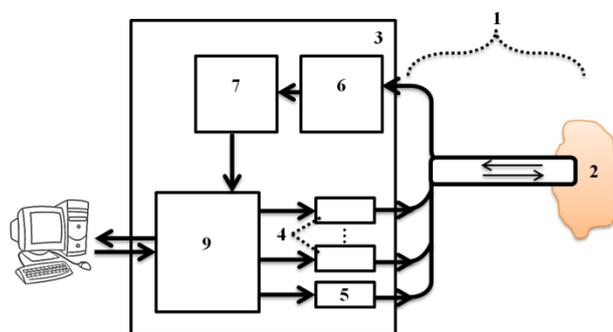


Рисунок 1 – Принципиальная схема прибора. Пояснения в тексте.

Особенности устройства, позволяющие избежать вышеописанных недостатков:

✓ Система доставки излучения (1) выполнена в виде стандартного оптоволоконного жгута с разветвленной приборной и единой рабочей частью. В центре дистальной части жгута, обращенной к биологической ткани, располагается приемное оптическое волокно с диаметром сердцевины $d=400$ мкм, которое на проксимальном конце соединяется с блоком фильтра (6). Вокруг приемного волокна по радиусу равномерно расположено более 50 осветительных волокон с диаметром $d=100$ мкм. Эти освещающие волокна на приборном конце основного жгута собраны в отдельные осветительные жгуты, каждое из которых подключаются к своему источнику. За счет большого количества освещающих волокон к каждому источнику может подходить от 10 волокон в зависимости от конструкции зонда. Такое количество волокон позволяет расположить их равномерно по окружности, формируя единый диагностический объем для всех длин волн, а поворот дистального конца оптоволоконного жгута вокруг своей оси не влияет на расположение диагностического объема, и, как следствие, на результаты измерений (Рис.2а). В зависимости от конкретных медицинских задач, диаметр дистальной части волокна может меняться за счёт изменения числа осветительных волокон, а также изменения максимально возможного числа одновременно подключенных источников. Например, для ряда эндоскопических исследований достаточно подключение к УФ и широкополосному источникам, при этом число осветительных волокон в сумме может не превышать 20.

✓ Блок фильтров (6) устройства представляет собой коллимирующую систему из двух фокусирующих линз: рассеивающей ($10'$) и собирающей ($10''$) (Рис.2б), формирующих между собой пучок большого диаметра (примерно 1-2 см). В широкий пучок между линзами помещен оптический фильтр (11), ослабляющий излучение источника на выбранной длине волны в заданное число раз. Отличием от устройств – аналогов является наличие конструкции (12), регулирующей положение фильтра относительно пучка и, соответственно, площадь взаимного перекрытия. Разная площадь перекрытия фильтром пучка позволяет регулировать соотношение пиков обратного рассеяния и флюоресценции, что позволяет настраивать все приборы путём коррекции передаточной функции. Это позволит сравнивать результаты измерений, полученных на разных устройствах, что важно ввиду наличия расхождений в показаниях современных устройств даже среди приборов одного производителя.

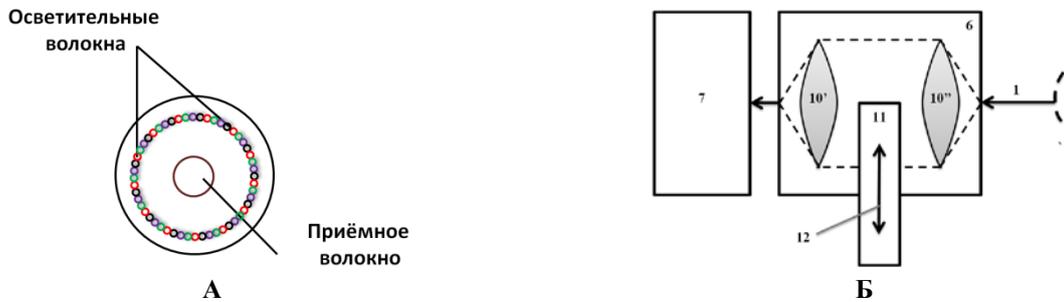


Рисунок 2 – А – Схема расположения осветительных и приёмного волокон в зонде. Б - Схема блока фильтра.

Заключение

Представленная в работе конструкция отдельных элементов устройства для лазерной флюоресцентной спектроскопии *in vivo* устраняет недостатки аналогов, связанные с невозможностью настройки передаточной функции прибора, а также с неравномерностью освещения объекта исследования для различных источников. Включение предложенных технических решений способно качественно повысить точность лазерной флюоресцентной спектроскопии.

Литература

1. Тучин В. В. Оптическая биомедицинская диагностика //Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика, 2005. Т. 5. №. 1.
2. Рогаткин Д. А. Физические основы лазерной клинической флюоресцентной спектроскопии *in vivo*. Лекция // Медицинская физика, 2014. №4. С.78-96.
3. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. С. 103.
4. Kim A. T. Quantitative and depth-resolved fluorescence guidance for the resection of glioma : Doctoral theses. Doctor of Philosophy. Toronto, 2010.
5. Rogatkin D., Shumskiy V., Tereshenko S., Polyakov P. Laser-based non-invasive spectrophotometry - an overview of possible medical application // Photonics & Laser in Medicine, Vol. 2, No. 3, 2013. - p. 225-240.
6. Рогаткин Д.А., Лапаева Л.Г., Быченков О.А., Терешенко С.Г., Шумский В.И. Основные источники погрешностей в неинвазивной медицинской спектрофотометрии. Ч. 1. Физико-технические факторы погрешностей // Измерительная техника, 2013. №2. С.61-67.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ МАСС-СПЕКТРОВ ВЫДЫХАЕМЫХ ГАЗОВ

*Манойлов В.В.^{1,3}, зав.лабораторией, Самсонова Н.С.^{1,2}, млад. научный сотрудник,
Кузьмин А.Г.¹, старший научный сотрудник, Титов Ю.А.¹, млад. научный сотрудник,
Заруцкий И.В.^{1,3}, старший научный сотрудник, Курбонов Ф.С.³, студент*
1 - ИАП РАН, Санкт-Петербург, 190103, Рижский пр., 26, www.iairas.ru, (812) 363 -07-20, iap@ianin.spb.su
2 - ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая, 26,
<http://www.ioffe.ru/> (812) 297-2245, post@mail.ioffe.ru
3 - Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Кроверкский пр., 49,
<http://www.ifmo.ru/ru/> (812) 457-18-47, nm@corp.ifmo.ru

METHODS OF PROCESSING AND INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF CLASSIFICATION OF MASS SPECTRA OF EXHALED GASES

Manoilov V.V.^{1,3}, Samsonova N.S.^{1,2}, Kuzmin A.G.¹, Titov Yu.A.¹, Zarutskiy I.V.^{1,3}, Kurbonov F.S.³

Annotation

Analysis of the composition of exhaled air is one of the important areas of non-invasive medicine. The methods of mathematical processing of mass spectra obtained on a quadrupole mass spectrometer MS7-200 are considered. The methods described, based on linear and quadratic discriminant analysis, make it possible to separate processed mass spectra of exhaled gases into two groups: mass spectra of exhaled gases of healthy people and mass spectra of exhaled gases of people with possible pathologies.

Keywords

Mathematical methods of data processing, mass spectrometry, discriminant analysis.

Аннотация

Анализ состава выдыхаемого воздуха является одним из важных направлений неинвазивной медицины. Рассмотрены методы математической обработки масс-спектров, полученных на квадрупольном масс-спектрометре MS7-200. Описываемые методы, основанные на линейном и квадратичном дискриминантном анализе, позволяют разделить обрабатываемые масс-спектры выдыхаемых газов на две группы: масс-спектры выдыхаемых газов здоровых людей и масс-спектры выдыхаемых газов людей с возможными патологиями.

Ключевые слова

Математические методы обработки данных, масс-спектрометрия, дискриминантный анализ.

Анализ состава выдыхаемого воздуха является одним из важных направлений неинвазивной медицины. Такой анализ может использоваться в целях выявления заболеваний, предсказания реакций организма на конкретный вид лечения и мониторинга эффективности терапии. Диагностика на основе анализа выдыхаемых газов имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными лабораторными методами. Анализ газовой смеси безопасен для персонала, т.к. не связан с работой с химическими и биологическими жидкостями. Он является относительно дешевым, занимает немного времени и позволяет обнаруживать летучие компоненты в выдыхаемом воздухе на уровне следовых концентраций вещества.

В качестве примера использования данного метода рассматривается обработка масс-спектров выдыхаемых газов, полученных на квадрупольном масс-спектрометре MS7-200, с электронной ионизацией и с прямым капиллярным вводом пробы при анализе наличия патологий у пациентов [1-5].

Методы анализа выдыхаемого воздуха несомненно найдут применение при проведении массовых скрининговых профилактических осмотров. Актуальной также представляется задача автоматической классификации людей по группам здоровья. В данной работе для такой классификации использованы методы линейного и квадратичного дискриминантного анализа масс-спектров выдыхаемых газов. В дискриминантном анализе перед классификацией необходимо провести вычисление дискриминационных коэффициентов с помощью обучающей выборки. Обучающая выборка состоит из двух групп: первая группа - это масс-спектры выдыхаемых газов здоровых людей и вторая группа - это масс-спектры выдыхаемых газов людей, имеющих патологии. После того как проведено обучение приступают к классификации масс-спектров выдыхаемых газов, о которых неизвестно к какому классу они принадлежат.

Дискриминантными признаками для классификации служат значения амплитуд на определенных массах линейчатого масс-спектра (массы 53, 67, 68 -изопрен, 58 -ацетон, 60 -уксус), а также два отношения амплитуд пиков. Первым отношением является отношение амплитуды пика на массе 58 к амплитуде пика на массе 60. Вторым отношением является отношение амплитуды пика на массе 67 к амплитуде пика на массе 58.

Первым этапом обработки масс-спектров является обнаружение пиков и превращение непрерывного спектра в линейчатый. Для их обнаружения используется метод поиска на основе согласованной фильтрации [6]. В этом методе используется свертка исходного сигнала с сигналом, описывающим форму пика. Свертка вычисляется следующим образом:

$$s_1(t) = \int_0^T f_{out}(t) g(t - \tau) d\tau \quad (1),$$

где: t – независимая переменная – время, $f_{out}(t)$ – зарегистрированный масс-спектр, $g(t)$ – форма пика, T – длина масс-спектра.

В качестве формы пика в данной работе использовались две функции первая на основе гауссианы:

$g(t) = \exp[-(t/w)^2]$, где w – средняя полуширина пика в масс-спектре и вторая на основе функции Эрмита:

$$\psi(x) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2^n n! \sqrt{\pi}}} H_n(t), \text{ где } H_n(t) = (-1)^n e^{t^2} \frac{d^n e^{-t^2}}{dt^n} - \text{полином Эрмита порядка } n. \text{ В данной работе } n = 2.$$

В результате такой конволюции амплитуды пиков возрастают примерно в 20-25 раз, а среднее квадратичное отклонение шума примерно в 3-5 раз для гауссовых функций и 10-15 раз для функций Эрмита. Функции Эрмита дают преимущество в повышении разрешения плохо разделенных пиков по сравнению с функциями Гаусса. Процедура свертки позволяет надежно обнаружить пики спектра и определить их положение. При вычислении интеграла (1) используется теорема Планшереля, согласно которой Фурье-преобразование свертки двух сигналов равно произведению их Фурье образов. После этого сигнал $s_1(t)$ вычисляется с помощью обратного преобразования Фурье.

Применение прямого и обратного преобразования Фурье использовано в данной работе, т.к вычисление интеграла свертки по формуле (1) требует гораздо большего объема вычислений, чем выполнение прямого и обратного преобразований Фурье с помощью алгоритмов быстрого преобразования. Полученный сигнал $s_1(t)$ сравнивается с порогом h_0 , с помощью которого обнаруживаются пики и определяются их положения. Если величина $s_1(t)$ превышает порог h_0 , то эту точку t считаем принадлежащей пику.

Следующим шагом обработки является отбор масс-спектров здоровых людей для включения в обучающую выборку. Необходимость выполнения этого шага объясняется тем, что даже в масс-спектрах практически здоровых людей могут содержаться спектральные линии с амплитудами, характерными для масс-спектров больных людей. Выполнение этого шага осуществляется путем выявления масс-спектров, содержащих наименьшее отклонение от эталонного масс-спектра, т.е. усредненного масс-спектра здоровых людей. На рис. 1 представлен эталонный масс-спектр. Наименьшее отклонение от эталонного масс-спектра вычислялось по следующим алгоритмам: евклидово расстояние (N2), "сити-блок" - сумма модулей разности амплитуд по каждой массе (N1), максимальная разность компонент. На основании проведенных вычислений была составлена обучающая выборка масс-спектров.

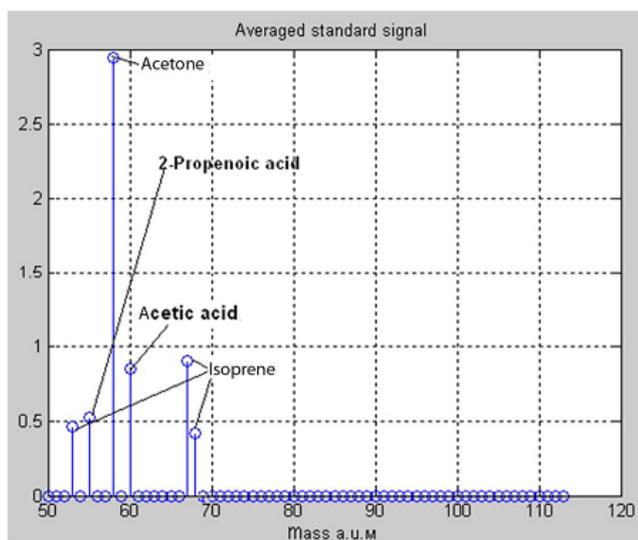
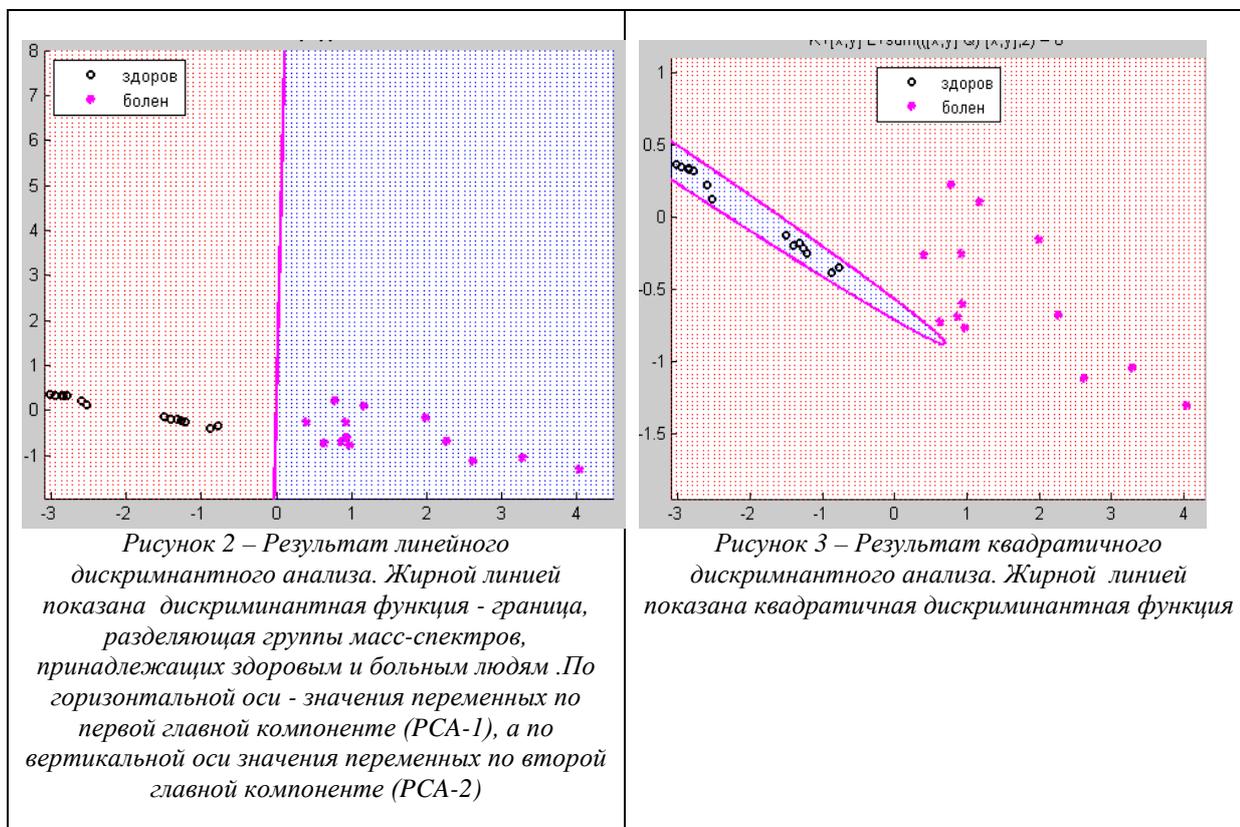


Рисунок 1 – Эталонный масс-спектр

Результатом проведения обучения является набор коэффициентов дискриминантной функции, которые вычисляются по одному из алгоритмов многомерной статистики, рассмотренных в [7]. В качестве переменных в

алгоритмах многомерной статистики использовались не исходные значения амплитуд пиков на определенных массах, а главные компоненты, полученные путем преобразования исходных данных по методу главных компонент (Principal Component Analys –PCA).

С помощью вычисленных коэффициентов дискриминационных функций находятся границы, которые разделяют исходные масс-спектры выдыхаемых газов на группы: здоровых людей и людей с патологиями. На рис.2 и рис.3 показаны результаты проведения дискриминантного анализа для линейного и квадратичного методов соответственно.



Рассмотренные алгоритмы дают возможность автоматического принятия решений о различии масс-спектров без визуального анализа информации, представленной в графическом виде, и имеют следующие преимущества: простота реализации, возможность автоматического принятия решения о принадлежности проверяемого сигнала к определенному классу.

Работа выполнена в ИАП РАН в рамках государственных заданий: № АААА-А16-116041310010-6 и АААА-А16-116041110124-2.

Литература

1. Кузьмин А.Г., Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Титов Ю.А. Перспективы метода масс-спектрометрической аромадиагностики по составу выдыхаемого воздуха // Тезисы докладов X Евразийской научной конференции «ДОНОЗОЛОГИЯ–2014», 18–19 декабря 2014 г., СПб, 2014. С. 229–231
2. Кузьмин А.Г. // Квадрупольный масс-спектрометр. Патент на полезн. мод. №94763 РФ, 27.05.2010г.
3. Кузьмин А.Г., Титов Ю.А. Малогабаритные масс-спектрометры для динамических исследований состава выдыхаемого воздуха // Труды I международной научно-практической конференции «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине». СПб. 23–26 ноября 2010 г., изд-во СПбГПУ, 2010. Ч. 3. С. 266–270
4. Кузьмин А.Г., Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Титов Ю.А., Балабанов А.С.. Метод масс-спектрометрической экспресс-диагностики по составу выдыхаемого воздуха // Медицинский академический журнал, 2016, том 16, №4, , С. 106-107.
5. Kuzmin A.G., Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Titov Yu.A., Balabanov A.S.. The method of medical instant diagnostics based on real-time mass-spectrometric analysis of exhaled air composition// 3rd ICMM PAN-ASIA PACIFIC CONGRESS ON MILITARY MEDICINE, Abstracts, 08.08.2016 – 12.08.2016, St-Petersburg, pp.181-182
6. Манойлов В.В., Титов Ю.А, Кузьмин А.Г., Заруцкий И.В. Методы обработки и классификации масс-спектров выдыхаемых газов с использованием дискриминантного анализа // Научное приборостроение 2016, т..26 N 3 С 50-57
7. Манойлов В.В., Титов Ю.А, Кузьмин А.Г., Заруцкий И.В. Алгоритмы дискриминантного анализа для классификации масс-спектров выдыхаемых газов // Научное приборостроение 2017, т..27 N 3 С 33-43.

**КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ
ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА, В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
МЕТОДАМИ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ***

*Сараев Ю.Н.¹, д. т. н., доцент, главный научный сотрудник, Лаборатории композиционных материалов
Луев А.Г.¹, к. т. н., с. н. с. Лаборатории физики прочности; Киселев А.С.², кандидат технических наук, доцент
кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»*

Гордынец А.С.², к. т. н., доцент кафедры «Оборудование и технология сварочного производства»

Тригуб М.В.³, к. т. н., научный сотрудник ИОА СО РАН

*1 - Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, <http://www.ispms.ru>,
634055, Г. Томск, пр. Академический, 2/4, телефон: +7-3822-492-942. E-mail: litsin@ispms.tsc.ru*

*2 - Национальный исследовательский Томский политехнический институт, <https://tpu.ru>
634004, Г. Томск, пр. Ленина, 30, e-mail: kas@tpu.ru*

*3 - Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, <https://www.iao.ru>
634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1. E-mail: trigub@tpu.ru*

**RESEARCH COMPLEX FOR THE STUDY OF FAST PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER IN THE
PROCESS OF FORMATION OF PERMANENT JOINTS BY THE METHODS OF ARC WELDING
CONSUMABLE ELECTRODE***

Saraev Yu.N.¹, Luev A.G.¹, Kiselev A.S.², Gordynets A.S.², Trigub M.V.³

Annotation

The paper presents the results of the development and manufacturing of a unique research complex for studying fast-flowing processes of heat and mass transfer during arc welding with a consumable electrode. The advantages of the developed complex are shown before traditionally used with the use of cinema and video cameras with the shadow principle of recording the characteristics of heat and mass transfer. Studies of fast processes with the use of high-speed video shooting under conditions of laser coherent radiation that improves the visualization of the object under study—the process of melting and transferring each droplet of electrode metal in conditions of intense light emission from the electric arc. The article contains explanatory diagrams, control algorithms, video frames of a separate welding microcycle, and examples of recording oscillograms and graphical representations of changes in their quantitative values.

Keywords

Welding, surfacing, video shooting, melting, heat and mass transfer, laser, control, stability, electric arc, welding with a consumable electrode.

Аннотация

В работе представлены результаты разработки и изготовления уникального исследовательского комплекса для изучения быстропротекающих процессов теплопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом. Показаны преимущества разработанного комплекса перед традиционно применяемыми с использованием кино- и видео камер с теньевым принципом регистрации характеристик теплопереноса. Исследования быстропротекающих процессов с применением высокоскоростной видео съемки в условиях лазерного когерентного излучения, улучшающего визуализацию изучаемого объекта – процесса плавления и переноса каждой капли электродного металла в условиях интенсивного светового излучения от электрической дуги. В статье приведены поясняющие схемы, алгоритмы управления, видео кадры отдельного сварочного микроцикла, примеры записи осциллограмм и графические представления изменений их количественных значений.

Ключевые слова

Сварка, наплавка, видео съемка, плавление, теплоперенос, лазер, управление, стабильность, электрическая дуга, сварка плавящимся электродом.

Введение

Процессы нагрева и плавления сварочного электрода или проволоки, формирования и переноса капель электродного металла при сварке во многом определяют стабильность прочностных свойств неразъемных соединений. Характер плавления и переноса электродного металла при сварке плавлением определяется большим количеством физических явлений: тепло - и массопереноса, газо- и термодинамики, электромагнитных процессов, протекающих в дуге, на поверхности и в объеме электрода, расплавленных капель, как основного, так и электродного металла [1].

Анализ работ, посвященных кинетике плавления электродного металла, показывает, что перенос металла с электрода в сварочную ванну происходит в виде капель разного диаметра [2-3]. Механизм переноса зависит от многих факторов: силы тяжести, действующей на каплю, силы поверхностного натяжения жидкого металла, электромагнитных сил, давления паров испаряющегося металла и других. Исследование кинетики плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну неразрывно связано с регистрацией быстропротекающих процессов. В зависимости от применяемого способа сварки плавящимся электродом, характер плавления и переноса может изменяться. Прежде всего, это связано с различием в действии на каплю электродного металла, находящуюся на торце электрода, комплекса сил,

определяющих не только частоту перехода электродного металла в сварочную ванну, но и длительность пребывания расплавленного металла под высокотемпературным воздействием электрической дуги. Последнее всецело определяет интенсивность микрометаллургических реакций в капле и ванне, от которой зависят качественные и прочностные свойства формируемого неразъемного соединения [4-5].

На протяжении длительного времени одним из основных методов исследований быстропротекающих процессов плавления и переноса электродного металла являлась скоростная видеосъемка, которая, как правило, осуществлялась синхронно с регистрацией основных энергетических параметров технологического процесса. При всем многообразии методов визуализации процессов плавления и переноса электродного металла в сварочную ванну, до сих пор малоизученными остаются быстропротекающие процессы на стадии плавления и перехода расплавленного металла в сварочную ванну каждой капли электродного металла. Это ограничивает наши представления о механизмах тепломассопереноса, требует разработки и реализации новых экспериментальных комплексов. Отмеченное обстоятельство, свидетельствует об **актуальности проводимых исследований**, результаты которых позволят получить новый высокоэффективный инструмент в изучении сложных процессов тепломассопереноса, сопровождающих формирование неразъемных соединений.

Цель работы

Изучение особенностей быстропротекающих процессов тепломассопереноса в процессе формирования неразъемных соединений методами дуговой сварки плавящимся электродом в условиях лазерного когерентного излучения и формирование современных представлений о наиболее эффективных методах повышения стабильности и эффективности существующих технологий.

Методика и техника экспериментальных исследований. В качестве примера реализации направления, при котором можно обеспечить достижение выше сформулированной цели, может быть исследовательский комплекс, представленный на рисунке. 1.

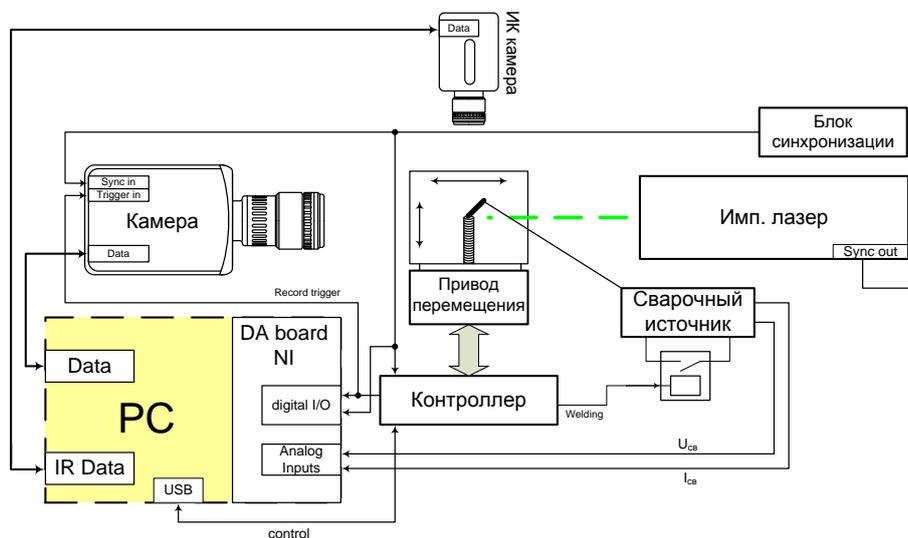


Рисунок 1 – Комплекс для регистрации и исследования быстропротекающих процессов тепломассопереноса при дуговой сварке плавящимся электродом.

Регистрация параметров технологического процесса осуществляется следующим образом. С помощью специального программного обеспечения (ПО) задается алгоритм выполнения сварного соединения (или наплавки), задание передается с персонального компьютера (PC) на контроллер. Контроллер управляет перемещением стола с образцом и запускает процесс сварки. После задержки 1-2 секунды после начала сварки, Контроллер подает сигнал (Trigger) начала записи на высокоскоростную видеокамеру и плату сбора данных, записывающую энергетические параметры (ток, напряжение). Каждый кадр высокоскоростной видеозаписи синхронизируется с импульсами лазера подсветки, посредством блока синхронизации [6-8]. Импульсы синхронизации также обеспечивают постановку меток на осциллограммах тока и напряжения, для точного совмещения осциллограмм с кадрами видеозаписи [9]. Остановка записи производится по сигналу от Контроллера.

Комплекс подразумевает использование инфракрасной тепловизионной камеры для записи тепловых полей в процессе сварки (наплавки). Расшифровка термограмм позволяет получить информацию о кинетике распространения тепла, скорости остывания сварочной ванны и зоны термического влияния, размеры сварочной ванны и ЗТВ, изменение их температуры во времени [10].

Обработка результатов исследований. Процесс обработки состоит из трех этапов: 1) определение средних значений тока, напряжения, мощности и погонной энергии в заданном интервале времени; 2) статистическая обработка параметров коротких замыканий в процессе сварки (наплавки), т.е. получение информации о количестве КЗ в единицу времени, средней длительности КЗ, среднем значении тока КЗ, коэффициенте вариации длительности КЗ; 3) построение сравнительных диаграмм полученных параметров от режимов сварки, типов электродов и т.п.

Средние значения вычисляются посредством численного интегрирования тока, напряжения и их произведения (мощности). Скорость сварки, позволяющая рассчитать погонную энергию, вычисляется как отношение длины сварного шва (наплавляемого покрытия) ко времени, затраченному на производство этого шва (покрытия).

Визуализация результатов измерений и их обработки всецело зависит от способов регистрации, которые определяют способность системы измерений обеспечить подавление высокочастотных помех посредством удаления из спектров осциллограмм напряжения и тока высокочастотных составляющих, имеющих большую амплитуду, определение порогового значения напряжения при коротком замыкании (данная задача возлагается на исследователя и выполняется посредством ручного задания порога маркерной линией на осциллограмме напряжения). После этого производится: автоматическая выборка коротких замыканий (КЗ) в требуемом интервале времени, определение тока и длительности каждого КЗ и выполняется вычисление среднего значения тока КЗ в полученной выборке, средней длительности КЗ и коэффициент вариации длительности КЗ. Полученные данные могут быть представлены в виде таблиц, а также столбчатых диаграмм.

Важным звеном в разрабатываемом комплексе является роботизированная сварочная платформа, которая обеспечивает в процессе исследований автоматическое перемещение свариваемого образца по одной из выбираемых траекторий перемещения с целью обеспечения требуемой геометрии сварного шва в соответствии с требованиями, ГОСТ 6996-66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств». Примеры возможных перемещений свариваемого образца могут быть траектории, представленные на рисунке 2.

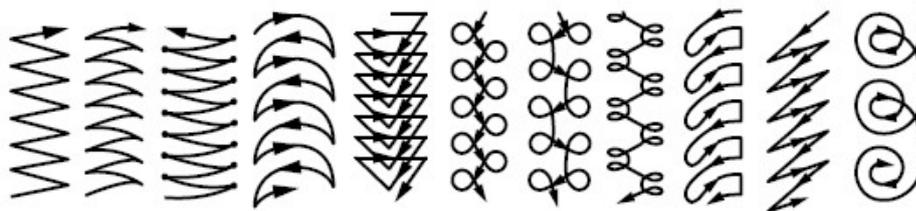


Рисунок 2 – Варианты траекторий перемещения платформы.

Необходимость реализации способа перемещения образца роботизированного типа связана с необходимостью получения повторяемых результатов при проведении исследований в области механизированной дуговой сварки в среде защитных газов. На практике получаемый результат в большей степени определяется человеческим фактором. В этой связи, стабильность и точность поддержания основных параметров режима сварки напрямую зависят от навыков сварщика. Для исключения «человеческого фактора» и решения проблемы повторяемости результатов экспериментов в представляемом комплексе обеспечивается полная автоматизация процесса сварки при проведении исследований.

Учитывая выше изложенное, был разработан и изготовлен действующий образец роботизированной платформы для выполнения дуговой сварки и наплавки, опытных образцов при проведении экспериментальных исследований. Испытания исследовательского комплекса полностью подтвердили его высокую эффективность при изучении быстропротекающих процессов тепломассопереноса при электродуговой сварке плавящимся электродом.

**Работа выполняется за счет средств РНФ по проекту №16-19-10010.*

Литература

1. Saraev Y.N. Adaptive pulse technological processes of welding and pad weld is a new high-performance method of obtaining of permanent joints of high-strength steels // Special issue of Wold J. Engineering. – 2011. – V. 8. – P. 989.
2. Патон Б.Е., Максимов С.Ю., Сидорук В.С., Сараев Ю.Н. К вопросу о саморегулировании дуги при сварке плавящимся электродом // Сварочное производство. – 2014. – № 12. – С. 3–11.
3. Saraev Y.N., Bezborodov V.P., Gladkovsky S.V., and Golikov N.I. The ways of reliability enhancement of welded metal structures for critical applications in the conditions of low climatic temperatures // Citation: AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1783. – P. 020195.
4. Адаптивные импульсно-дуговые методы механизированной сварки при строительстве магистральных трубопроводов / Сараев Ю.Н. // Сварочное производство. 2002. № 1. С. 4-7.
5. Сараев Ю.Н. Управление переносом электродного металла при сварке в CO₂ с короткими замыканиями дугового промежутка (ОБЗОР) / Автоматическая сварка. 1988. № 12. С. 16-23.
6. Yermachenko V.M., Kuznetsov A.P., Petrovskiy V.N., et al. Specific features of the welding of metals by radiation of high-power fiber laser // Laser Physics. – 2011. – V. 21(8). – P. 1530–1537.
7. Colin E. Webb, Julian D., Jones C. Handbook of Laser Technology: Applications. – IOP Publishing, 2004. – 1180 p.
8. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Филонов А.Г. Стабилизированный лазер на бромиде меди с автоматизированным управлением режимами работы со средней мощностью генерации 20 Вт // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 6. – С. 95–99.
9. Сараев Ю.Н. и др. Поискные исследования повышения надежности металлоконструкций ответственного назначения, работающих в условиях экстремальных нагрузок и низких климатических температур / Глав 5 в книге: Научно-технические технологии в проектах РНФ. Сибирь. / Под редакцией С.Г. Псахье и Ю.П. Шаркеева. – Томск: Издательство НТЛ, 2017. – 428 с. ISBN 978-5-89503-607-5. – с.134-202.
10. Сараев Ю.Н. Исследование влияния энергетических параметров режима дуговой сварки покрытыми электродами на стабильность тепломассопереноса / Сараев Ю.Н., Лунев А.Г., Киселев А.С., Гордынец А.С., Нестерук Д.А., Хайдарова А.А., Чинахов Д.А., Семенчук В. М. // Сварочное производство. – 2018. – №2. – с. 3-13.

ОПТИЧЕСКИЕ И РЕНТГЕНОВСКИЕ ПРИБОРЫ ПРОИЗВОДСТВА

АО «НАУЧНЫЕ ПРИБОРЫ»

Елохин В.А., к. ф.-м. н., генеральный директор

Готлиб В.А., к.т.н., главный конструктор

Николаев В.И., к. ф.-м. н., технический директор

Сатаров А.Г., ведущий специалист (satarov@sinstr.ru)

АО «Научные приборы», www.sinstr.ru 190103, г. Санкт-Петербург, Рижский пр., 26

X-RAY AND OPTICAL INSTRUMENTS DEVELOPED BY "SCIENTIFIC INSTRUMENTS" SC

Elokhin V.A., Gotlib V.A., Nikolaev V.I., Satarov A.G.

Annotation

This paper describes instruments thanks to which "Scientific Instruments" SC keeps its own place in Russian market. Our instruments are constantly improved; we find new possibilities for them, the company develops the manufacture of new instruments.

Keywords

Instruments for forensic research, X-ray diffractometer, XRF analyzer, μ -XRF analyzer, mass spectrometer.

Аннотация

В работе представлены серийно выпускаемые приборы, разработка которых позволила компании утвердиться на российском рынке. Приборы совершенствуются, обретают новые возможности, компания осваивает новые направления приборостроения.

Ключевые слова

Приборы для криминалистических исследований, рентгеновский дифрактометр, рентгенофлуоресцентный анализатор, рентгеновский аналитический микроскоп, масс-спектрометр.

Акционерное общество "Научные приборы" создано в 1990 году на базе бывшего СКБ аналитического приборостроения НТО АН СССР.

Основные научно-технические направления деятельности: лазерно-оптическое оборудование, рентгеновская техника, приборы для криминалистических исследований, специальные системы, масс-спектрометрия.

Аппаратура для криминалистических исследований документов на бумажных носителях «Декларация Л».



Комплекс «Декларация-Л» предназначен для исследований документов, выполненных на электрографических печатающих устройствах, с целью идентификации и дифференциации печатающих устройств, установления факта допечаток или замены страниц документа по характерным признакам печатающих устройств. Обнаружение, анализ и сопоставление характерных признаков и особенностей печати производится в автоматическом режиме.

Рентгеновский настольный дифрактометр «Дифрей-401»



Прибор предназначен для решения широкого круга аналитических задач методами рентгенофазового анализа.

Прибор снабжен набором приставок для фазового анализа порошковых проб, проволок, пластин, текстур, монокристаллов и микрообразцов. В приборе используется координатно-чувствительный детектор рентгеновского излучения, что позволяет существенно уменьшить время анализа.

Прибор освобожден от радиационного контроля и необходимости получения специального разрешения на право работы с прибором. Прибор способен решать все базовые задачи

материаловедения, в том числе:

Анализ ширины линий. Определение среднего размера кристаллитов.

Расчет межплоскостных расстояний по центру тяжести дифракционной линии.

Автоматический расчёт периода решётки.

Расчёт истинного физического уширения с учётом эталона.

Функция разделения пиков и отдельного подсчёта каждого из пиков.

Расчёт среднего размера области когерентного рассеяния (ОКР) и среднего уровня микроискажений.

Расчёт распределения ОКР по размерам.

Прибор освобожден от радиационного контроля и необходимости получения специального разрешения на право работы с прибором.

Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный анализатор «РЕАН»



Предназначен для неразрушающего качественного и количественного анализа содержания химических элементов от углерода до урана в твердых, порошковых и жидких образцах.

Базовая модель анализатора включает: воздушноохлаждаемую рентгеновскую трубку мощностью до 150 Вт, энергодисперсионный полупроводниковый дрейфовый детектор, аналитический блок с вакуумируемой или заполняемой гелием измерительной камерой, автоматическую систему смены фильтров первичного излучения, видеокамеру для визуального контроля исследуемого образца и прицеливания в заданную область анализа, набор коллиматоров для формирования первичного рентгеновского пучка заданного сечения. Прибор освобожден от радиационного контроля и необходимости получения специального разрешения на право работы с прибором.

Рентгеновский аналитический микрозонд-микроскоп «РАМ-30μ».



Предназначен для исследования объектов методами оптической микроскопии, рентгенографии и локального рентгенофлуоресцентного микроанализа с возможностью элементного картирования.

Прибор включает микрофокусную рентгеновскую трубку мощностью до 500 Вт; систему формирования рентгеновского микрозонда с изменяемым от 30 до 1000 мкм фокусным пятном на основе поликапиллярной рентгеновской линзы; оптический цифровой микроскоп с увеличением до 200х для исследования области анализа; оптический микроскоп, совмещенный с осью рентгеновского зонда; автоматизированную систему выбора рабочего расстояния; автоматизированный двухкоординатный рабочий стол для позиционирования объекта и сканирования по заданной области образца (X,Y) в пределах 150x150 мм; полупроводниковый детектор прошедшего через образец излучения для рентгенографических исследований; энергодисперсионный полупроводниковый дрейфовый детектор для элементного анализа; вакуумируемую измерительную камеру для элементного анализа легких элементов; специализированное программное обеспечение для управления прибором, рентгенографических исследований, элементного анализа и элементного картирования.

Прибор освобожден от радиационного контроля и необходимости получения специального разрешения на право работы с прибором.

Масс-спектрометрический анализатор микропримесей газов в воздушных и жидких средах «Микропор-М»

Анализатор «Микропор-М» предназначен для обнаружения, идентификации и количественной оценки содержания микропримесей газов и органических веществ в воздушной и жидкой средах.

Области применения: экологический мониторинг окружающей среды; контроль техногенных загрязнений при аварийных ситуациях; исследование биологических материалов в медицине; внедрение в АСУ ТП металлургических, фармацевтических и химических производств, анализ примесей в водоемах.

Порог обнаружения микропримесей зависит от вида анализируемого вещества и находится в пределах 0,01 – 10 ppm.

Анализатор «Микропор-М» построен на базе квадрупольного масс-спектрометра с диапазоном массовых чисел от 1 до 300 а.е.м. В масс-спектрометре используется закрытый источник ионов с электронным ударом. Детектирование ионов осуществляется вторичным электронным умножителем. Масс-спектрометр обеспечивает непрерывную развертку спектра в заданном диапазоне масс, анализ в режиме реального времени с непрерывной регистрацией выбранных пиков из масс-спектра.

Ввод пробы в анализатор осуществляется через гидрофобную селективную мембрану, обладающую повышенной проницаемостью органических микропримесей анализируемой среды (воздушной или жидкой). Анализатор «Микропор-М» работает на запасенном вакууме с использованием дифференциального магниторазрядного насоса.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ДАТЧИК КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЁННОГО КИСЛОРОДА ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ

*Светличный Д.А., младший научный сотрудник, dmitryudas@gmail.com
Пляка П.С., канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, pavstef@mail.ru
Саяпин Ю.А. канд. хим. наук, старший научный сотрудник, sayapin@ipoc.sfedu.ru
Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук
<http://www.ssc-ras.ru/>, г. Ростов-на-Дону, Чехова 41, 344006*

PERSPECTIVE FLUORESCENT OXYGEN CONCENTRATION SENSOR FOR MONITORING OF WATER ENVIRONMENT PARAMETERS BY MODERN DEVICES

Svetlichnyy D.A., Plyaka P.S., Sayapin Y.A.

Annotation

Oxygen sensitive films were obtained by forming a thin polymer support on a glass surface followed by introduction of phenanthroline ruthenium complex molecules into the polymer. The films act by the principle of fluorescence quenching. The sensors made using this films showed good sensitivity and a low sensor response time to oxygen.

Keywords

Sensor, fluorescence, metal complex, oxygen detector.

Аннотация

Методом формирования тонкого полимерного носителя на поверхности стекла с последующим внедрением в него молекул фенантролинового комплекса рутения были получены чувствительные к кислороду плёнки, работающие по принципу гашения флуоресценции. Изготовленные на основе этих плёнок датчики показали хорошую чувствительность и высокую скорость реакции на кислород.

Ключевые слова

Датчик, флуоресценция, металлокомплекс, детектор кислорода.

Задача оперативного измерения концентрации растворённого кислорода в водоёмах имеет приоритетное значение, поскольку это один из важнейших показателей качества воды. На современных рыбоводческих предприятиях ошибка в определении концентрации кислорода может привести к массовой гибели рыб и экономическому краху предприятия. Не так давно в подавляющем большинстве рыбоводных хозяйств измерение кислорода в воде проводилось точным, но трудоемким йодометрическим методом, требовавшим хорошо оснащенной лаборатории и опытного персонала. Но в рыбхозе трудно организовать гидрохимическую лабораторию, отвечающую всем необходимым условиям, поэтому результаты анализов часто страдали низкой точностью. В частности, систематические ошибки возникали при отборе проб воды непосредственно в кислородные ёмкости, а именно такой способ отбора практиковался повсеместно в рыбхозах. При низком содержании кислорода вода очень быстро насыщается им при контакте с воздухом, что и происходит при отборе пробы сразу в стеклянную ёмкость.

Существовали и другие проблемы: дефицит батометров для отбора проб с разных глубин, сложности с отбором проб зимой, и пр. Все эти сложности привели к появлению специальных электронных устройств - оксиметров, причем импортные приборы из-за высокой цены занимают на рынке отнюдь не доминирующие позиции. В связи с этим возникла задача по разработке доступного отечественного прибора подобного класса. При этом использование датчика основанного на эффекте гашения флуоресценции выглядит наиболее перспективно ввиду его долговечности и возможности ввести в конструкцию датчика авто калибровку (1)

Метод измерения концентрации за счёт гашения флуоресценции основан на том, что при фото возбуждении определённых химических соединений, интенсивность их свечения оказывается обратно пропорциональной концентрации контактирующего с ними кислорода. Поэтому измеряя интенсивность свечения таких веществ фотодатчиком, можно с большой точностью оценивать концентрацию кислорода. Чаще всего в качестве подобных соединений используют комплексы порфиринов с Ru(II), Os(II), Rh(II), т.к. они имеют координирующие атомы азота, способные связывать атомы металлов (2). Однако, порфириновые системы имеют ряд недостатков. Из-за чрезвычайно широкого спектра поглощения, они склонны к фотодеградации. Кроме того, за счёт низкой селективности требуется сложная химическая модификация порфиринового цикла, что значительно удорожает производство.

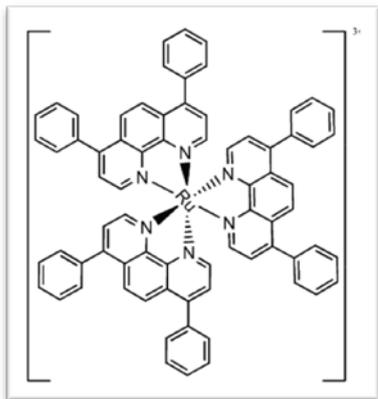


Рисунок 1 – Структура используемого комплекса $[Ru(Ph_2phen)_3](ClO_4)_2$

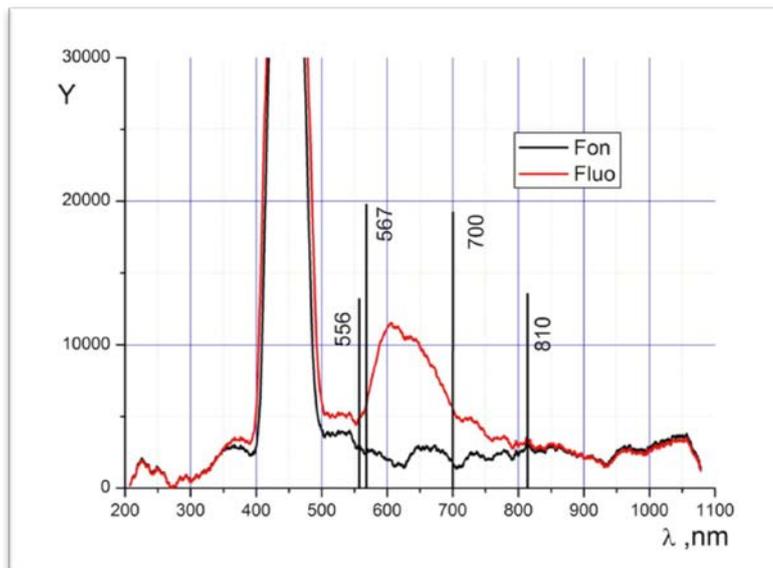


Рисунок 2 – Спектральные характеристики

В качестве активного вещества для создания датчика нами был выбран комплекс Ru(II) с 4,7-дифенил-1,10-фенантролином (рис. 1) из-за его хорошей устойчивости к фотодegradации и достаточно высокой селективности к кислороду (3, 4).

Отсняты спектры поглощения и флуоресценции данного соединения (рис. 2). На спектрах хорошо видна большая ширина поглощения. Максимум поглощения приходится на 467 нм и позволяет использовать для возбуждения недорогой синий светодиод. Соединение интенсивно светит в красном диапазоне с максимумом при 592 нм, квантовый выход флуоресценции достигает 30%. Для закрепления молекул комплекса на рабочей поверхности стекла была сформирована полимерная силиконовая плёнка, толщиной около 25 микрон. Применялась полимеризация под давлением 10 Кг/см^2 , что давало однородную по толщине и физическим параметрам плёнку. Далее, в плёнку внедряли молекулы комплекса рутения, путём пропитывания в растворе хлористого метилена заданной концентрации и последующей сушке под вакуумом. Конечное покрытие имело вид тонкой жёлтой плёнки (рис. 3) и было установлено в разработанную коллегами ячейку кислородного детектора (рис. 4).



Рисунок 3 – Стекло с фоточувствительным покрытием.

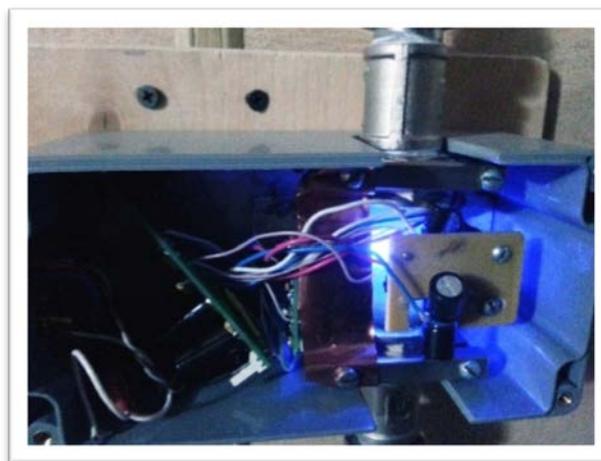


Рисунок 4 – Кислородная ячейка на его основе

В ходе калибровки и испытаний плёнки показали хорошие результаты. Стабилизация показаний происходила очень хорошо, колебания были незначительны. Измеренная постоянная времени составила 2-3 минуты что видно на графике ниже. Линейность показаний соблюдалась.

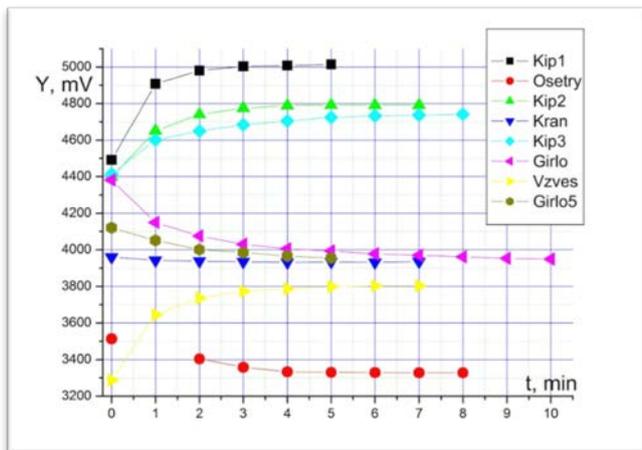


Рисунок 5 – Графики испытаний полученных образцов.

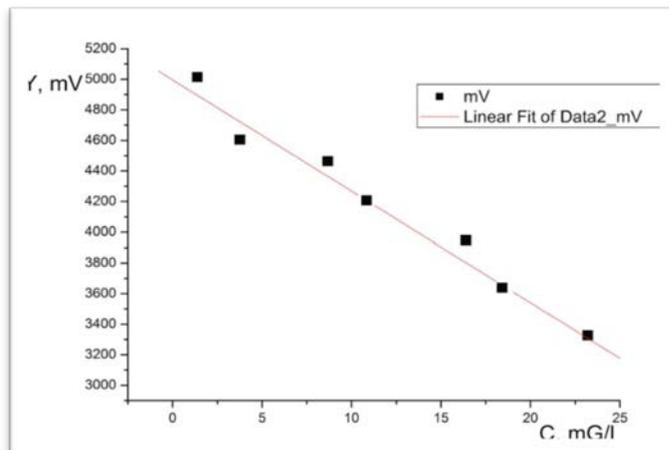


Рисунок 6 – Калибровочная кривая

Повторная калибровка прибора после испытаний в водоёме выявила практически полное отсутствие деградации сенсора, что в сочетании с простотой изготовления и высокой надёжностью делает его перспективным и недорогим датчиком для современных отечественных оксиметров.

Результаты получены в рамках выполнения Госзадания ЮНЦ РАН № 01201354239, с использованием оборудования ЦКП «Объединенный центр научно-технологического оборудования ЮНЦ РАН (исследование разработка апробация)» № 501994.

Список литературы

1. Петрухин О.М., Максименко О.О. Сенсоры в аналитической химии // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52. – № 4. – С. 3–6
2. Wang X., Chen H., Zhao Y., Chen X., Wang X. Optical oxygen sensors move towards colorimetric determination // Trends in Analytical Chemistry. – 2010. – V. 29. – № 4. – P. 319–338. 2.
3. X. Chen, Z. Zhong, Z. Li, Y. Jiang, X. Wang, K.Y. Wong, // Sens. Actuators, B 87 (2002) 233.
4. H. Xu, J.W. Aylott, R. Kopelman, T.J. Miller, M.A. Philbert, // Anal. Chem. 73 (2001) 4124.

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ НАЗЕМНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАЗРЫВОМ ПЛАСТА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Хисамов Р. С.¹, доктор геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора – главный геолог

Селезнев В. С.², доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе,

Лисейкин А. В.³, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник,

1 - ПАО «Татнефть», <http://www.tatneft.ru>, 423450, Россия, Республика Татарстан,

г. Альметьевск, ул. Ленина, д. 75, 8-(855)-330-71-17, khisamov@tatneft.ru

2 - ФИЦ ЕГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>, 249035, г. Обнинск, Калужская обл.,

пр-т Ленина, д.189, 8-(495)-912-6872, sel@gs.sbras.ru.

3 - СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>, 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак.

Контюга, 3, 8-(383)-333-20-21, lexik1979@mail.ru.

METHODS AND EQUIPMENT FOR GROUND-BASED MICROSEISMIC MONITORING OF PROCESSES ASSOCIATED WITH HYDRAULIC FRACTURING: CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Khisamov R.S.¹, Seleznev V.S.², Liseikin A.V.³

Annotation

Information on existing technologies of ground microseismic monitoring of processes related to hydraulic fracturing at oil and gas fields is presented. The modern state of methodical and hardware support is shown, the ways of their perspective development are indicated.

Keywords

Hydraulic fracturing, ground microseismic monitoring.

Аннотация

Представлены сведения о существующих технологиях наземного микросейсмического мониторинга процессов, связанных с проведением работ по гидравлическому разрыву пласта на нефтяных и газовых месторождениях. Показано современное состояние методического и аппаратурного обеспечения, обозначены пути их перспективного развития.

Ключевые слова

Гидравлический разрыв пласта, наземный микросейсмический мониторинг.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) – один из наиболее эффективных методов интенсификации работы нефтяных и газовых скважин. Технология ГРП заключается в создании трещин с повышенной проницаемостью в пласте за счет подаваемой в него под давлением жидкости. При этом, наиболее эффективным для горизонтальных скважин является многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП) – одна из самых передовых технологий в нефтяной отрасли. Технологические параметры работ по гидроразрыву определяются в основном по результатам численного геомеханического моделирования, результатом которого являются желаемые, теоретически рассчитанные геометрические параметры трещин: азимуты и углы простирания, длина и высота плоскости разрыва и др. Часто бывает, что ГРП не приносит ожидаемого результата. Например, распространение трещин произошло по отличному от предполагаемого азимута, или высота трещины оказалась слишком большой, что привело к прорыву водоносных горизонтов и притоку воды в скважину. Подобных примеров в практике работ по ГРП достаточно много и в таких случаях делают вывод об их неэффективности. В этом аспекте важную роль имеют методы исследования, позволяющие контролировать процесс ГРП в режиме реального времени с определением геометрических параметров развивающихся трещин и с оперативным выявлением различных нештатных ситуаций.

Один из наиболее перспективных методов контроля в процессе ГРП и оценки его результатов предполагает синхронную регистрацию сейсмических колебаний на дневной поверхности над забоем скважины, в которой он производится, с помощью сейсмической антенны и цифровой регистрирующей аппаратуры. Этот способ, хотя и уступает по точности регистрации в непосредственной близости от места ГРП (например, в соседней скважине), однако, экономическая эффективность его на порядки выше. Регистрацию осуществляют на дневной поверхности непрерывно до начала, в процессе и после работ. Апертура такой антенны сопоставима с глубиной до места ГРП. Как правило, количество сейсмических регистраторов в такой антенне достигает нескольких десятков единиц, которые размещаются на площади с характерными размерами в 1-3 км, а расстояние между соседними регистраторами составляют 100-500 м. Для снижения уровня поверхностных помех, регистраторы закапываются в грунт, как правило, на глубину до 1 м, а на поверхность выносятся антенна GPS/ГЛОНАСС приемника для обеспечения точной временной синхронизации. Безусловным преимуществом для развертывания такого рода антенн пользуется автономная регистрирующая аппаратура, способная проводить непрерывную запись колебаний в течение 2-4 недель. Нами в исследованиях используется комплекс, состоящий из автономных трехкомпонентных 24-разрядных регистраторов «Байкал», разработанных в Сибирском отделении ФИЦ ЕГС РАН и хорошо зарекомендовавших себя при создании постоянных и временных сейсмологических сетей. Немаловажно и то, что стоимость аппаратуры «Байкал», заметно ниже чем у зарубежных аналогов.

Среди методов обработки получаемых сейсмических записей можно отметить методы, основанные на локации микросейсмических событий, происходящих непосредственно в образовавшейся после гидроразрыва трещине и в прилегающих к ней породах. Такие методы могут основываться на анализе кинематических параметров сигналов, если они

могут быть надежно определены (аналогично методам, применяемым в сейсмологии), или использовать динамический подход (например, различные модификации сейсмоэмиссионной томографии).

Физической основой метода эмиссионной томографии [1], является тот факт, что в геологической среде существуют области слабого, на уровне шумов, сейсмического излучения, активизирующиеся при низкочастотных деформационных природных и техногенных воздействиях. Метод был разработан для локализации источников слабых шумоподобных сигналов. От традиционных методов локализации сейсмических источников он отличается тем, что не требует определения времени вступления сейсмических фаз, поэтому может быть использован при работе с сигналами без четких вступлений. В качестве эндогенных эмиссионных источников могут выступать как активные первичные излучатели сейсмических сигналов, так и вторичные переизлучатели рассеянных волн.

Присутствие в среде источников сейсмического излучения или контрастных неоднородностей приводит к появлению когерентных компонент в случайном волновом поле, зарегистрированном на поверхности. Используя данные сейсмической антенны и оценивая по ним энергию когерентного излучения сферических волн, исходящих из различных точек исследуемой среды, можно построить карты распределения источников микросейсмической активности среды, или «изображение» сейсмически шумящих объектов.

Пространство под группой регистраторов сканируется лучом сейсмической антенны в узлах кубической решетки. Необходимым условием при этом является задание скоростной модели среды. Простейшая модель – однородная среда с постоянной скоростью; более приближенная к реальным условиям модель – горизонтально-слоистая среда. Суть обработки сводится к сравнительной оценке энергии сигналов, излучаемых различными точками исследуемого объема среды. В процессе сканирования каждому узлу присваивается вес, пропорциональный экспериментальной оценке энергии когерентного излучения, исходящего из данной точки. Для оценки энергии сигналов по зарегистрированной сейсмограмме рассчитываются интегральные оценки отношения сигнал/помеха для каждого узла сетки опроса.

Ниже, в качестве примера, представлены результаты опытных работ, выполненных в районе проведения многостадийного ГРП в скважине с горизонтальным завершением №2802Г Бавлинского месторождения в республике Татарстан (10 стадий, в период с 29.11.2017 по 08.12.2017). Для регистрации пассивных сейсмических данных до начала, во время проведения и после окончания ГРП в районе скважины была развернута площадная сеть из 36 автономных цифровых станций «Байкал-АСН» и трехкомпонентных геофонов GS-One с частотным диапазоном 10-250 Гц. На рис. 1 показана конфигурация сети и проекция траектории скважины на горизонтальную плоскость.

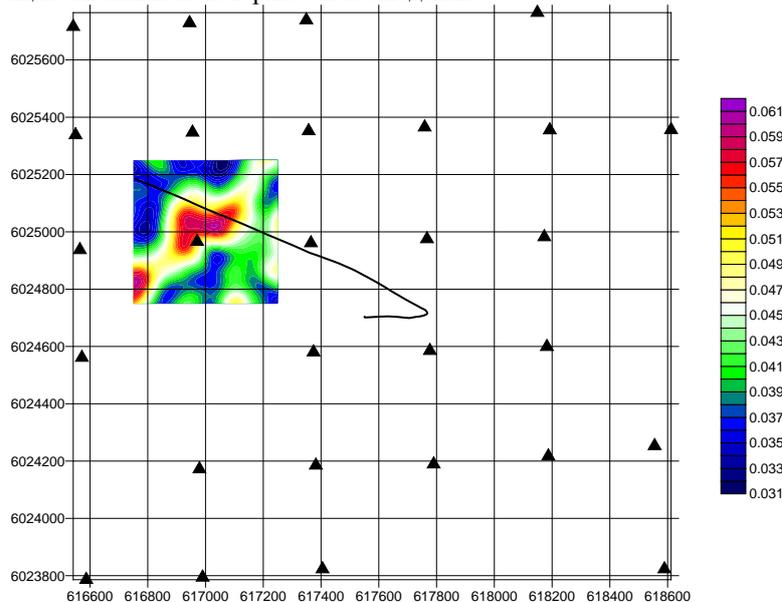


Рисунок 1 – Конфигурация сети наблюдений и проекция траектории скважины на горизонтальную плоскость. Цветная вставка показывает пример локализации зоны сейсмической активизации методом сейсмоэмиссионной томографии.

На рис. 2 показана ориентация предполагаемых плоскостей развития трещин гидроразрыва в объеме среды. Каждая плоскость изображена в виде эллипса, показаны главная и вторая ось, а площадь эллипса характеризует приблизительную площадь гидроразрыва. В целом, простирание трещин в плане – СВВ для каждой из стадий и составляет 50-90 градусов к проекции горизонтального ствола скважины. Это может свидетельствовать о правильно выбранной геомеханической модели при проектировании работ по ГРП.

Основные выводы по выполненным исследованиям следующие. Предполагаемые направления простирания трещин 2-7-й стадий гидроразрывов в плане – северо-восточные, под углами 90-50 градусов к проекции горизонтальной части ствола скважины. Результаты анализа данных микросейсмического мониторинга, в том числе с применением методов сейсмической диагностики работающего оборудования, свидетельствуют об успешности выполненных работ на 2-7-й стадиях. Предполагаемые трещины 8-10-й стадий имеют такое же простирание, как и на стадиях 2-7, но их размер существенно меньше.

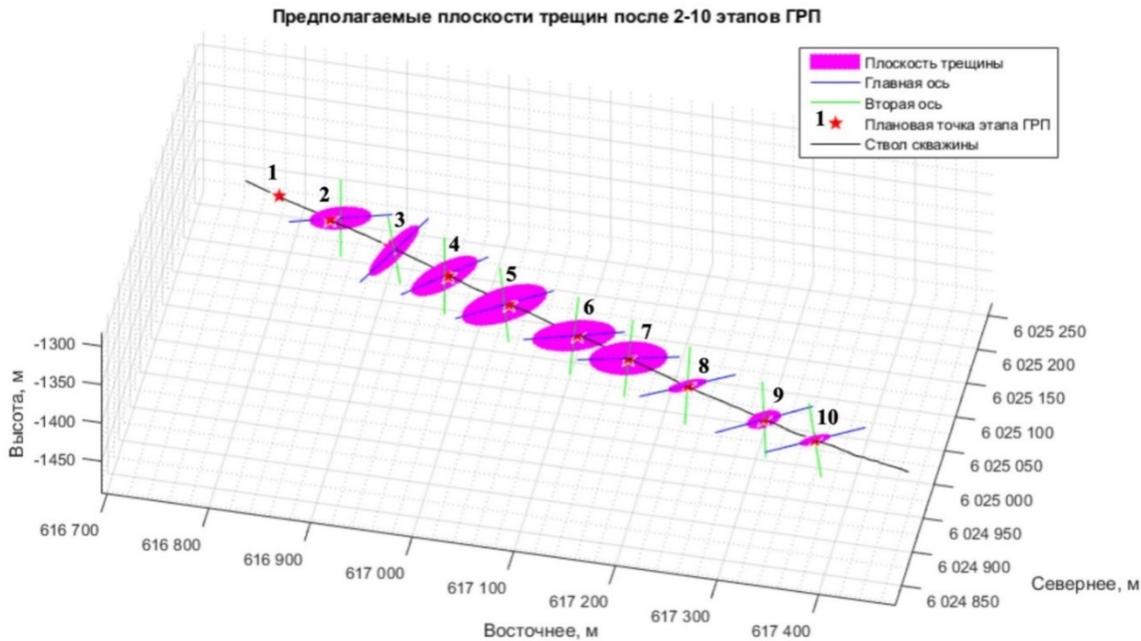


Рисунок 2 – Объемный вид плоскостей предполагаемого развития трещин всех стадий гидроразрыва.

Кроме этого, проводились исследования, направленные на использование записей сейсмических станций для контроля над технологическими процессами во время проведения работ по ГРП. Изначально, метод активно развивался после крупнейшей техногенной аварии, произошедшей в августе 2009 г на Саяно-Шушенской ГЭС [2]. Разработана методика обработки сейсмограмм [3], которая заключается в разделении сейсмического волнового поля на источники определенной частоты и дальнейшем установлении причинно-следственных связей между изменениями амплитуд колебаний с одной стороны, и изменениями режимов работы мощного оборудования, с другой. При этом источник должен работать на определенной частоте (или в полосе частот), а регистрирующая сеймостанция может располагаться на некотором расстоянии от исследуемого объекта, достаточном для прохождения сейсмического сигнала. Как показали исследования, выполненные на месторождениях во время проведения работ по гидроразрывам [4], использованное оборудование работает с постоянными или мало изменяющимися частотами, а изменения амплитуд сейсмических колебаний на этих частотах коррелируют с изменениями технических параметров ГРП. Это позволяет использовать разработанную ранее методику непрерывного сейсмического мониторинга для контроля над технологическими процессами на месторождении при проведении гидроразрывов.

Мы привыкли, что в реальной жизни большинство информации поступает в наш мозг после спектрального анализа звуковых сигналов. Наш мозг научился очень хорошо проделывать эту процедуру и находить понятные аналоги спектральным характеристикам звука. Точно такие же процедуры можно применять и в технике, используя сейсмические сигналы, распространяющиеся по земле. Проведенные исследования показывают, что, изучая спектральные характеристики колебаний, зарегистрированных трехкомпонентными сейсмоприемниками вблизи скважины, в которой производится гидроразрыв (или серия гидроразрывов), можно вести контроль параметров их проведения, оценивать и анализировать причины неудачных попыток. Для того чтобы эти процедуры были более просты и понятны инженерам и геологам, проводящим гидроразрывы, необходимо усовершенствовать программное обеспечение с целью формализации корреляционных связей спектральных характеристик с физическими характеристиками ГРП. Вероятно, надо создавать такой комплекс, который мог бы получать и выдавать все необходимые сведения в реальном времени. Это помогло бы не только вести контроль проведения гидроразрыва, но и оперативно вносить корректировки в работу различных агрегатов, работающий на скважине. В принципе это не сложная задача, которая в случае необходимости может быть быстро решена.

Список литературы

1. Николаев А.В., Троицкий П.А., Чеботарева И.Я. Изучение литосферы сейсмическими шумами // ДАН СССР. – 1986. – Т. 282. – № 9. – С. 586–591.
2. Seleznev V.S., Liseikin A.V., Bryksin A.A., Gromyko P.V. What caused the accident at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power plant (SSHPP): a seismologist's point of view // Seismological Research Letters. 2014. Т. 85. № 4. С. 817-824.
3. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А. Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления // Патент на изобретение RUS 2461847 08.07.2010.
4. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Брыксин А.А., Сигонин П.А., Коковкин И.В. Способ инженерно-сейсмического контроля над работами по гидравлическому разрыву пласта // В сборнике: Геофизические методы исследования земной коры Материалы Всероссийской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Пузырёва. 2014. С. 186-189.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ НА РЕКАХ

СЕЛЕЗНЕВ В.С., СОЛОВЬЕВ В.М., ЛИСЕЙКИН А.В., БАБУШКИН С.М. ФИЦ ЕГС РАН / АСФ ФИЦ ЕГС РАН / СЕФ ФИЦ ЕГС РАН

*Селезнев В.С., доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе
ФИЦ ЕГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>, 249035, г. Обнинск, Калужская обл.
пр-т Ленина, д.189, 8-(495)-912-6872, sel@gs.sbras.ru*

*Соловьев В.М., кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, АСФ ФИЦ ЕГС РАН
www.gs.sbras.ru, 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, 8-(383)-330-75-68, solov@gs.nsc.ru*

*Лисейкин А.В., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН
<http://www.ceme.gsras.ru>, 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, 8-(383)-333-20-21, lexik1979@mail.ru*

*Бабушкин С.М., заместитель директора, СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, <http://www.ceme.gsras.ru>
630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, 8-(383)-333-20-21, bab@gs.sbras.ru*

NEW TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR GEOPHYSICAL WORK ON OIL AND GAS ON RIVERS

Seleznev V.S., Solovyev V.M., Liseikin A.V., Babushkin S.M.

Annotation

The method, technique, equipment and software for river seismic investigations in water areas and in transit zones, including under conditions of extremely small depths (up to 1 m) are presented. The results of industrial river seismic investigations in a number of oil and gas bearing regions of Russia on the rivers Vakh, Yenisei, Ob, Lena, Kirenga, Tunguska, and Kama are given.

Keywords

River seismic investigation, seismic source point, time section.

Аннотация

Представлены методика, техника, оборудование и программное обеспечение для речных сейсмических исследований в акваториях и в транзитных зонах, в том числе в условиях сверхмалых глубин (до 1 м). Приводятся результаты производственных речных сейсмических исследований в ряде нефтегазоносных регионов России на реках Вах, Енисей, Обь, Лена, Киренга, Тунгуска и Кама.

Ключевые слова

Сейсмические исследования на реках, пневмоисточник, временной разрез.

Возрастающие объемы мировой нефтегазодобычи последних десятилетий обусловили значительный рост объемов геофизических и, прежде всего, сейсморазведочных работ в континентальных регионах и акваториях мирового океана. Для реализации сейсморазведки 2Д и 3Д в морском и наземном вариантах созданы специальные аппаратно-программные комплексы и разработаны современные графы обработки. При наземных исследованиях, в большинстве случаев, используются сейсморазведочные комплексы, включающие высокочастотные передвижные вибраторы мощностью 10-25 тонн (в отдельных местах используются взрывные источники возбуждения) и цифровые сейсмостанции. При морских исследованиях применяются специализированные суда, обладающие высокой мобильностью, маневренностью и автономностью, на которых установлено достаточное объемное и громоздкое оборудование (пневмопушки, мощные компрессора, сейсмические косы, сейсмостанции и др.) для выполнения сейсморазведочных работ и оборудованы места для работы и проживания научно-технического персонала. Данными исследованиями закрывается примерно 85-90% поисково-разведочных площадей мирового океана и континентов. Остальные 10-15% приходятся на транзитные зоны (шельфы) и акватории крупных рек и их притоков внутри континентов, в которых традиционные морские и наземные сейсморазведочные работы затруднены как по техническим, так и по экологическим причинам.

В ФИЦ ЕГС РАН в течение двух десятков лет разрабатывается методика детальных сейсмических исследований земной коры, основанная на использовании многократных систем наблюдений и проведении работ на акваториях морей, во внутренних водных бассейнах, включая малые реки с ограниченной судоходностью и в переходных зонах (суша-берег). За этот период отработаны тысячи погонных километров сейсмических профилей МОГТ, НСП (одноканального непрерывного сейсмического профилирования), КМПВ (корреляционного метода преломленных волн) и ГСЗ на Черном, Каспийском, Азовском морях, озерах Байкал и Телецкое, в труднодоступных условиях Западной и Восточной Сибири на реках Обь, Енисей, Вах, Кама, Лена, Киренга, Тунгуска, Волгоградском водохранилище и др. Выполнение работ в различных

климатических и природных условиях потребовали создания широкого спектра современного оборудования, технологий и программного обеспечения.

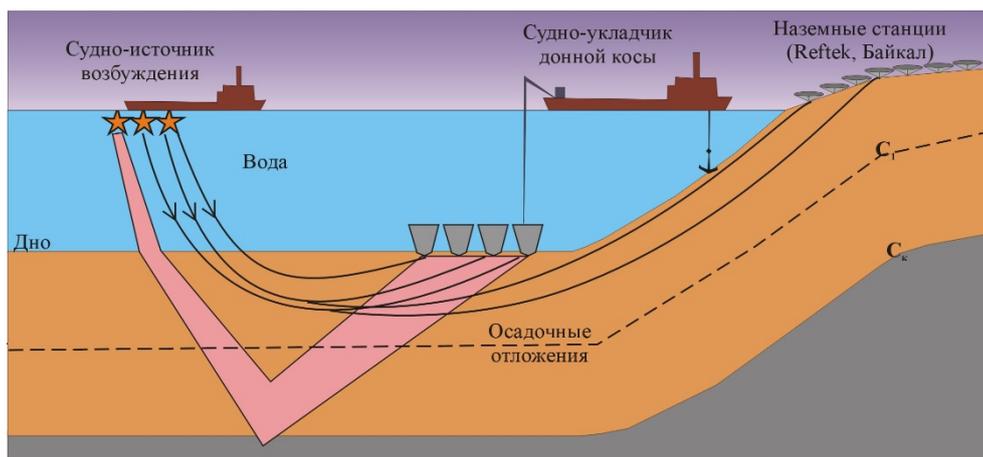


Рисунок 1 – Схема двухсудовой технологии обработки сейсмического профиля в транзитных зонах.

Специфика речных сейсмических исследований (малая глубина, узкий, извилистый фарватер, захламленность дна большинства сибирских рек топливом, сильное течение, интенсивное судоходство в период навигации) накладывает ограничения на ряд стандартных морских сейсмических технологий и требует доработки оборудования, малотоннажных судов (БМ, БТ и др.) и используемых аппаратно-программных комплексов. Основная особенность методики речных сейсмических работ состоит в использовании либо двухсудовой технологии (одно судно - постановщик сейсмической косы и другое судно - перемещаемый пункт возбуждения) (Рис. 1), либо односудовой, когда взрыв-пункт движется вблизи берега, а сейсмоприемники располагаются на берегу. В качестве источников возбуждения в последние годы хорошо зарекомендовали группы пневмоисточников «Пульс» и «Малыш» с суммарным объемом от 6 до 20 литров и рабочими частотами излучения источников в диапазоне 30-70 Гц. Расстояние между отстрелами изменялось с учетом группы пневматики, используемой мощности компрессоров, скорости течения и судна и составляло, как правило, 25-50м. Регистрация осуществлялась сеймостанциями "Mash-Line" (в воде) или регистраторами "Байкал" (на берегу). Непосредственно перед укладкой сеймокос, с целью оценки места укладки по глубинам и захламленности топликами, производились эхолотный промер и сонарная съемка рек. Раскладка сеймокос и привязка пунктов возбуждения осуществлялось с использованием спутникового навигационного оборудования, обеспечивающих точность местоопределения в 1-3м. Уточнение местоположения сейсмоприемников проводилась с использованием специально разработанной технологии, основанной на использовании годографов водных волн.

Проектирование, обработка и интерпретация сейсмических материалов (речной сейсмозазведки 2Д, НСП, КМПВ и ГСЗ) выполнялась в системе Geovector+ на SUN E-450 с использованием стандартных и специализированных пакетов интерпретации кинематических и динамических характеристик отраженных, преломленных и рефрагированных волн [1, 2, 3]. Выполнялась комплексная интерпретация сейсмической и скважинной информации с целью построения геологической модели продуктивных интервалов разреза и прогноза свойств резервуаров. Для динамической интерпретации головных волн с построением временных разрезов применялся специализированный пакет интерпретации ФИЦ ЕГС РАН [1].

В результате сейсмозазведочных исследований на акваториях рек с глубиной до 1м получены временные разрезы высокого качества, сравнимые с данными наземной сейсмозазведки 2Д на сопредельных территориях [3]. На ряде полученных кондиционных временных разрезов уверенно выделяются и прослеживаются отраженные волны от целевых опорных границ в осадочных толщах в интервале времен 0,7-4,0с. Полученный материал позволил составить однозначное представление об изменениях структурного плана на изученных участках и решить поставленные геологические задачи.

Сравнение результатов, полученных на речных профилях с наземными, пересекающими реку, показало, что в сложных поверхностных условиях (центральная Лена, река Нижняя Тунгуска) сейсмические разрезы на реке лучше наземных разрезов. Это связано с тем, что на реке без увеличения затрат можно реализовывать системы наблюдений с кратностью в несколько сотен и не нужно вводить поправки за рельеф. Важно и то, что профили по реке протяженностью в 1000 км увязывают данные, полученные на отдельных наземных профилях. В устье р. Енисей получен качественный материал до глубин в 20 км. На отдельных участках выделяется граница Мохоровичича. На реке Лене, в районе нефтяного месторождения, проведено комплексирование сейсмозазведочных и электроразведочных работ. По данным сейсмозазведки определялись структурные и скоростные параметры разреза и, используя эту информацию, по данным электроразведки определяли распределение проводимости. Полученные результаты полезны для прямых поисков углеводородов.

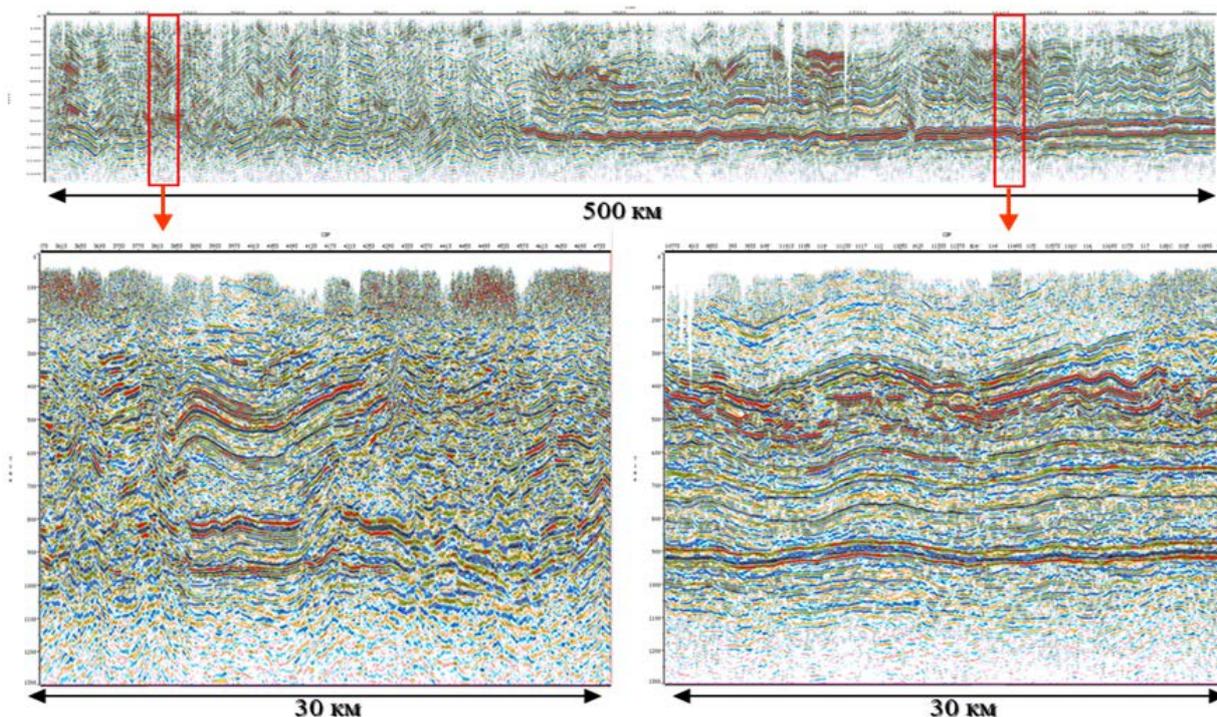


Рисунок 2 – Сейсмический временной разрез вдоль реки Лена в верхнем течении от п. Витим.

В Восточной Сибири во многих местах очень сложно получить хорошие сейсмические материалы и разрезы, опираясь только на отраженные волны (Рис. 2). Предлагается разработать технологию (аппаратуру, методические приемы, способы интерпретации, методы проведения полевых работ), опирающуюся на совместное использование преломленных и отраженных волн и методы электроразведки. Огромное количество больших и малых рек (общей протяженностью в сотни тысяч погонных километров), а также акватории шельфов морей, внутренних озер и водохранилищ Восточной Сибири и Якутии пригодны для производства речных сейсмических работ и могут быть в короткие сроки изучены детальными речными сейсморазведочными и электроразведочными исследованиями, что очень важно в реализации современной государственной стратегии геологоразведочных работ на нефть и газ в Восточной Сибири и Республике Саха.

Список литературы

1. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Коршик Н.А. Автоматизированная обработка преломленных волн для многократных систем наблюдений // Методы, технические средства, методика обработки и интерпретации геолого-геофизических исследований при создании государственной сети опорных геофизических профилей. Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2001, с. 145-161.
2. Крылов С.В., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф. Изучение Байкальской рифтовой впадины методом сейсмической томографии на преломленных волнах. Докл. Российской Академии Наук, 1995, том.345, N5, с.674-677.
3. Селезнев В.С., Сысоев А.П., Игнатов А.М., Соловьев В.М. и др. Детальная высокоразрешающая сейсморазведка при нефтегазопроисковых работах в зонах шельфа, речной и озерной сети в условиях сверхмалых (0.5 - 1м) глубин. В сборнике материалов пятой научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа», Том 1, Ханты-Мансийск, 2002, с. 301-309.

**ПРОТОТИП ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ С МАГНИТНЫМ ПОВОРОТОМ ПУЧКА
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Алякринский О.Н.*¹, научный сотрудник, *Батазова М.А.*¹, научный сотрудник
*Болховитянов Д.Ю.*¹, канд. тех. наук, старший научный сотрудник, *Косачев М.Ю.*¹, инженер
*Логачев П.В.*¹, д-р физ.-мат. наук, директор ИЯФ СО РАН, *Медведев А.М.*¹, старший лаборант
Семенов Ю.И.¹, научный сотрудник, *Сизов М.М.*¹, младший научный сотрудник
Старостенко А.А.^{1,2}, канд. физ.-мат. наук, заведующий сектором, старший преподаватель
*Цыганов А.С.*¹, научный сотрудник

1 – ФГБУН ИЯФ СО РАН, <http://www.inp.nsk.ru/>,

*630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11
тел. (383) 329-44-40, e-mail: Yu.I.Semenov@inp.nsk.su*

2 – ФГАОУВО НГУ, <https://www.nsu.ru/>, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2

**PROTOTYPE OF ELECTRON SOURCE WITH MAGNETIC BEAM ROTATION
FOR ELECTRON BEAM TECHNOLOGIES**

*Alyackrinskiy O.N.*¹, *Batazova M.A.*¹, *Bolkhovityanov D.Yu.*¹, *Kosachev M.Yu.*¹, *Logatchov P.V.*¹,
*Medvedev A.M.*¹, ***Semenov Yu.I.***¹, *Sizov M.M.*¹, *A.A.Starostenko*^{1,2}, *Tsygunov A.S.*¹.

Annotation

A prototype of a source of electrons with a magnetic beam rotation for electron-beam technologies is presented. The use of the principle of its operation will make it possible to expand the possibilities of using an electron beam in the processes of thermal processing of materials for the synthesis of heat-resistant composites and compounds, the production of nanopowders and reactive deposition of protective coatings, where there is increased gas evolution and contamination in the technological volume.

Keywords

thermal treatment of materials, synthesis of heat-resistant materials, electron beam welding, magnetic rotation of the electron beam, electron beam trajectory, electron beam focusing, electron beam profile, direct-tantalum cathode, differential vacuum pumping, process chamber.

Аннотация

Представлен прототип источника электронов с магнитным поворотом пучка для электронно-лучевых технологий. Использование принципа его работы позволит расширить возможности применения электронного пучка в процессах термической обработки материалов для синтеза тугоплавких композитов и соединений, получения нанопорошков и реактивного нанесения защитных покрытий, где имеются повышенные парообразование и загрязнение в технологическом объеме.

Ключевые слова

Термическая обработка материалов, синтез жаростойких материалов, электронно-лучевая сварка, магнитный поворот электронного пучка, траектория электронного пучка, фокусировка электронного пучка, профиль электронного пучка, прямонакальный танталовый катод, дифференциальная вакуумная откачка, технологическая камера.

Введение

Процесс преобразования энергии фокусированного электронного пучка в несколько десятков кило электрон-вольт при взаимодействии с веществом в тепловую энергию широко используется в процессах термической обработки материалов для синтеза тугоплавких композитов и соединений, получения нанопорошков, реактивного нанесения защитных покрытий и электронно-лучевой сварки. Эти процессы сопровождаются интенсивным выделением паров обрабатываемых материалов с образованием микрокапель. Из-за их попадания в объем электронной пушки существенно ухудшается или прекращается термоэмиссия с катода и сокращается ресурс высоковольтной изоляции пушки. Для решения этой проблемы используются различные методы, как плазменные ловушки [1], конструкции пушек с изгибом траектории пучка (прожектор Э. Баса), параллельный перенос пучка и т.д.

Цель доклада – представить прототип источника электронов с магнитным поворотом пучка на 90°. Использование принципа его работы позволит расширить возможности применения электронного пучка в электронно-лучевых технологиях в случаях, когда работы ведутся в условиях повышенного парообразования и загрязнения в технологическом объеме.

Описание прототипа

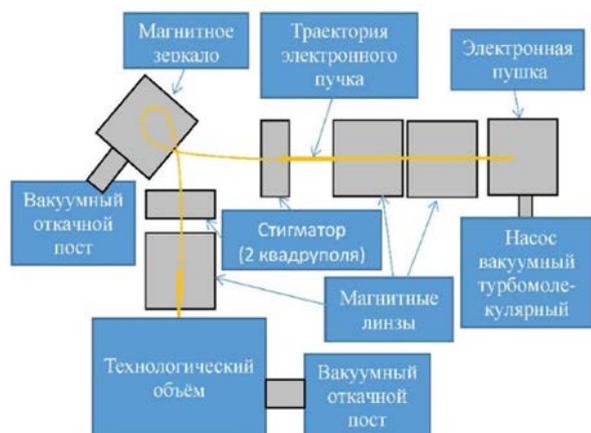
Прототип построен на основе ранее изготовленного энергоблока для установок электронно-лучевой сварки [2]. Пучок, сформированный электронной пушкой, фокусируется аксиальной магнитной линзой, проходит через магнитный поворот и фокусируется второй магнитной линзой для формирования пучка нужного размера на обрабатываемой детали. В целях термической обработки материалов сканируется нагреваемая поверхность электронным пучком и чаще всего не требуется максимальной минимизации размера пятна электронного пучка. Максимальная минимизация размера пятна электронного пучка необходима, например, при электронно-лучевой сварке.

Магнитный поворот [3] состоит из двух магнитных квадруполов и магнитного зеркала [4], в котором пучок описывает петлевую траекторию (рисунок 2). В качестве магнитного зеркала используется плоский дипольный магнит из постоянных магнитов шириной полюсов 110 мм, толщиной 18 мм и зазором 15 мм. Такое магнитное зеркало обладает астигматизмом, и для его компенсации используются квадруполы.

Рисунок 1 – Общий вид прототипа.



Рисунок 2 – Фото магнитного зеркала.



№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Энергия пучка электронов	до 60 кэВ
2.	Ток пучка электронов	До 170 мА
3.	Катод	Прямокальный танталовый, ø4 мм
4.	Поворот пучка	На 270°
5.	Вакуумная откачка	Дифференциальная пространства катод-анод, объёма поворотного магнита и технологического объёма

Рисунок 3 – Блок – схема прототипа

Таблица 1. Основные параметры прототип источника электронного пучка

При правильном подборе силы краевых полей зеркала можно добиться квазиахроматичности магнитного зеркала и в этом случае смещение траектории пучка после поворота при изменении магнитного поля или энергии электронов очень мало.

Приводится пример аналитического расчёта траектории пучка с помощью 2-х мерного распределения поля, из которого следует требование к выставке магнитного зеркала так, чтобы петлевая траектория пучка была симметрична относительно плоскости антисимметрии магнитного зеркала, перпендикулярной к плоскости траектории пучка и проходящей через точку пересечения траектории пучка при входе в зеркало и при выходе из зеркала.

Вакуум в системе обеспечивается дифференциальной безмасляной откачкой пространства катод-анод, объёма поворотного магнита и технологического объёма. Рабочий вакуум в пространстве катод-анод – 10^{-4} мбар, в технологического объёме до 0.1 мбар.

На прототипе проведены исследовательские работы [5], [6] и [7].

Заключение

Продемонстрировано, что большая часть пучка проходит магнитное зеркало при одинаковых условиях независимо от величины тока.

Проведённые измерения профиля пучка показывают:

- смещение относительно плоскости антисимметрии магнитного зеркала приводит к ухудшению качества пучка;
- размеры пучка до и после поворота совпадают;
- пучок прототипа применим для электронно-лучевой сварки.

Выводы

Продемонстрированная новая электронно-лучевая установка с поворотом электронного пучка на 90° отличается своей простотой, компактностью и широким диапазоном рабочего давления в технологическом объёме. Использование поворота электронного пучка на базе магнитного зеркала и квадрупольной коррекции позволяет расширить возможности применения электронного пучка в процессах термической обработки материалов для синтеза тугоплавких композитов и соединений, получения nano порошков, реактивного нанесения защитных покрытий и электронно-лучевой сварки.

Дифференциальная откачка обеспечивает необходимые вакуумные условия работы электронной пушки, увеличивает срок службы катода, повышает стабильность работы установки и позволяет проводить электронно-лучевую обработку материалов при высоких уровнях парообразования и загрязнения в технологическом объёме.

Список литературы

1. Кайдалов А.А., Истомина Е.И. Сварочные электронные пушки. Киев.: НТК “Институт электросварки им. Е.О. Патона”, 2003. 153 с.
2. Semenov Yu.I., Logatchev P.V. et al. 60 keV 30 kW electron beam facility for electron beam technology // Proceedings of EPAC08, Genoa, Italy, TUPP161.
3. Патент на изобретение РФ № 2623578. Устройство поворота электронного пучка для электронно-лучевых технологий /Алякринский О. Н., Логачев П. В., Семенов Ю.И., Старостенко А.А.Опубликовано 28.06.2017.Бюл. №19. 7 с.
4. Кельман В.М., Корсунский М.И., Ланге Ф.Ф. Магнитное электронное зеркало // ЖЭТФ. 1939.Т.9.Вып.6.С. 681 - 684.
5. Ancharov A.I., Grigoryeva T.F., Logachev P.V., Semenov Yu.I., Starostenko A.A., Tolochko B.P. Possibility of application of hafnium and tantalum carbides as materials for additive manufacturing. // The International Seminar on Interdisciplinary Problems in Additive Technologies “Problems of materials science in additive technologies”, December 6- 9, 2016, Tomsk, Russia: Abstracts, p.2.
6. Анчаров А.И., Восмериков С. В., Григорьева Т.Ф., Косачев М. Ю., Семенов Ю. И. Исследование возможности получения высокотемпературных композиционных материалов методами механохимической и электронно-лучевой обработки // 20-й Юбилейный Международный междисциплинарный симпозиум «Порядок, беспорядок и свойства оксидов» ОДРО-20, Ростов-на-Дону – Москва – пос. Южный, 5-10 сентября 2017: труды симпозиума. – Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования, 2017. – Выпуск 20. Т. 1. С. 12-14.
7. Анчаров А.И., Григорьева Т.Ф., Косачев М. Ю., Семенов Ю. И., Старостенко А.А., Толочко Б.П. О возможности получения изделий из расплавленных тугоплавких карбидов гафния и тантала методом электронно-лучевой обработки // 20-й Международный симпозиум «Упорядочение в минералах и сплавах» ОМА-20, Ростов-на-Дону – пос. Южный, 10-15 сентября 2017: труды симпозиума. – Ростов-на-Дону, Фонд науки и образования, 2017. – Выпуск 20. Т. 1. С. 27-30.

ПРОТОТИП ИСТОЧНИКА ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ С ЛАЗЕРНЫМ ПОДОГРЕВОМ КАТОДА

Алякринский О.Н. 1, научный сотрудник, *Губин К.В.* 3, канд. тех. наук, научный сотрудник
Косачев М.Ю. 1, инженер, *Купер Э.А.* 1, д-р. тех. наук, старший научный сотрудник
Логачев П.В. 1, д-р физ.-мат. наук, директор ИЯФ СО РАН, *Медведев А.М.* 1, старший лаборант
Овчар В.К. 1, научный сотрудник, *Репков В.В.*, старший научный сотрудник
Семенов Ю.И. 1, научный сотрудник, *Сизов М.М.* 1, младший научный сотрудник
Старостенко А.А. 1,2, канд. физ.-мат. наук, заведующий сектором, старший преподаватель
Цыганов А.С. 1, научный сотрудник, *Федотов М.Г.* 1,2, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, доцент
1 – ФГБУН ИЯФ СО РАН, <http://www.inp.nsk.ru/>, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика
Лаверентьева, 11, тел. (383) 329-44-40, e-mail: Yu.I.Semenov@inp.nsk.su
2 – ФГАОУВО НГУ, <https://www.nsu.ru>, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2
3 – ФГБУН ИЛФ СО РАН, <http://www.laser.nsc.ru/>
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. акад. Лаверентьева, 13/3

PROTOTYPE OF SOURCE OF ELECTRON BEAM WITH LASER CATHOD HEATING

*Alyackrinskiy O.N.*¹, *Gubin K.V.*³, *Kosachev M.Yu.*¹, *Kuper E.A.*¹, *Logatchov P.V.*¹, *Medvedev A.M.*¹, *Ovchar V.K.*¹,
*Semenov Yu.I.*¹, *Sizov M.M.*¹, *Starostenko A.A.*^{1,2}, *Tsygunov A.S.*¹, *Fedotov M.G.*^{1,2}

Annotation

A prototype of the electron beam source with laser cathode heating is presented. Application of the principle of its operation allows to control the current of the source electrons by modulating the power of the cathode heating laser. The power of the laser radiation is transmitted through a vacuum, which facilitates the electrical isolation of the laser from the cathode, which is under high voltage.

Keywords

Laser heating of the cathode, the size of the place of emission of electrons from the cathode, deionized water, cooling of cathode units, electrical insulation, cathode heating time.

Аннотация

Представлен прототип источника пучка электронов с лазерным подогревом катода. Применение принципа его работы позволяет управлять током электронов источника модуляцией мощности лазера подогрева катода. Мощность излучения лазера передаётся через вакуум, что облегчает электрическую изоляцию лазера от катода, находящегося под высоким ускоряющим напряжением пушки.

Ключевые слова

лазерный подогрев катода, размер места эмиссии электронов с катода, деионизованная вода, охлаждение прикатодных узлов, электрическая изоляция, время разогрева катода, электронное изображение

Введение

Источники электронного пучка широко применяются в процессах термической обработки материалов для синтеза тугоплавких композитов и соединений, получения нано порошков, реактивного нанесения защитных покрытий, электронно-лучевой сварки и в аддитивных технологиях. Поэтому актуален вопрос совершенствования источников электронного пучка.

Цель доклада – представить техническую реализацию идеи подогрева катодов электронных пушек лазером [1]. Использование принципа его работы может позволить управлять током электронного пучка источника модуляцией мощности лазера подогрева катода. В этом случае нет электроники питания накала катода и управления током пучка, как часто бывает, находящейся под полным высоким напряжением пушки. Мощность излучения лазера передаётся через вакуум, что облегчает электрическую изоляцию лазера от катода, находящегося под высоким ускоряющим напряжением пушки.

Описание прототипа

Прототип построен на основе ранее изготовленного энергоблока для установок электронно-лучевой сварки [2]. Электронная пушка работает по диодной схеме.

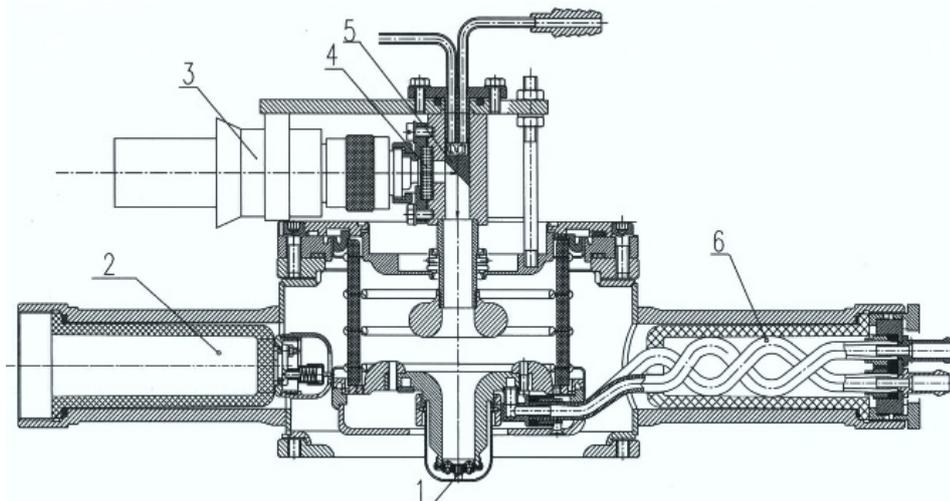


Рисунок 1 – Схема лазерного подогрева катода.

1 – катод, 2 – ввод высокого напряжения, 3 – коллиматор, 4 – окно ввода лазерного излучения, 5 – медное зеркало с охлаждением, 6 – ввод деионизированной воды охлаждения.

Как показано на рисунке 1 мощность излучения лазера по оптоволокну подводится к коллиматору 3 и через кварцевое окно 4 и медное охлаждаемое поворотное зеркало 5 фокусируется на катод 1. Катод диаметром 4 мм имеет вогнутую сферическую форму и выполнена из танталовой фольги толщиной 0.2 мм. Катод подогревается лазерным лучом до температуры выше 2000°С. Управление величиной тока эмиссии осуществляется мощностью подводимого лазерного излучения. Форма и взаимное расположение всех электродов, включая катод и анод, определяют электронную оптику системы. Катодный узел установлен на секционированном высоковольтном изоляторе. Катодный узел охлаждается деионизированной водой. В этом случае размер области эмиссии электронов с катода близок к размеру пятна луча лазера на катоде (Рис.3). Прототип имеет устройство индикации формы импульса мощности лазерного излучения. Рабочий вакуум – 10^{-4} мбар.

Полученные параметры прототипа

Основные полученные параметры прототипа представлены в Таблице 1.

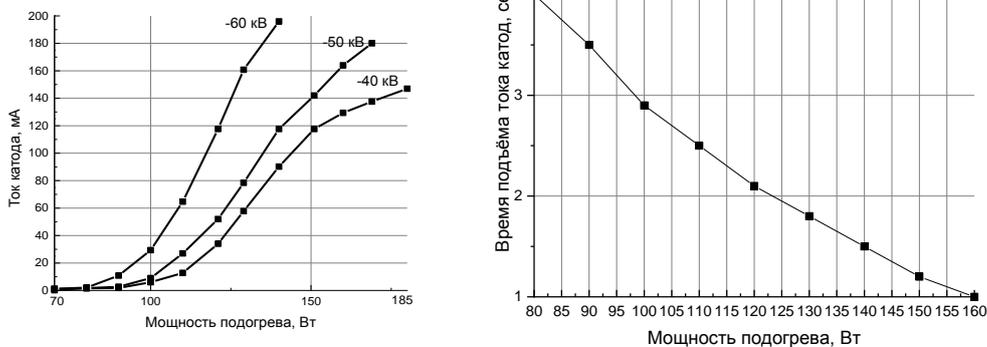


Рисунок 2 – Графики тока катода (слева) и времени подъёма тока катода с уровня 0.1 до уровня 0.9 (справа) в зависимости от мощности подогрева катода.

Таблица 1 – основные параметры прототипа источника электронного пучка

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Тип лазера, длина волны излучения, мощность	Иттербиевый волоконный, непрерывный с внешней модуляцией мощности, 1070 нм, до 500 Вт, $M^2=1.08$
2.	Энергия пучка электронов	до 60 кэВ
3.	Ток пучка электронов	До 170 мА
5.	Катодный узел	Охлаждается деионизированной водой
6.	Диаметр эмиттирующей поверхности катода	От 1.8 мм до 4 мм

При охлаждении деионизованной водой прикатодного электрода и деталей катодного узла размер области эмиссии электронов с катода близка к размеру пятна луча лазера на катоде (Рисунок 3). Увеличение диаметра области эмиссии с 2 мм до 4 мм увеличивает площадь поперечного сечения пучка в кроссовере на 25%.

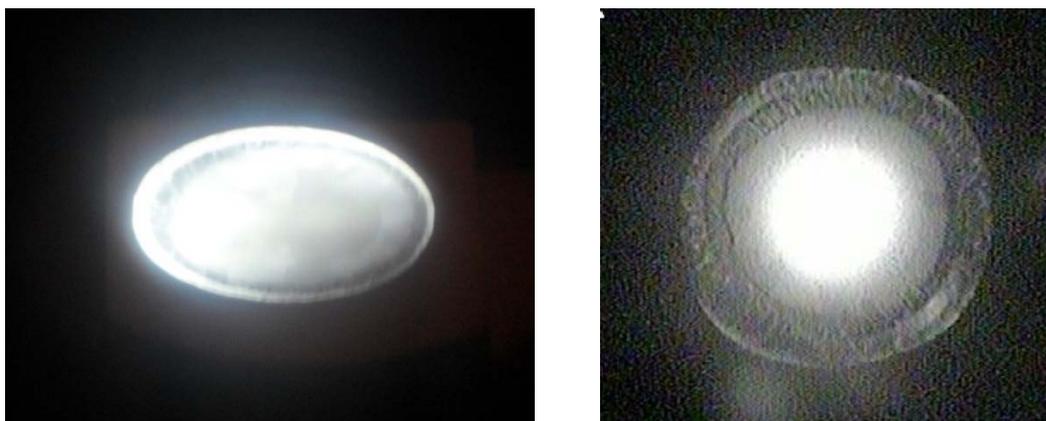


Рисунок 3 – Электронное изображение на люминофоре области эмиссии с катода. Слева – прямонакальный катод без водяного охлаждения, справа – катод с лазерным подогревом и с водяным охлаждением катодного узла.

Заключение

В представленной работе измерены основные параметры прототипа источника пучка электронов с лазерным подогревом катода электронной пушки:

- зависимости тока катода и времени подъёма тока катода с уровня 0.1 до уровня 0.9 (справа) от мощности подогрева катода;
- зависимость поперечного сечения электронного пучка от размера области эмиссии электронов с катода.

Выводы

Прототип источника пучка электронов с лазерным подогревом катода электронной пушки обеспечивает ток до 200 мА.

1. Возможно управление током источника модуляцией мощности лазера подогрева, что существенно упрощает высоковольтную изоляцию, т.к. в конструкции электронной пушки нет электроники питания накала катода и управления током пучка, находящейся под полным ускоряющим напряжением пушки.
2. Возможно применение охлаждения катодного узла деионизованной водой, что позволяет менять поперечное сечение пучка в кроссовере.

Основные недостатки:

- долгое время подъёма тока катода с уровня 0.1 до уровня 0.9, которое можно укоротить повышением мощности лазера в начале процесса подогрева катода и предварительным подогревом катода;
- возможно пониженный ресурс катода из-за повторяющегося нагрева катода до высоких температур.

Список литературы

1. Патент на изобретение № US 6,781,300 B1. Laser based electron beam gun / Ralf Klaus Edinger. Опубликовано 24.08.2004.
2. Semenov Yu.I., Logatchev P.V. et al. 60 keV 30 kW electron beam facility for electron beam technology // Proceedings of EPAC08, Genoa, Italy, TUPP161.

СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ НА ЛИНЕЙНЫХ ПЗС И СПЕКТРОМЕТРЫ С ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

Силькис Э.Г.¹, зав. сектором, к.тех.н., тел: +7(495)851-08-71; E-mail: esilkis@isan.troitsk.ru, Станкевич А.С.¹ зл. инж. ИСАН, тел: +7(495)851-01-08; E-mail: stan@isan.troitsk.ru, Крашенинников В.Н.¹, ст. научн. сотр. тел: +7(495)851-02-36; E-mail: krash@isan.troitsk.ru, Александров Д.А.¹, ст. электроник, тел: +7(495)851-08-71 E-mail: rv3dsf@newmail.ru, Журавлева В.П.², вед. оптик, E-mail: Zhuravleva V.P. optics1@yandex.ru
1 – Институт спектроскопии РАН (ИСАН), <http://www.isan.troitsk.ru>, 108840, Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5
2 – ООО «МОРС», <http://www.ooo-mors.ru/108840>, Москва, Троицк, ул. Физическая 25, пом. 2, комн. 12

REGISTRATION SYSTEMS ON LINEAR CCD and SPECTROMETERS WITH THEIR USING

Silkis E.G.¹, Stankevich A.S.¹, Krashenninikov V.N.¹, Aleksandrov D.A.¹, Guravleva V.P.²

Annotation

Developments of several optical recording systems on the base of linear CCD and the spectrometers using such the systems are described.

Keywords

Charge couple devices (CCD), spectrograph, spectrometer, spectral analysis.

Аннотация

Представлены ряд разработок оптических систем регистрации на линейных ПЗС и использующие эти системы спектрометры.

Ключевые слова

Приборы с зарядовой связью (ПЗС), спектрограф, спектрометр, спектральный анализ.

*** Широкодиапазонный спектрометр с системой регистрации на 24-линейных ПЗС.**

В 2016-2017 были разработаны широкодиапазонный спектрограф в области 190-960 нм и система на 24 линейных ПЗС для одновременной регистрации указанного диапазон длин волн. Спектрограф построен по оригинальной оптической схеме, в которой используются две различных вогнутых дифракционных решетки. Первая дифракционная решетка (радиус кривизны 750 мм, 2400 штр/мм) обеспечивает получение спектров в области 190-410 нм, а вторая (радиус кривизны 500 мм, 900 штр/мм), освещаемая спектром нулевого порядка первой решетки, позволяет получать спектры в области 408-960 нм. Для освещения стандартной щели при работе с различными источниками возбуждения плазмы в спектрографе предусмотрен перестраиваемый оптико-механический узел. Полный раскрыв щели (1 мм) позволяет оптимально осветить «первую» решетку. В диапазоне 190-410 нм среднее значение обратной линейной дисперсии составляет 0,54 нм/мм, а в области длин волн 408-960 нм - 2.2 нм/мм. Относительное отверстие спектрографа составляет 1:25. Верхняя граница спектра связана с возможностью регистрации эмиссионных линий серы в области 921 нм. Спектр в диапазоне 190-410 нм регистрируется на 15 линейных ПЗС (типа TCD1304DG), в диапазоне 408-960 нм – на 9 линейных ПЗС. Линейный размер одной ПЗС – 29,2 см, при использовании узлов с зеркалами – 28 мм. Узлы с зеркалами позволяют реализовать регистрацию «без мертвых зон», реальный размер мертвых зон – 20-30 мкм. Каждый узел ПЗС имеет возможность юстировки чувствительной зоны ПЗС на фокальную плоскость. Широкодиапазонный спектрометр был использован в составе лазерно-искрового спектрометра типа ЛИЭС[1], а также с искровым генератором из состава прибора «Аргон5»[2]

Электроника управления ПЗС разработки 2008 года позволяла реализовать минимальную экспозицию в 1 сек при работе всех 24 ПЗС, (35 мс при использовании 1-ой ПЗС). Для ряда задач эмиссионной спектроскопии такая экспозиция ведет к «перегрузке» линий основы исследуемых сплавов и геологических объектов. В 2017 году была разработана система регистрации на современных компонентах, позволяющая снизить время экспозиции до 8 мс на один кадр при работе с ПЗС на 3648 пикселей, время экспозиции не зависит от числа ПЗС. Использование микроконтроллера ARM9 обеспечивает одновременную работу 12 ПЗС, есть возможность программного соединения двух плат (каждая на 12 ПЗС) для регистрации спектрального диапазона 190-960 нм.

*** Система регистрации МОРС-1(МОРС-4) с микрокомпьютером Raspberry Pi3ModelB**

В 2017г. модифицированная электроника систем регистрации МОРС-1 и МОРС-4 [3] была дополнена микрокомпьютером (МК) Raspberry Pi 3 Model B. Помимо стандартных компьютерных интерфейсов данный микрокомпьютер имеет 28 выводов общего назначения, которые можно конфигурировать для получения или отправки сигналов. Разработка была сделана с двумя целями: а) дистанционное использование системы регистрации излучений, связанных со спецификой тех или иных измерений, например, измерение поверхностных механических напряжений компонентов авиационных устройств в полевых условиях [4]; б) создание скоростной системы регистрации (время кадра 2-4 мс) с возможностью записи нескольких десятков тысяч кадров в Серии. Скоростные системы могут быть использованы для сцинтилляционной спектроскопии в эмиссионном анализе или для выделения спектра одиночного оптического импульса, когда время его появления имеет джиттер в несколько сотен мс[5]. В МК установлен 4-х ядерный процессор ARMv8, работающий на частоте 1,2 ГГц, что обеспечивает высокую производительность получения данных. Микрокомпьютер имеет 1 Гб оперативной памяти, в качестве жёсткого диска используется microSD-карта памяти. При использовании операционной системы Ubuntu Mate для программ пользователя доступно около 700 Мб оперативной

памяти, что позволяет хранить в памяти не менее 35000 кадров со спектрами с одного линейного ПЗС (в данном случае кадр с одного ПЗС представлен 3694-мя 16-ти битными значениями). Дистрибутив Ubuntu Mate был выбран как один из самых распространённых дистрибутивов системы Linux из предлагаемых производителем МК Raspberry, готовых к установке на данный МК. Наличие USB-входов, сетевых интерфейсов и HDMI-выхода на стандартный монитор, позволяет использовать МК как обычный компьютер, в то же время использование мыши, клавиатуры и монитора для конкретной модификации МК-МОРС-1 не обязательно. В автономном приборе МОРС-4+МК (допускает работу с 4-мя регистраторами излучения) связь МК и электроники управления ПЗС осуществляется через контроллер Cypress CY7C68013A. Прибор МК-МОРС-4 разрабатывался по специальному техническому заданию:

работа с ПЗС без стекла (рентгеновский диапазон излучения), работа с аккумулятором (без подключения к сети), перенос информации в базовый компьютер с помощью типового флеш-накопителя. Прибор использовался для неразрушающего экспресс-анализа остаточных и рабочих поверхностных напряжений в авиационных деталях. В качестве излучающего элемента использован радионуклид Fe-55, с энергией рентгеновских квантов 5.89 и 6.45 кэВ. Типовой сигнал при измерении механических напряжений по отраженному рентгеновскому излучению приведен на (рис.1).

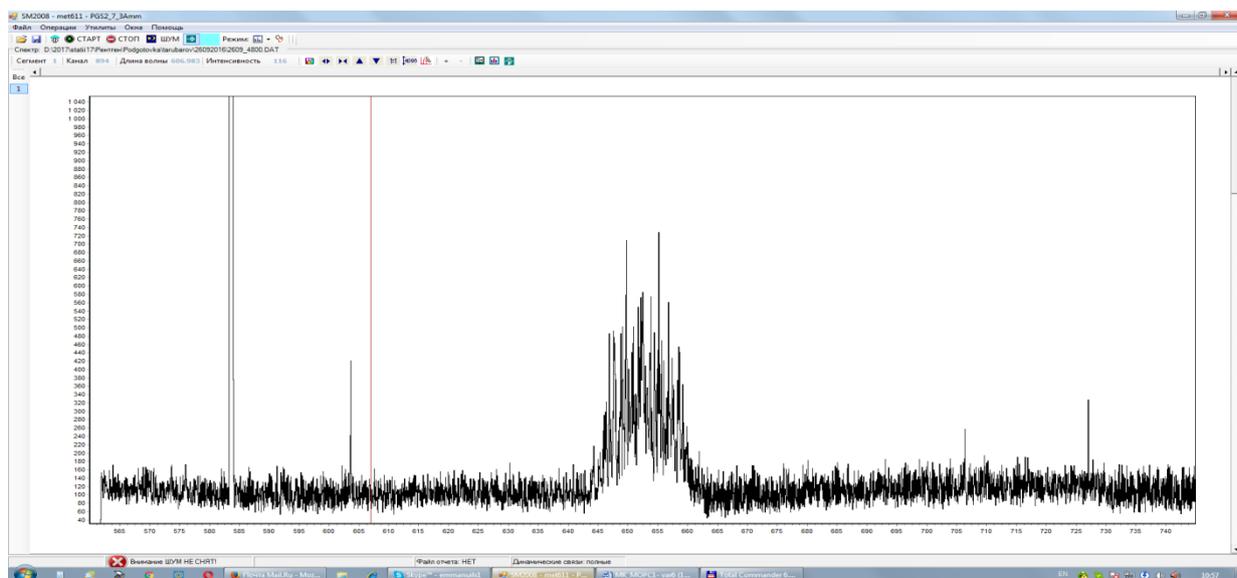


Рисунок 1 – Вид сигнала в спектральном окне программного обеспечения регистратора МОРС-4 при измерении механических напряжений (спектр по одному датчику). Сигнал регистрируется в каналах 645-665.

Работа автономного прибора происходит по следующему циклу: после установки в разъем флеш-накопителя, на котором записано задание на единичную экспозицию (длительность накопления и считывания цикла работы ПЗС, количество циклов ПЗС), происходит считывание этой информации МК, далее МК начинает управлять работой ПЗС в соответствии с заданием, после завершения экспозиции информация в определенном формате записывается на флеш-накопитель. Далее флеш-накопитель переносится в типовой компьютер, где происходит обработка полученных данных. В данной конкретной модификации МК-МОРС-4 спектр записывался в режиме «Серия», т.е. без суммирования циклов накопления. Специальная программа обработки «Серии» выделяет нужную группу кадров. В перспективе возможна работа автономного прибора с типовым компьютером по Wi-Fi, это заложено в возможности использованного МК. Типовые спектры от детали с нормальным остаточным напряжением (MO_0) и с напряжёнными состояниями MO^+ (сжатие) и MO^- (растяжение) представлены на рис. 2.

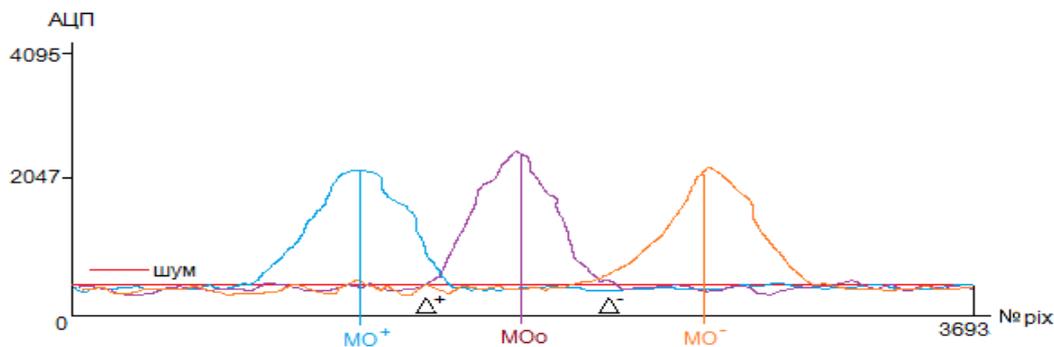


Рисунок 2 – Амплитудные распределения от деталей с нормальным остаточным напряжением (MO_0) и с напряжёнными состояниями: MO^+ (сжатие) и MO^- (растяжение)

* Серия малогабаритных спектрометров (МС) диапазона 200-1000 нм.

Серия малогабаритных спектрометров ориентирована на широкий круг спектроскопических задач. В состав серии входят приборы с фокусным расстоянием 75, 100, 120, 150, 200 и 300 мм. Большой диапазон возможных фокусных расстояний в

сочетании с набором дифракционных решеток (300, 600, 1200, 1800, 2400, 3600 штр./мм) делает доступным широкий набор значений обратной линейной дисперсии $d\lambda/dl$, от 22 до 0,75 нм/мм. При этом

спектральное разрешение может варьироваться от 1,0 до 0,03 нм. Все спектрометры собраны по вертикальной симметричной схеме Эберта. В спектрометрах возможны два варианта установки дифракционных решеток: а) фиксированная установка, обеспечивающая регистрацию спектров в заранее выбранном спектральном интервале; б) установка решетки в поворотном узле, позволяющем осуществлять ручную перестройку (посредством микровинта) спектрометра во всем рабочем диапазоне длин волн. Входные щели приборов имеют фиксированную ширину (от 10 и более мкм) и монтируются, как правило, на ответной части стандартного оптоволоконного разъема SMA-905. В спектрометрах используются системы регистрации МОРС-1 (с ПЗС TCD1304DG или LX556). Спектрометры имеют самое разнообразное применение. Например, для измерений длин волн лазерных источников света в программное обеспечение введены функции определения центра тяжести измеряемых линий и калибровка шкалы длин волн по центрам тяжести реперных линий ламп с полым катодом с элементами Fe-Ne и Cu-Ne. При дисперсии 0.75 нм /мм и наличии 4-5 реперных линий в окрестности определяемой линии, точность измерения длины волны может достигать величины 0.001 нм[6].

***Специализированный волномер.**

В состав волномера входят: панорамный спектрограф в диапазоне 200-1100 нм, эшелле-спектрограф, работающий в высоких дифракционных порядках, система регистрации МОРС-2 (на двух линейных ПЗС) и специализированное программное обеспечение. Разрешающая способность прибора $\lambda/\Delta\lambda \geq 30000$, точность определения длины волны не хуже $\pm 5 \cdot 10^{-6} \lambda$.

***Спектрометры ближнего ИК диапазона.**

Для ряда важных исследований нужны спектрометры, предназначенные для регистрации спектров в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн 900-1700 нм. Многоканальный фотоприемник на эту спектральную область построен на базе линейки InGaAs фотодетекторов типа G9204-512D производства фирмы "Hamamatsu" (Япония). К настоящему времени разработаны две модификации спектрометров – МС-75NIR и МС-120NIR с фокусными расстояниями 75 и 120 мм соответственно. Прибор МС-75NIR оснащается дифракционной решеткой 200 штр./мм и предназначен для одновременной регистрации спектров во всем диапазоне чувствительности фотоприемника (900-1700 нм). Его основные рабочие параметры: обратная линейная дисперсия 66.2 нм/мм, спектральное разрешение-5 нм, одновременно регистрируемый спектральный диапазон- 846 нм. Спектрометр МС-120NIR оснащен механизмом ручной перестройки (посредством микровинта) рабочего спектрального диапазона. Одновременно регистрируемый участок спектра, обратная линейная дисперсия и спектральное разрешение будут зависеть от типа используемой дифракционной решетки. Основные параметры спектрометра МС-120NIR, оснащенного дифракционной решеткой 300 штр./мм: обратная линейная дисперсия - 27.2 нм/мм; спектральное разрешение - 2 нм; одновременно регистрируемый спектральный диапазон - 348 нм.

***Фотоэлектронные кассеты (ФЭК) для спектрографов**

Разработаны ФЭК для всех типов российских спектрографов - ИСП-22, ИСП-28, ИСП-30, ИСП-51, ДФС-8, ДФС-13, ДФС-452, ДФС-458, МФС-8 и для спектрографов западного производства- ПГС-2 и Плазмолаб. ФЭК оснащены ПЗС типа TCD1304DG, существуют версии ФЭК: МОРС-1, МОРС-4, МОРС-6, МОРС-9, МОРС-12 и МОРС-24 (по числу используемых ПЗС) [3]. К ФЭК разработана специализированная аналитическая программа, обеспечивающая все этапы эмиссионного анализа: калибровка спектральной шкалы; построение набора градуировочных кривых; проведение рабочих измерений; формирование отчета. Существует возможность качественного анализа неизвестного вещества. Программное обеспечение, выполненное под WIN10, WIN 7 и WIN XP,- непрерывно совершенствуется.

***Анализатор водорода в титановых сплавах**

В состав спектрометра входит оригинальная разработка генератора конденсированной искры, мини-штатив сопряженный с оптикой переброса плазменного излучения на входной волоконно-оптический жгут мини-спектрометра с системой регистрации МОРС-1. Излучение регистрируется в диапазоне 530-730 нм. Прибор калибруется по комплекту эталонов ОСО-22 ФГУП ВИАМ и работает в диапазоне концентраций 0.002 -0.035 ppm. Используется типовое программное обеспечение для эмиссионного анализа, разработанное для ФЭК. Аналитическая программа составлена по одной диффузной линии водорода ($\lambda = 656$ нм).

Литература

1. Сайт ООО «МОРС» - www.ooo-mors.ru
2. ООО «Спектрософт», Эмиссионный спектрометр Аргон-5СФ для металлургии и машиностроения, Индустрия, 1 2018, 107, с. 23
3. Э.Г.Силькис, А.С.Станкевич, В.Н.Крашениников Вузовско-академический сборник научных трудов «Проблемы спектроскопии и спектрометрии». Екатеринбург, 2014, 43с
4. Г.А. Перепелкин, А. М. Торубаров и Б. Н. Чугаев «Интерфейс прибора для неразрушающего контроля остаточных поверхностных напряжений». Прикладная информатика, №1, 2016, с.70-73
5. Л.И.Уруцкоев, Д.В.Филиппов, А.О.Бирюков, Д.А.Войтенко, Г.И.Астапенко, К.А.Алабин, А.А.Марколия «Исследование возможности инициирования альфа-распада вольфрама с помощью электровзрыва», Прикладная физика и математика, №1, 2017, с 3-27
6. Э.Г.Силькис, А.С.Станкевич. Точность определения длины волны в спектрографах с помощью излучателя на лампе с полым катодом. 19-я научно-техническая конференция «Фотометрия и ее метрологическое обеспечение»: Тезисы докладов, 2013, с. 118-122.

МИКРОЧИПОВЫЙ СИНТЕЗАТОР ДНК*Синяков А.Н.¹, к.х.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории биомедицинской химии,**Бессмельцев В.П.², к.т.н., Начальник лаборатории № 07, Камаев Г.С.³, к.ф.-м.н.**старший научный сотрудник Лаборатории № 24**1 – Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН Адрес: 630090, г. Новосибирск пр. Ак. Лаврентьева, 8, Россия, тел. 8/383/36-35-173, e-mail: sinyakov@niboch.nsc.ru, http://www.niboch.nsc.ru**2 – Институт автоматики и электрометрии СО РАН Адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1, Россия, тел. 8/383/33-32-491, e-mail: bessmelt@iae.nsk.su, http://www.iae.nsk.su**3 – Институт физики полупроводников СО РАН Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 13, Россия тел. 8/383/33-05-257, e-mail: kamaev@isp.nsc.ru, http://www.isp.nsc.ru***MICROARRAY SYNTHESIZER DNA***Sinyakov A.N.¹, Bessmeltsev V.P.², Kamaev G.N.³***Annotation**

This report describes a development of new type multichannel synthesizer allowing simultaneously to carry out parallel synthesis of a oligonucleotides - a material for synthetic biology.

Keywords

DNA synthesis, microarray, diagnostics, synthetic biology.

Аннотация

Разработана и апробирована принципиальная схема многоканального синтезатора нового типа, позволяющего одновременно осуществлять параллельный синтез олигонуклеотидов, необходимого материала для нужд синтетической биологии.

Ключевые слова

Синтез ДНК, микрочип, диагностика, синтетическая биология.

Введение

Сейчас в биологических и медицинских исследованиях используются эффективные, но трудоемкие методы синтеза ДНК, развитые в 70-80 годах предыдущего столетия, так называемые технологии рекомбинантных ДНК. Альтернативным по отношению к технологии рекомбинантных ДНК при получении генетического материала *de novo* является химический синтез ДНК – технология, которая позволяет получать генетический материал из относительно простых и доступных реактивов. Разработка таких методов сделала реальным развитие новой науки - синтетической биологии, задачей которой является получение искусственных организмов.

Целью проекта являлась разработка многоканального синтезатора нового типа, позволяющего одновременно осуществлять параллельный синтез большого количества олигонуклеотидов – материала для генно-инженерного конструирования и диагностических целей.

Принцип работы микрочипового синтезатора

Традиционные ДНК-синтезаторы для получения олигонуклеотидов используют колонки или лунки планшета, содержащие модифицированную окись кремния. Каждая колонка или лунка планшета требует подвода выделенных коммуникаций для реагентов и растворителей, необходимых для проведения синтеза. С увеличением числа колонок и лунок конструкция синтезатора сильно усложняется. На практике традиционные синтезаторы не могут обеспечить одновременный синтез более 1500 олионуклеотидов, что очень мало для нужд синтетической биологии.

В разработанном микрочиповом синтезаторе олигонуклеотидный синтез проводится в реакторах в двух типов:

1. содержащих одну ячейку (для синтеза олигонуклеотидов с использованием фотолabileльных защитных групп [1]);
2. содержащих множество отдельных микроячеек (для синтеза олигонуклеотидов с использованием фотокислот [2]).

Ключевой стадией олигонуклеотидного синтеза является стадия деблокирования временной защитной группы растущей олигонуклеотидной цепи. Для этого в синтезаторе используется УФ-излучение с длиной волны (365-450 нм). Использование УФ-излучения для деблокирования позволяет значительно упростить систему коммуникаций синтезатора. В основу оптической схемы экспонирования подложки биочипа был взят патент [3].

При проектировании были выделены следующие основные компоненты системы:

1. источник квазиколлинеарного излучения требуемого спектрального диапазона;

2. проекционная система, состоящая из матрицы микрозеркал, формирующей набор фотолитографических масок и оптической схемы для переноса изображения маски на поверхность биочипа;
3. модуль точного позиционирования биочипа;
4. система обратной связи для настройки положения биочипа.

В работе [3] было показано, что для источников излучения в ультрафиолетовой области для проекции изображения на подложку может быть применена схема Оффнера (Offner_Relay) [4].

Проекционная схема действует по следующему принципу. Квазиколлинеарный пучок света от излучателя падает на цифровую матрицу микрозеркал (ЦММ), на которой формируется маска микрозеркал, перенаправляющая лучи в схему Оффнера. После прохождения схемы Оффнера в месте расположения биочипа формируется точное изображение маски микрозеркал. Таким образом, появляется возможность программным образом формировать быстро сменяемые пространственные образы экспонирования на площадке, равной размерам ЦММ, в плоскости которой находится биочип. Принципиальная схема синтезатора приведена на рис. 1.

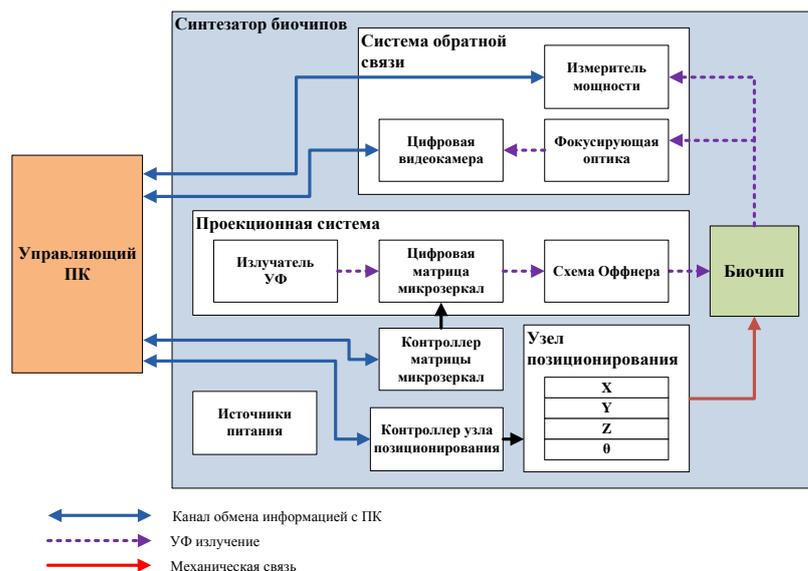


Рисунок 1 – Принципиальная схема микрочипового синтезатора ДНК.

Аппаратное обеспечение

Составляющими элементами микрочипового синтезатора являются:

1. проекционная система (источник излучения – ртутная лампа 1000 вт (Thermo Oriel 6293 1000W Hg-Xe), матрица микрозеркал XGA, 1024x768 (Texas Instruments), проекционная схема Оффнера (изготовлена в ИАиЭ СО РАН);
2. система обратной связи в состав которой входят измеритель мощности излучения и цифровая высокоразрешающая видеокамера с фокусирующей оптикой, содержащая КМОП сенсор (5 Mpix, 1/2") фирмы IDS с телецентрическим объективом 0.3x EO TML с глубиной резкости ± 5.7 мм, позволяющая наблюдать в реальном времени проецируемое изображение;
3. узел позиционирования, предназначенный для ориентации микрочипа в поле проекции матрицы микрозеркал (обеспечивается четырьмя подвижками с приводом от шагового двигателя (горизонтальная линейная подвижка (X, Y) с разрешением 0,625 мкм, круговая подвижка с разрешением 0,3 угловых минуты, вертикальная линейная подвижка (Z) с разрешением 0,042 мкм.);
4. система управления синтезатором, обеспечиваемая контроллером матрицы микрозеркал (плата контроллера микрозеркал содержит: два контроллера DAD2000, предназначенных для управления питанием и сбросом матрицы микрозеркал, контроллер DDC4000, обеспечивающий 32/64 разрядный LVDS интерфейс между DAD2000 и матрицей микрозеркал, микросхему программируемой логики Xilinx Virtex XC5VLX50 для разработки пользовательских приложений, разъем для присоединения стандартного модуля внешней памяти типа 64 bit DDR2 SODIMM, USB контроллер Supress 68013A) и контроллером узла позиционирования (интерфейс контроллера узла позиционирования реализован на микросхеме FT232BM, представляющей собой преобразователь интерфейса USB в виртуальный COM порт и позволяющей производить обмен данными со скоростью до 1.5 Мбит в секунду) Для подачи реагентов на микрочип нами был использован синтезатор ДНК/PHK ASM-800 ООО «БИОССЕТ».

Описание программных решений

Общее управление синтезатором, сбор данных с датчиков обратной связи и контроль основных рабочих параметров и осуществляются с помощью интегрированного программного обеспечения, установленного на ПК. Для автоматизации процесса синтеза с использованием разработанного многоканального фотолитографического модуля разработано специальное программное обеспечение «Biosynthesis». СПО позволяет управлять:

1. проекционным модулем вывода шаблонов освещения (структурным освещением),

2. генерацией последовательности шаблонов по структуре олигонуклеотидов и их выводом;
3. модулем юстировки положения образца;
4. видеокамерой.

Заключение

В ходе выполнения проекта создан макет микрочипового синтезатора (рис.2.) Анализ изображений, полученных в ходе тестирования оптической проекционной системы этого синтезатора показал, что предельное разрешение устройства составляет 30 мкм при контрасте $M=0.90$, а также отсутствие aberrации типа астигматизм. Показано, что проекционная система на текущий момент уверенно формирует изображение, с высоким контрастом предназначенное для синтеза олигонуклеотидов с общим количеством зондов более 21500 на площадке 10,5 x14 мм, что сравнимо с лучшими западными вариантами. Дополнительные работы по подбору отдельных элементов оптической схемы, а также совершенствование методики настройки проекционной системы позволят увеличить плотность синтеза до 200 000 олигонуклеотидов, что подтверждается численным моделированием оптической системы.

Разработан метод изготовления микрореакторов для проведения олигонуклеотидного синтеза с помощью микроэлектронной планарной технологии.

Проведена успешная апробация разработанного макета для олигонуклеотидного синтеза как с использованием фотокислот, так и с использованием фотолабильных защитных групп.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума СО РАН в рамках междисциплинарных интеграционных проектов фундаментальных исследований № 41 и 138.



Рисунок 2 – Микрочиповый синтезатор ДНК.

Список литературы

1. Kretschy N, Holik AK, Somoza V, Stengele KP, Somoza MM. Next-Generation o-Nitrobenzyl Photolabile Groups for Light-Directed Chemistry and Microarray Synthesis. *Angew Chem Int Ed.*, 2015; v.54, № 296 pp 8555-8559.
2. А.Н.Синяков, А.А.Рябинин, Г.А.Максакова, В.В.Шелковников, В.А.Лоскутов, Е.В. Васильев, Н.В. Шеклеина. Сульфониевые производных тиоксантена – новый класс соединений для фотодетритилирования в микрочиповом олигонуклеотидном синтезе. *Биоорган. Химия*. 2010. т. 36 №1, с. 139-141.
3. Patent U.S. № 7,081,954.
4. A. Offner, *Optical Engineering*, v.14 №2, 1975, pp 130-132.

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ «СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР БИОАКУСТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА» ДЛЯ ОЦЕНКИ АДАПТАбельНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Шабанов Г.А.¹, к.б.н., вед.н.с., Рыбченко А.А.¹, д.т.н., гл.н.с., Лебедев Ю.А.¹, вед.мат, Припатинская Е.А.¹ инж.иссл., Смоленский Е. В.¹, инж.иссл., Короченцев В.И.², д.ф.м.н., зав.каф, проф, Крыжановский С.П.³ д.м.н., гл.врач, Фейгин С.А.⁴, м.н.с., Мищенко В.В.⁴, к.м.н, зав.отд., Журавель Г.М.⁴, д.ф.м.н., зам.дир.

*1 – Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, E – mail: neurokib@mail.ru
690022, Владивосток, Кирова,95*

2 – Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, E – mail: ga_i_uzt@mail.ru

3 – Медицинское объединение ДВО РАН. 690022, Владивосток, Кирова, 95, E – mail: neurokib@mail.ru

4 – Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И.Кулакова, Москва

THE PROTOTYPE "SPECTRAL ANALYSIS OF VIBROACOUSTIC ACTIVITY OF THE HUMAN HEAD" FOR THE ASSESSMENT'S ADAPTABILITY AND DIAGNOSIS OF PATHOLOGICAL CONDITIONS IN THE ARCTIC

Shabanov G.A.¹, Rybchenko A.A.¹, Lebedev Y.A.¹, Pripatinskkaia E.A.¹, Smolenskii E.V.¹, Korochentsev V.I.², Kryzhanovskii S.P.³, Feigin S.A.⁴, Mishchenko V.V.⁴, Zhuravel G.M.⁴

Annotation

To study the spectrum of global bioelectric activity of the brain non-specific system, a medical device called "Spectral analyzer of bioacoustic activity of the human head" was developed. Made a prototype. A method for recording the total acoustic field of the human brain using an induction sensor was proposed. The device of induction sensors, features of narrow - band spectral analysis and a new system of frequency coordinates matrix of "set of functional states". The device can be used to assess the adaptive capabilities of the body when interacting with aggressive influence factors, functional and topical diagnosis of internal organs.

Keywords

Induction vibration sensor, acoustic encephalogram, acoustic field of the head, electroencephalogram.

Аннотация

Для изучения спектра глобальной биоэлектрической активности неспецифической системы мозга разработан медицинский прибор под названием «Спектральный анализатор биоакустической активности головы человека». Изготовлен опытный образец. Был предложен способ регистрации суммарного акустического поля головного мозга человека с помощью индукционного датчика. Рассмотрено устройство индукционных датчиков, особенности узкополосного спектрального анализа и новая система частотных координат - матрица «множества функциональных состояний» или «висцером». Прибор может быть использован для оценки адаптационных возможностей организма при взаимодействии с агрессивными факторами внешней среды, функционально-топической диагностики внутренних органов.

Ключевые слова

Индукционный вибродатчик, акустоэнцефалограмма, акустическое поле головы, электроэнцефалограмма.

В последние годы получили развитие методы, основанные на применении акустических сигналов, получаемых от головы испытуемых и воздействии таких сигналов на различные структуры головного мозга. В калифорнийском университете в Сан-Диего был создан наноразмерный оптоэлектронный датчик расположенный на конце оптоволокна для измерения механического давления и акустических волн. Он способен регистрировать биологические силы с уровнем воздействия менее 160 фемтоньютон и давления звуковых волн менее 30 дБ, что в 1000 раз чувствительнее порога человеческого уха. На этой основе в Мюнхенском центре Гельмгольца разрабатываются миниатюрные оптоакустические приемники из множества оптоволокон, способные регистрировать сверхслабые акустические сигналы с поверхности нервных клеток при их активации. Отрабатываются принципы функциональной оптоакустической томографии для регистрации работы нервных сетей головного мозга в режиме on-line. Было убедительно показано, что нервная клетка и нервные сети являются источниками акустического сигнала [1]. Во Фрязинском филиале Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН с помощью пьезопреобразователей продольных акустических колебаний были обнаружены новые акустические сигналы, генерируемые головой человека и предложен метод акустоэнцефалографии [2].

Изучение особенностей спектральной структуры акустического поля головного мозга, генеза и механизма его формирования в сопоставлении с классической ЭЭГ, является актуальной как фундаментальной, так и прикладной проблемой, направленной на понимание всей совокупности нейрофизиологических процессов, происходящих в головном мозге при различных состояниях организма.

Для исследования спектра акустических сигналов головы нами разработан медицинский прибор под названием «Спектральный анализатор биоакустической активности головы человека». Изготовлен опытный образец. Общий вид прибора приведен на рисунке 1.

Указанный медицинский прибор посредством датчиков вибраций, которые распространяются от нейронных сетей, сосудов, мышечной системы головы и тела человека регистрирует суммарную ритмическую активность головы человека отдельно для правого и левого полушария и производит её тонкий спектральный анализ.

В качестве вибродатчиков использовались две дифференциальные пары катушек которые находились в постоянном магнитном поле земли. Активные катушки (правая и левая) располагались в височно-теменных областях левого и правого полушария. Дифференциальные пассивные катушки вынесены за пределы головы на расстояние не менее 1м и располагались строго в плоскостях активных катушек. Такая схема расположения индукционных датчиков позволяла надежно снимать суммарную глобальную вибрационную активность левого и правого полушария головы в диапазоне частот от 27 до 0,13 Гц. Расположение датчиков на голове человека в височно-теменных областях левого и правого полушария показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Расположение индукционных вибродатчиков на голове человека

С акустических датчиков сигнал о скорости вибраций поступал на входы двухканального усилителя. Вид акустического сигнала, приведен на рисунке 2. Цифровая фильтрация и спектральный анализ при быстром Фурье преобразовании имели свои особенности. Весь диапазон изучаемого сигнала от 0,1 до 27 Гц был разбит на 4200 полос, центральные частоты которых образуют геометрическую прогрессию с $q=2^{1/24}$ с опорной частотой 27,005 Гц, при этом спектральные гармоники, попавшие в одну из 4200 полос, интегрировались по амплитуде. Получившиеся с левого и правого полушария 8400 центральных частот с амплитудами спектральной оценки сворачивались в две спектральные матрицы размером 24 x175 частотных ячеек. Время суммации сигнала по каждой спектральной ячейке выбрано 160 сек, исходя из характеристик исследуемой пластичности активирующей системы мозга, как среднее время смены функциональных состояний при мозговой деятельности. Частота квантования сигнала 256 Гц [3]. Подобный подход к спектральному анализу был осуществлен при изучении функциональной активности гиппокампа в работе [4] и модернизирован нами для частотного анализа ретикулярных структур мозга и получения спектральной матрицы «множества функциональных состояний» контролирующей висцеральный анализатор. Выбор длительности записи информационного кадра 160 сек. позволил получить надежную и повторяемую информацию о спектре длительно текущих процессов головного мозга, таких как реакции висцерального анализатора при различных функциональных пробах, эмоциональные реакции, реакции вкусового и обонятельного анализаторов и т.п. Спектральная матрица «множества функциональных состояний» частотно селективна к периферическим эффекторам, группам периферических рецепторов и получила название «висцером».



Рисунок 2 – Вид акустического сигнала, снимаемого с головы человека с помощью индукционных вибродатчиков: верхний график – правое полушарие, нижний график – левое полушарие; между вертикальными линиями расстояние по времени 1 сек, по оси ординат – напряжение на выходе датчиков в мкВ

Таким образом, установлено, что с поверхности головы с помощью индукционных приемников скорости вибраций возможна регистрация биоакустических сигналов. По своей форме и частотным характеристикам сигналы напоминают стандартную запись электроэнцефалограммы. По всей видимости, источником таких сигналов могли быть вибрации внутримозговых сосудов, обеспечивающие метаболизм нейронов, сами нервные сети, магистральные артерии и вены головы, тремор скелетной мускулатуры головы и тела при осуществлении вестибулярного рефлекса [5,6]. Функциональные пробы с открытыми и закрытыми глазами, навязывание вызванных осцилляций с помощью фотостимуляции, раздражения участков кожи показывают, что АЭГ, как и ЭЭГ несет в себе информацию о нейрорефлекторной деятельности центральной и вегетативной нервной системы.

Подчеркнем, что если ЭЭГ формируется как суммарное электрическое поле радиально ориентированных корковых элементов (нейронов и глиальных клеток), то АЭГ более интегрально охватывает деятельность как радиально, так и тангенциально ориентированных структур головного мозга, включая нейронные сети и ритмическую активность внутримозговых сосудов. Получаемая при синхронных записях ЭЭГ и АЭГ информация о деятельности головного мозга взаимно дополняет друг друга, однако дифференциация спектрально-волновых акустических характеристик, образуемых различными морфофункциональными структурами головы, требует своего дальнейшего детального изучения.

Технология оказалась эффективной для оценки состояния и влияния внешних факторов на организм человека, изучения патогенеза и диагностики целого ряда патологических состояний. Аппарат проходит доклиническую апробацию для определения адаптабельности организма, профотбора спецконтингентов на холодоустойчивость, ранней диагностики заболеваний в гинекологии, офтальмологии, эндокринологии, гастроэнтерологии и кардиологии. В завершении находятся исследования по ранней диагностике и определению стадии развития онкологического заболевания, выявления места локализации опухоли и метастазов. Предлагаемый способ съема информации показал высокие эксплуатационные характеристики и помехозащищенность в сложных условиях эксплуатации.

Литература

1. Создана технология, позволяющая слушать бактерии и клетки. Ni-News.ru. Новости высоких технологий. 20.05.2017 – URL: <http://w.w.w.apnews.com/p/69/57900/>.
2. Миргородский В.И., Герасимов В.В., Пешин С.В. Обнаружение новых акустических сигналов // Акустический журнал. – 2014. – Т. 60, №4 – С. 437-442.
3. Шабанов Г.А., Максимов А.Л., Рыбченко А.А. Функционально-топическая диагностика организма человека на основе анализа ритмической активности головного мозга. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 206 с.
4. Подольский И.Я., Воробьев В.В., Белова Н.А. Длительные изменения спектров ЭЭГ гиппокампа и неокортекса при фармакологических воздействиях на холинергическую систему // Ж.В.Н.Д. – 2000. – Т.50, Вып. 6. – С. 982-990.
5. Минкин В.А. Виброизображение. СПб.: Реноме, 2007. - 108с.
6. Гукасов В.М., Шовкопляс Ю.А., Минкин В.А. Метод виброизображения – современная основа экологической безопасности// Медицина и высокие технологии. №2. 2012. – С.46-50.
7. Шабанов Г.А., Лебедев Ю.А., Рыбченко А.А., Максимов А.Л., Короченцев В.И. Исследование спектра акустического поля головного мозга человека // Вестник СВНЦ ДВО РАН. –2017. – № 3. – С. 115-122.

**МОБИЛЬНЫЙ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Сташков А.Н.¹, к.т.н., старший научный сотрудник, stashkov@imp.uran.ru тел. (343) 378-36-18

Ничипурук А.П.¹, д.т.н., главный научный сотрудник, nichip@imp.uran.ru, тел. (343) 374-44-90

Щапова Е.А.², студент, katuuhazhul@mail.ru, тел. 8(922)-107-76-89

*1 - Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, www.imp.uran.ru
620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18,*

*2 - Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, urfu.ru/ru,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19*

**MOBILE MAGNETOMETRIC MEASUREMENT SYSTEM FOR CONTROL OF RESIDUAL MECHANICAL
STRESSES IN STEEL STRUCTURES**

Stashkov A.N.¹, Nichipuruk A.P.¹, Schapova E.A.²

Annotation

A calibration-free mobile magnetometric measurement system was made to control a residual mechanical stresses in local areas of low-carbon steels. The key elements system are the primary converter and the algorithm for calculating the mechanical stresses by magnetic parameters. The working capacity of the system was tested on samples of steel St20 under the action of compressive loads in the elastic range.

Keywords

Residual stresses, low-carbon steel, mobile magnetometric measurement system, calibration-free.

Аннотация

Разработан мобильный магнитометрический комплекс, не требующий проведения калибровки, для контроля остаточных механических напряжений в локальных областях конструкций из низкоуглеродистых сталей. Ключевыми элементами комплекса являются оригинальный первичный преобразователь, а также алгоритм расчета механических напряжений по магнитным параметрам. Работоспособность комплекса проверялась на образцах из стали Ст20 при действии сжимающих нагрузок в упругой области деформаций.

Ключевые слова

Остаточные напряжения, низкоуглеродистая сталь, мобильный магнитометрический комплекс, безградуировочная схема измерения.

Задача разработки простых и надежных методов и средств контроля остаточных механических напряжений в стальных конструкциях неразрушающими методами является актуальной и решается многими коллективами в России и за рубежом. В настоящее время на рынок выпущено ряд приборов, основанных на измерении разных физических величин, анонсированных для контроля механических напряжений в локальных местах деталей и конструкций. Из портативных наиболее распространены акустические, магнитные, электромагнитные и рентгеновские средства контроля. Объединяет их одно – для успешного их применения на практике необходимо проводить предварительную калибровку в машине для механических испытаний на образцах из того материала, из которого изготовлен объект контроля, и находить корреляционные связи между измеряемым физическим параметром и величиной механических напряжений.

В Институте физики металлов имени М.Н. Михеева был разработан мобильный магнитометрический комплекс для контроля величины остаточных механических напряжений в низкоуглеродистых сталях. Внешний вид комплекса представлен на рис. 1.



Рисунок 1 – Внешний вид магнитометрического комплекса для контроля остаточных механических напряжений

Отличительной особенностью разработанного комплекса является безградуировочный принцип работы. Метод, заложенный в основу работы разработанного комплекса, базируется на двух ключевых моментах: 1- возникновении в детали под действием напряжений магнитной текстуры типа «легкая плоскость», перпендикулярной направлению перемагничивания, и кардинально влияющей на процессы перемагничивания в сталях; 2 - экспериментальном определении магнитных полей, в которых происходят резкие изменения обратимой намагниченности при необратимых смещениях 90-градусных доменных границ, наиболее чувствительных к механическим напряжениям. Величина механических напряжений σ_i определяется из условия равенства магнитоэластической и магнитоупругой энергий:

$$H_{\sigma} \cdot M_s = \frac{3}{2} \cdot \lambda_{100} \cdot \sigma_i \quad (1)$$

где H_{σ} – магнитоупругое поле, определяемое в процессе измерений, M_s – намагниченность насыщения контролируемой стали, λ_{100} — константа магнитострикции в кубическом кристалле в направлении (100); σ_i - средние механические напряжения.

Одним из основных элементов разработанного магнитометрического комплекса является первичный преобразователь оригинальной конструкции, состоящий из намагничивающей, подмагничивающей и измерительной систем [1]. Схематично его конструкция изображена на рис. 2. Намагничивающая система представляет собой П-образный электромагнит. Подмагничивающая и измерительная системы включают в себя накладной вихретоковый преобразователь (ВТП) с возбуждающей и измерительной обмотками, и датчик Холла для измерения внутреннего магнитного поля в объекте контроля. В процессе контроля первичный преобразователь плотно устанавливается на поверхность контролируемого объекта, после чего проводится перемагничивание локального участка объекта по предельной петле гистерезиса. С помощью возбуждающей обмотки ВТП создается переменное магнитное поле, ортогональное перемагничиваемому. Сигнал измерительной обмотки, пропорциональный обратимой проницаемости, детектируется на частоте, равной частоте переменного магнитного поля. С помощью разработанного в среде NI Labview 13.0 программного обеспечения в память комплекса записываются полевые зависимости сигнала измерительной обмотки. Если в объекте контроля присутствует наведенная механическими напряжениями магнитная анизотропия типа «легкая плоскость», то на измеренных кривых наблюдается 1 максимум в отрицательном поле и 2 перегиба, один из которых в положительном поле, второй – в отрицательном. В работе [2] нами было показано, что в лабораторных условиях удается получить 3 максимума, два крайних из которых соответствуют необратимому смещению 90-градусных доменных границ (ДГ), а средний – необратимому смещению 180-градусных ДГ. Чтобы добиться подобного результата, потребовалось разложить экспериментально полученную с помощью магнитометрического комплекса кривую на три с единственными максимумами, применив аппроксимацию с помощью функций псевдо-Фойгта [3]. Экспериментальная кривая и результат математической обработки представлен на рис. 3. Магнитные поля H_1 и H_2 , соответствующие двум крайним максимумам, представляют собой критические поля смещения 90-градусных ДГ, наиболее чувствительных к механическим напряжениям. Среднее арифметическое между H_1 и H_2 поле, деленное на коэффициент 0,82, и является магнитоупругим полем H_{σ} [4], зная которое по формуле (1) рассчитывается величина средних механических напряжений в локальной зоне контролируемого образца.

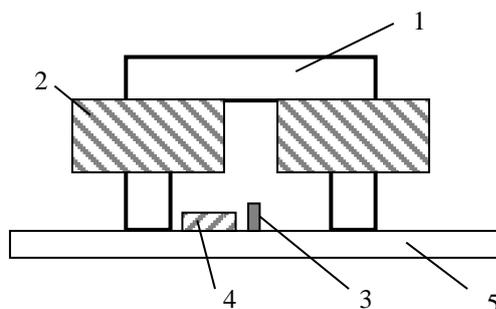


Рисунок 2 – Первичный преобразователь магнитометрического комплекса.
 1- магнитопровод, 2 – намагничивающие катушки, 3 – датчик Холла, 4 – накладной вихретоковый преобразователь, 5 – контролируемый образец.

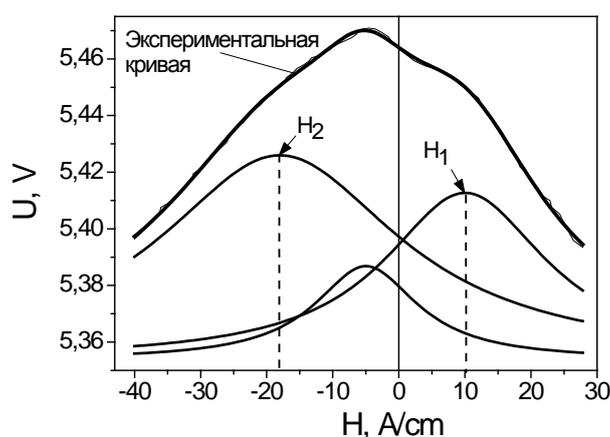


Рисунок 3 – Экспериментальная кривая и результат аппроксимации с помощью функций псевдо-Фойгта.

Работоспособность магнитометрического комплекса проверялась на образцах из стали Ст20 при действии сжимающих нагрузок в упругой области деформаций. Расхождения определенных экспериментально величин механических напряжений с действующими не превышали 7%.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Диагностика», № г.р. 01201463329).

Литература

1. Ничипурук А.П., Сташков А.Н., Кулеев В.Г., Шапова Е.А., Осипов А.А. Методика и устройство для безградуировочного определения величины остаточных сжимающих напряжений в деформированных растяжением низкоуглеродистых сталях. Дефектоскопия, 2017, №11, с. 21-26.
2. Ничипурук А.П., Розенфельд Е.В., Огнева М.С., Сташков А.Н., Королев А.В. Экспериментальный метод оценки критических полей смещающихся доменных границ в пластически деформированных растяжением проволоках из низкоуглеродистой стали. Дефектоскопия, 2014, № 10, с. 18-26.
3. Шаров М.К. Метод поиска оптимальных параметров функции псевдо-Фойгта для аппроксимации профилей рентгеновских рефлексов. Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика, 2014, №2, с. 54-58.

ПЛАНШЕТНЫЙ СКАНЕР МАГНИТНОГО ПОЛЯ С НЕПОДВИЖНЫМ СЕНСОРОМ

Темников А. Н., к.ф.-м.н., доцент

Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет

E-mail: antemnikov@yahoo.com

TABLET -TYPE MAGNETIC FIELD SCANNER WITH NON-MOVING SENSOR

Temnikov A. N.

Annotation

Design options for a tablet-type magnetic field scanner are described. Scanners differ in the number of sensors and the way data is recorded. All sensors are fixed and scanning is performed by moving the source of magnetic field. The transition from the moving sensor to the moving source allows circumventing the number of principal problems and creating an exceptionally simple, compact and reliable design.

Keywords

Magnetic field, scanning, sensor.

Аннотация

Описаны варианты конструкции сканера магнитного поля планшетного типа, отличающиеся количеством сенсоров и способом регистрации данных. Сенсоры закреплены неподвижно, а сканирование осуществляется перемещением источника магнитного поля. Переход от движущегося сенсора к движущемуся источнику позволяет обойти ряд принципиальных проблем и создать исключительно простую, компактную и надежную конструкцию.

Ключевые слова

Магнитное поле, сканирование, сенсор.

При конструировании магнитных систем на основе постоянных магнитов необходимо иметь информацию о пространственном распределении поля, создаваемого этими магнитами. Для получения такой информации обычно используют сканирующие магнитометры (сканеры), в которых сенсор магнитного поля может перемещаться вдоль выбранных направлений (см. например, [1 – 3]).

Для контролируемого перемещения сенсора в пространстве необходим прецизионный механический привод с системой управления, а также система передачи сигнала от движущегося сенсора к регистрирующему устройству, что приводит к существенному усложнению конструкции сканера. Этого можно избежать, если сенсор магнитного поля установить неподвижно, а сканирование производить, перемещая источник поля. Такой подход оправдан в тех случаях, когда необходимо исследовать распределение поля не очень больших по размеру постоянных магнитов. Ниже описаны два варианта конструкции сканера магнитного поля, разработанного на этом принципе. Сканеры различаются числом сенсоров (1 и 16), а также способом регистрации информации (ручная и полуавтоматическая).

Основой для каждого сканера служит пластина из твердого пластика (оргстекла). Верхняя поверхность пластины является рабочей, по ней перемещают исследуемый магнит, помещенный в специальный держатель. На нижней стороне пластины фрезой вырезают углубления, в которых размещают элементы электрической схемы сканера. Сенсор(ы) устанавливают вровень с рабочей поверхностью сканера. Это позволяет проводить сканирование поля в непосредственной близости от поверхности магнита

Первый сканер имеет единственный сенсор магнитного поля, который размещается в центре пластины, являющейся основой сканера (рис. 1). Размеры пластины выбираются в зависимости от размеров области сканирования, которая, в свою очередь, определяется размером магнитов, поля которых планируется исследовать.

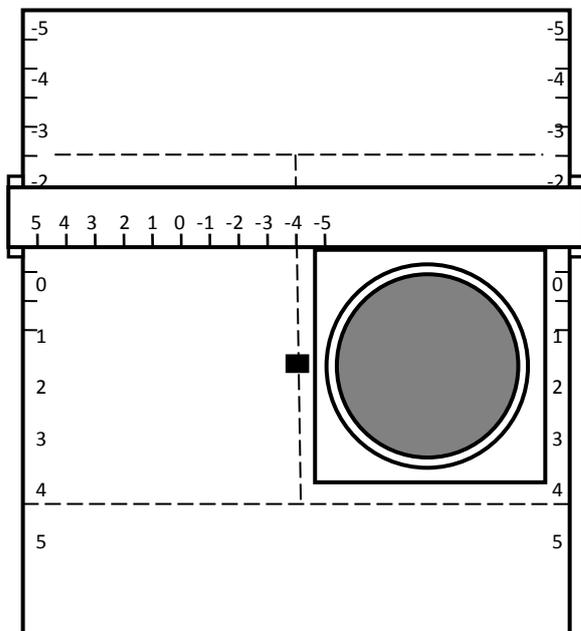


Рисунок 1 – Схематичное изображение сканера магнитного поля. Черный прямоугольник в центре — датчик Холла, справа — держатель с установленным в нем цилиндрическим магнитом. Для упрощения рисунка миллиметровые деления на шкалах не показаны. В представленном на рисунке положении магнита координаты датчика Холла относительно центра магнита: $X = -4,6$ мм; $Y = 0$ мм. Размер области сканирования поля при выбранных размерах сканера – 10×10 см². Вертикальная пунктирная линия показывает расположение массива из 16-ти датчиков Холла в сканере второго типа, горизонтальные пунктирные линии указывают вертикальный размер этого сканера.

Для позиционирования исследуемого магнита в плоскости XY используется система миллиметровых шкал. Две шкалы нанесены на рабочую поверхность сканера, симметрично слева и справа, они служат для определения координаты Y сенсора относительно центра магнита. Третьей шкалой, указывающей координату X сенсора, является шкала на пластиковой линейке, которая служит направляющей при перемещении магнита вдоль оси OX. Эта линейка может передвигаться вдоль оси OY. На концах линейки установлены фиксаторы, которые прижимаются к боковым сторонам сканера и фиксируют линейку в выбранном положении.

Исследуемый магнит устанавливают в держателе (рис. 2), состоящем из основания и обоймы, закрепленной вертикально в сквозном отверстии основания. Внутренние размеры обоймы должны соответствовать размерам магнита. Расстояние Z от поверхности магнита до рабочей поверхности сканера регулируется с помощью пластиковых вставок различной толщины, которые помещаются в обойму держателя и удерживают магнит на необходимой высоте над рабочей поверхностью сканера во время сканирования.

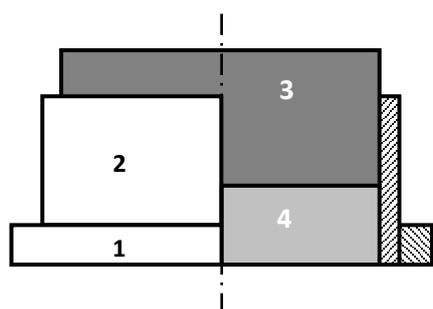


Рисунок 2 – Держатель магнита.

- 1 – основание,
- 2 – обойма,
- 3 – магнит,

Сканирование поля, как уже отмечалось, осуществляется перемещением источника поля — постоянного магнита. Перед началом сканирования к сканеру подключают источник питания и цифровой (как правило, интегрирующий) вольтметр. При измерениях подвижную линейку устанавливают в положение, соответствующее выбранной координате Y, и закрепляют в этом положении с помощью фиксаторов. Магнит вместе с дополнительной вставкой нужной высоты (определяющей значение координаты Z) помещают в держатель. Во время сканирования одну из боковых сторон основания держателя прижимают к линейке и держатель вместе с магнитом перемещают вдоль линейки, регистрируя показания вольтметра для выбранных координат X.

В качестве сенсора в сканере используется интегральная микросхема AD22151 (Analog Device), содержащая датчик Холла, операционный усилитель, блок компенсации сдвига нулевого уровня и блок температурной компенсации [4]. Толщина корпуса микросхемы равна 1,5 мм, поэтому минимальное расстояние от датчика Холла до рабочей поверхности сканера (или до поверхности магнита) ~ 0,75 мм. Нелинейность датчика в пределах измеряемого диапазона составляет 0,1%. Датчик является быстродействующим, его выходной сигнал

обновляется с частотой 50 кГц. Максимальный выходной сигнал AD22151 в биполярном режиме достигает 2.5 В, это дает возможность его регистрации без дополнительного усиления. Ток, потребляемый микросхемой AD22151, не превышает 10 мА, что позволяет использовать батарейный блок питания, который может быть встроен в основание сканера.

Второй сканер имеет 16 датчиков. Они установлены вдоль центральной осевой линии сканера на равных расстояниях d друг от друга (вдоль *вертикальной* пунктирной линии на рис. 1). Увеличение числа датчиков позволяет существенно сократить время сканирования при условии наличия системы автоматической регистрации сигналов, поступающих с датчиков.

Держатель магнита для второго варианта сканера имеет одну особенность — центр обоймы, в которую помещается исследуемый магнит, сдвинут относительно центра основания держателя на расстояние, равное половине расстояния между датчиками Холла. Это позволяет за два цикла сканирования получить 32 кривые распределения поля с шагом по оси ОУ, равным $d/2$. Для этого достаточно перед вторым сканированием повернуть держатель магнита на 180°. При этом, конечно, необходимо инвертировать значения координат X и Y датчиков. Это легко осуществляется программным путем. При использовании микросхем AD22151 минимальное расстояние между датчиками Холла составляет 5 мм, при этом шаг сканирования по оси ОУ равен 2.5 мм. Ширина области сканирования в направлении оси ОУ в этом случае получается равной $(2 \cdot 16 - 1) \cdot 2.5 = 77.5$ мм

Линейка, служащая направляющей для держателя магнита, закрепляется неподвижно в таком положении, чтобы центр исследуемого магнита при сканировании проходит над геометрическим центром цепочки датчиков Холла. Так как перемещения магнита вдоль оси ОУ в данном случае не требуется, размер рабочей поверхности сканера в направлении ОУ может быть уменьшен почти вдвое, до границ, указанных на рис.1 *вертикальными* пунктирными линиями.

При сканировании, как и в случае со сканером первого типа, исследуемый магнит перемещают вдоль линейки, выбирают нужное значение координаты X и компьютер по команде оператора регистрирует сигналы всех 16 датчиков Холла.

Система регистрации сигналов выполнена по традиционной схеме устройства с синхронным последовательным интерфейсом (см., например, [5]). Для оцифровки сигналов используется 16-канальный 12-разрядный а. ц. п. последовательного приближения AD7490 (Analog Device) с временем преобразования 1 мкс [6]. Связь с компьютером осуществляется по USB, контроллер USB построен на микросхеме FT232 (Future Technology Devices International) [7]. Вспомогательные узлы выполнены на программируемой логической интегральной схеме EPM7032 (Altera) [8].

Опыт использования описанных сканеров показал, что первый сканер можно рекомендовать при эпизодических исследованиях поля единичных образцов постоянных магнитов. Время регистрации одной точки сканером с одним датчиком Холла составляет 6 – 8 с, и определяется, в основном, временем позиционирования магнита относительно датчика и временем записи результата отдельного измерения, а также – в случае резкого изменения величины поля – временем установления показаний интегрирующего вольтметра. Типичное время регистрации кривой диаметального распределения поля цилиндрического магнита диаметром 60 мм при интервале сканирования 80 мм (41 точка с шагом 2 мм) составляет около 5 мин. Относительно небольшое время проведения измерений сочетается здесь с исключительной простотой конструкции.

Примерно такое же время (около 5 мин) требуется для получения двумерной карты магнитного поля размером $32 \times 32 = 1024$ точек с помощью сканера второго типа. Этот сканер, благодаря практически одновременной регистрации сигналов, поступающих сразу с 16 датчиков, обеспечивает большую скорость измерений, что делает его более предпочтительным при необходимости подробного исследования характеристик серии постоянных магнитов.

Список литературы

1. P. Keller. Technologies for Precision Magnetic Field Mapping. http://metrolab.com/wp-content/uploads/2015/07/General_tech_note_Technologies_for_Precision_Magnetic_Field_Mapping.pdf
2. Overview magnetic field mapper. www.senis.ch/mapper/overview-magneticfield-mapper
3. Field mapping. www.dextermag.com/capabilities/engineering/field-mapping
4. Linear output magnetic field sensor. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD22151.pdf>
5. А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 832 с.
6. 16-Channel, 1 MSPS, 12-Dit ADC with Sequencer in 28-Lead TSSOP. <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7490.pdf>
7. DLP-TxRx-G USB to serial adapter. <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/DLP/dlptxrx-v14-ds.pdf>
8. MAX 7000 Programmable Logic Device Family. https://www.altera.com/content/dam/altera-ww/global/en_US/pdfs/literature/ds/m7000.pdf

ОПТИЧЕСКАЯ ДИФРАКЦИОННАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ И НАГРЕВА ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ СВЕТОВОМ ОТЖИГЕ

Фаррахов Б.Ф., Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.Ф.

КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, <http://kfti.knc.ru/>

420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

E-mail: bulat_f@mail.ru

OPTICAL DIFFRACTION CONTROL METHOD OF THE SOLID PHASE RECRYSTALLIZATION AND THE HEATING OF THE IMPLANTED SEMICONDUCTORS AT PULSE LIGHT ANNEALING

Farrakhov B.F., Fattakhov Ya.V., Galyautdinov M.F.

Annotation

At paper the methods of laser diagnostics for control of the heating and the solid phase recrystallization dynamics of implanted semiconductors at pulse light annealing were demonstrated. The methods are based on registration of the Fraunhofer diffraction picture getting by probe He-Ne laser of the special periodic structures formed on the semiconductor surface. The methods allow investigate the structural-phase transitions and the temperature of ion-doped semiconductor layer with high time resolution.

Keywords

Semiconductor, recrystallization, ion implantation, diffraction, temperature, annealing.

Аннотация

В работе демонстрируются методики лазерной диагностики контроля динамики нагрева и твердофазной рекристаллизации имплантированных полупроводников при импульсном световом отжиге. Данные методики основаны на регистрации дифракции Фраунгофера получаемых зондированием He-Ne лазером специальных периодических структур сформированных на поверхности полупроводника. Методики позволяют с высоким временным разрешением исследовать структурно-фазовые переходы ионно-легированного слоя полупроводника одновременно с измерением температуры.

Ключевые слова

Полупроводник, рекристаллизация, ионная имплантация, дифракция, температура, отжиг.

Описание методик

При исследовании процессов рекристаллизации поверхности имплантированного кремния во время импульсного светового отжига (ИСО) нами была разработана оригинальная методика, основанная на регистрации динамики дифракции Фраунгофера от специальных периодических структур, сформированных на поверхности изучаемых образцов [1]. При этом регистрировались изменения дифракционной эффективности решетки, вызванные структурно-фазовыми превращениями в процессе ИСО.

Очевидно, что для целенаправленного управления режимами ИСО и получения полной информации о структурных изменениях необходимо иметь бесконтактный метод контроля импульсного нагрева вещества. Применение таких методов измерения температуры как пирометрия [2], рамановское рассеяние света [3], дифракция электронов на кристаллической решетке [4] в данном случае ограничиваются их применимостью только к объектам с кристаллической структурой или затруднениями выделения полезного сигнала.

Чувствительным методом оптической термометрии твердых тел является лазерная интерферометрия [5]. Но метод, основанный на дифракции Фраунгофера, применим в более широком интервале температур.

С целью развития дифракционного метода измерения температуры применительно к исследованию динамики нагрева твердого тела при импульсных световых обработках нами была модифицирована установка УОЛ.П-1 для проведения ИСО и проведены экспериментальные исследования на образцах кремния в широком диапазоне температур, включая температуру плавления 1412 °С.

В качестве образцов использовались пластины монокристаллического кремния КДБ-1 с кристаллографической ориентацией поверхности (111) толщиной 400 мкм. На поверхности образцов методом ионной имплантации и фотолитографии формировалась пара смежных дифракционных решеток: амплитудная и фазовая решетки с периодами 50 мкм и 4 мкм, соответственно. Имплантация проводилась ионами P⁺ энергией 40 кэВ и дозами от 6.3×10¹⁴ см⁻² до 1.9×10¹⁶ см⁻². Формирование на одном образце амплитудной и фазовой решеток позволяет исследовать структурно-фазовые переходы в имплантированном полупроводнике одновременно с измерением их температуры. Фазовая решетка является датчиком температуры образца, а по амплитудной решетке отслеживаются структурно-фазовые переходы.

Амплитудная решетка представляет собой периодическую структуру, состоящую из ячеек аморфного имплантированного кремния разделенных монокристаллическим кремнием. Данная структура из-за различия в коэффициентах отражения между аморфным $R_a=0.45$ и монокристаллическим $R_{кр}=0.37$ кремнием является амплитудной дифракционной решеткой для зондирующего луча He-Ne лазера ($\lambda=0.6328$ мкм). Дифракционная эффективность данной решетки зависит от разности коэффициентов отражения аморфных и кристаллических участков. В процессе ИСО коэффициент отражения аморфных участков R_a значительно изменяется по отношению к $R_{кр}$ из-за твердофазной рекристаллизации этих участков. Благодаря чему изменяются интенсивности всех дифракционных максимумов. Регистрация изменения интенсивности, какого либо дифракционного максимума позволяет контролировать процесс твердофазной рекристаллизации. Но целесообразно регистрировать изменение интенсивности дифракционного максимума первого порядка.

Для контроля нагрева образцов в процессе ИСО регистрировалась динамика изменения дифракционной картины Фраунгофера от фазовой решетки, а именно угловое изменение дифракционных максимумов пятого порядка ($k=5$) дифракции. С этой целью два симметричных дифракционных максимума проецировались на экран, и изменение угла дифракции в данном случае определялось смещением пучков друг относительно друга на экране. Таким образом, зависимость смещения дифракционных максимумов Δx от изменения температуры ΔT определяется следующим выражением [6]:

$$2\Delta x = \frac{2Lk\lambda\alpha\Delta T}{\sqrt{d^2 - k^2\lambda^2}}, \quad (1)$$

где L - длина оптической пути от образца до экрана регистрируемого дифракционного максимума, k - порядок дифракционного максимума, λ - длина волны, α - коэффициент теплового расширения, ΔT - изменение температуры, d - период дифракционной решетки.

Использование дифракционной решетки с малым периодом увеличивает чувствительность измерения температуры, как и регистрация высокого порядка дифракции. В связи с этим нами была изготовлена фазовая решетка с периодом $d=4$ мкм, а регистрация сигналов проводилась в пятом порядке дифракции.

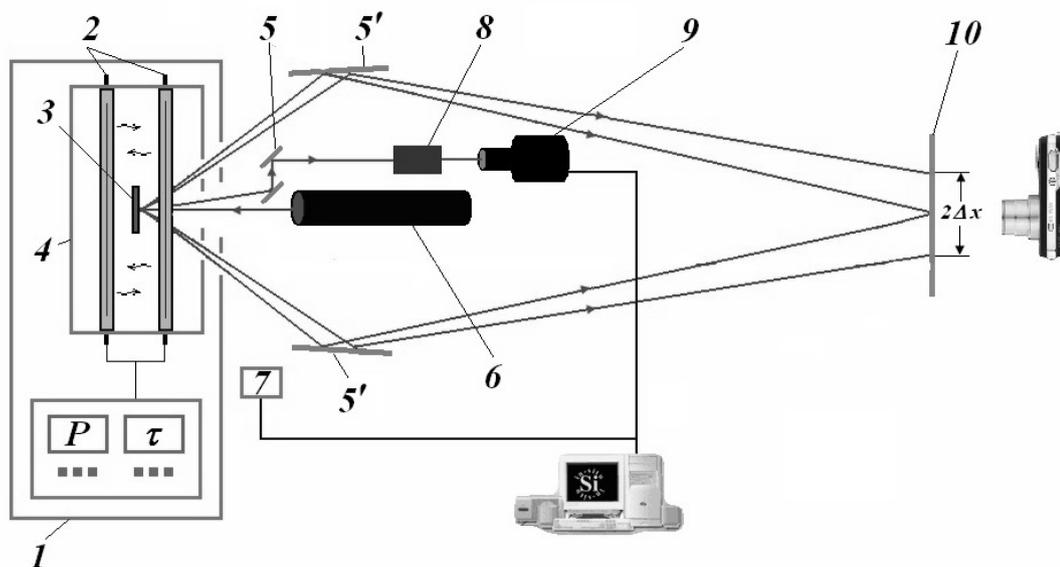


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки лазерной диагностики твердых тел при импульсном световом облучении. 1– УОЛ.П-1; 2– ксеноновые лампы вспышки; 3– образец; 4– реакционная камера; 5, 5'– отражательные зеркала; 6– He-Ne лазер ЛГН-111 ($\lambda=0.6328$ мкм); 7– фотодиод ФД-7; 8– светофильтры; 9– ФЭУ-84; 10– экран из матового стекла.

На рис. 1 представлена блок-схема установки. Во время ИСО на образец (3) с измерительной дифракционной решеткой, находящийся в реакционной камере (4) установки УОЛ.П-1 (1), подается пучок излучения зондирующего лазера ЛГН-111 (6) (Рис. 1). Через симметрично расположенные отверстия, пучки дифракционных максимумов пятого порядка от фазовой решетки попадают на отклоняющие зеркала (5') и в исходном состоянии совмещаются на экране (10). Такая схема совмещения компенсирует влияние вибрации образца на отклонение дифрагированных пучков. Экран представляет собой матированную с одной стороны стеклянную пластину с миллиметровой шкалой. Длина пути дифрагированного от образца пучка до экрана в

нашей схеме составляет $L=2315$ мм. Смещение ($2\Delta x$) на экране (10) пятых дифракционных максимумов от фазовой решетки показывает текущую температуру образца.

Пучок дифракционного максимума первого порядка от амплитудной решетки с помощью отклоняющих зеркал (5) направляется на ФЭУ-84 (9) через систему линз и светофильтров (8). Блок светофильтров включает в себя набор стеклянных светофильтров (СЗС-23, СЗС-25, КС-14), два интерференционных и один поляризационный светофильтры. Сигнал с ФЭУ и фотодиода (7) преобразуется АЦП и записывается в компьютер. Фотодиодом ФД-7 регистрируется форма светового импульса ксеноновых ламп вспышек.

Импульсное облучение образцов проводилось на установке УОЛ.П-1 (1) излучением трех ксеноновых ламп вспышек (2), работающих в стробоскопическом режиме (Рис. 1). Длительность светового импульса варьировалась в диапазоне от 120 мс до 5 сек, а плотность мощности излучения от 50 до 1200 Вт/см^2 .

Во время ИСО луч лазера ЛГН-111 падает по нормали к поверхности образца (3), таким образом, что на каждую дифракционную решетку приходится половина диаметра лазерного пучка ($\varnothing=3$ мм).

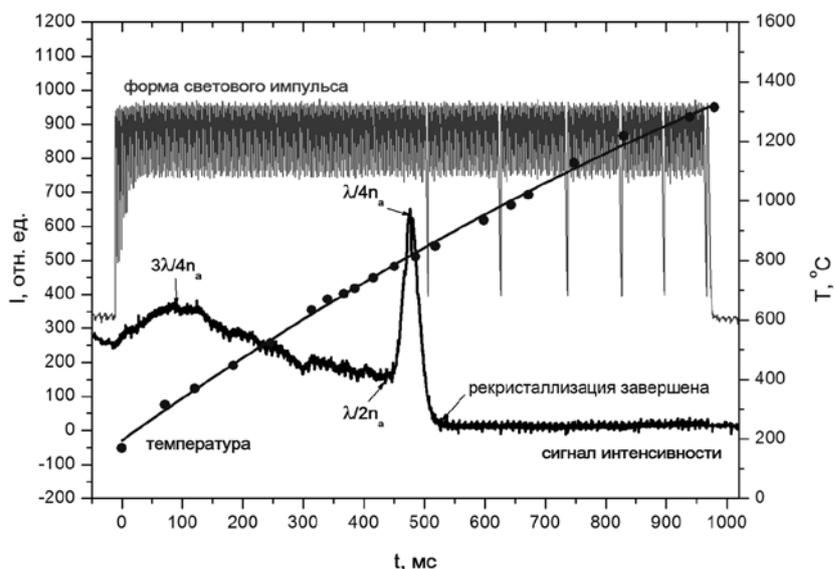


Рисунок 2 – Сигнал изменения интенсивности первого максимума дифракции от амплитудной решетки (а), во время световой импульсной обработки образца импульсом света плотностью мощности 250 Вт/см^2 и длительностью 970 мс; форма светового импульса (б).

Сигнал изменения дифракционной эффективности амплитудной решетки и температуры во время световой импульсной обработки образца представлен на рис. 2.

По мере нагрева образца во время ИСО в сигнале наблюдаются ярко выраженные пики. Они характеризуют положение залегания границы раздела имплантированного и кристаллического кремния от поверхности. Момент достижения сигнала до минимального значения ($t=520$ мс, $T=900^\circ\text{C}$) свидетельствует о завершении процесса твердофазной рекристаллизации имплантированных участков (Рис. 2).

Заключение

На базе описанных методик можно создать технологию термической обработки имплантированных полупроводников с контролем и по температуре и по факту завершения требуемого процесса рекристаллизации, не влияя на параметры полупроводника.

Литература

1. Фаттахов Я.В., Галяутдинов М.В., Львова Т.Н., Хайбуллин И.Б.// Оптика и спектроскопия. 2000. Т. 89. № 1. С. 182.
2. Рывкин С.М., Салманов В.М., Ярошецкий И.Д.// Физика твердого тела. 1968. Т. 10. № 4. С. 1022.
3. Lo H.W., Compaan A.// J. Appl. Phys. 1980. V. 51. № 3. P. 1565.
4. Галяутдинов М. Ф., Саинов Н. А., Хайбуллин И. Б., Штырков Е. И. Способ определения температуры кристаллов при импульсном нагреве.// Б.И. 1983. № 48.
5. Магунов А.Н. Лазерная термометрия твердых тел.М.: Физматлит, 2001. 224 с.
6. Галяутдинов М.Ф., Фаррахов Б.Ф., Фаттахов Я.В., Захаров М.В. // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 107, № 4. С. 708.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЁМНОЙ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

*Фахрутдинов А.Р., к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории методов медицинской физики
Фаттахов Я.В., к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории методов медицинской физики
Шагалов В.А., научный сотрудник лаборатории методов медицинской физики
Хабипов Р.Ш., научный сотрудник лаборатории методов медицинской физики
Баязитов А.А., младший научный сотрудник лаборатории методов медицинской физики
КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://www.kfti.knc.ru>, 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7
тел. (843)231-90-73, e-mail: fakhrutdinov@kfti.knc.ru*

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR MEASURING THE VOLUME MAGNETIC FIELD MAP

Fakhrutdinov A.R., Fattakhov Ya.V., Shagalov V.A., Khabipov R.Sh., Bayazitov A.A.

Annotation

The paper presents the implementation of a hardware-software complex for measuring a volume magnetic field map in MRI magnetic systems. A description of the development hardware is given: a control board based on a microcontroller, multiplexer boards. The complex includes microprograms for the microcontroller and software for controlling the operation of the radiospectrometer and multiplexers. Full-scaled model of the complex is implemented.

Keywords

Magnetic field homogeneity, microcontroller, multiplexer, MRI.

Аннотация

В работе представлена реализация аппаратно-программного комплекса для измерения объёмной карты поля в магнитной системе магнитно-резонансного томографа. Дано описание аппаратных средств разработки: платы управления на базе микроконтроллера, платы мультиплексоров. Комплекс включает в себя микропрограммы для микроконтроллера и программные средства управления работой радиоспектрометра и мультиплексоров. Реализована полнофункциональная натурная модель комплекса.

Ключевые слова

Однородность магнитного поля, микроконтроллер, мультиплексор, магнитно-резонансная томография.

Информация о пространственном распределении магнитного поля в достаточно большом объеме нужна, например, при магнитно-резонансной томографии, когда важно иметь однородное магнитное поле в рабочей области томографа. Эта информация может оказаться весьма полезной и на этапе эксплуатации томографа, и, особенно, на этапе настройки у производителя и при инсталляции прибора. Процедура настройки однородности магнитного поля заключается в оптимизации механических положений секций резистивного магнита, либо установки оптимального значения корректирующих магнитных полей с помощью соответствующих корректирующих катушек. В случае настройки магнитной системы на базе постоянного магнита процедура оптимизации распределения магнитного поля производится как с помощью активных, так и пассивных элементов коррекции магнитного поля. Задача оптимизации подразумевает итерационную операцию, минимизирующую функцию ошибки (рис. 1).

Одним из важнейших этапов процесса оптимизации корректирующих полей является этап измерения объёмной карты поля. От достоверности данных, полученных на этом этапе, зависят как оценка однородности поля, так и конечная однородность магнитного поля.

Одним из известных способов построения распределения магнитного поля является измерение точечным датчиком, например ЯМР, величины поля в зависимости от координат. Однако он требует очень больших затрат времени на проведение измерений для целей ЯМР-томографии, где используются значительные объёмы магнитного поля.

Для автоматизации процесса настройки однородности магнитного поля был разработан автоматизированный комплекс для измерения объёмной карты магнитного поля (рис. 2).

Комплекс состоит из специального датчика для измерения пространственного распределения магнитного поля, штатного компьютера и радиоспектрометра томографа [1], а также вновь разработанных плат мультиплексоров и управления.

Датчик содержит 83 измерительных сенсоров, расположенных специальным образом. При этом семейство из 76 сенсоров равномерно распределены на поверхности сферы диаметром 150 мм, и ещё 7 сенсоров расположены вдоль оси Z магнитного поля, в том числе один сенсор располагается в центре сферы. Этот сенсор устанавливается в изоцентре магнитной системы перед началом измерений.

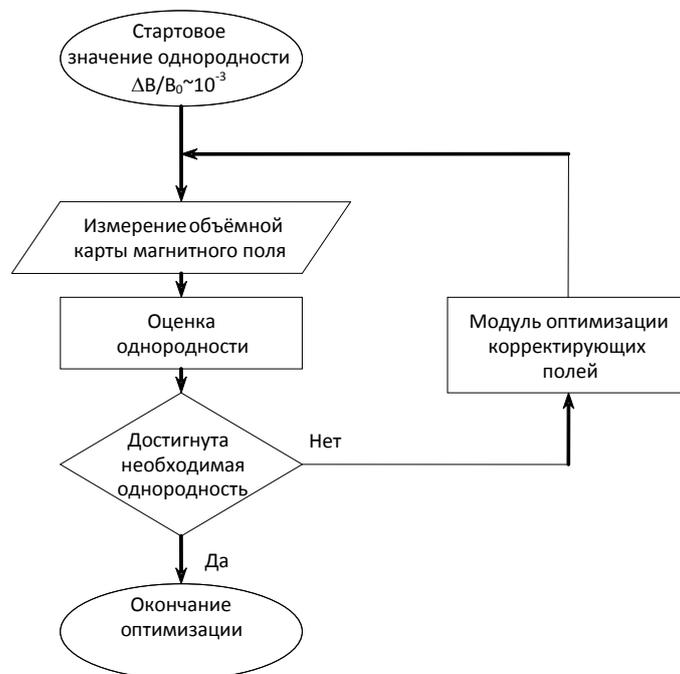


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации величины корректирующих полей.

В основу платы мультиплексоров положены 8-ми каналные мультиплексоры ADG728, управляемые по I²C интерфейсу.

Коммутация нужного сенсора на плате мультиплексоров осуществляется с помощью платы управления на базе микроконтроллерной платы STM32F400, подключенной к компьютеру при помощи преобразователя USB - COM порт, выполненном на микросхеме FT232RL.

Координирующим устройством для работы комплекса выступает персональный компьютер, управляющий томографом.

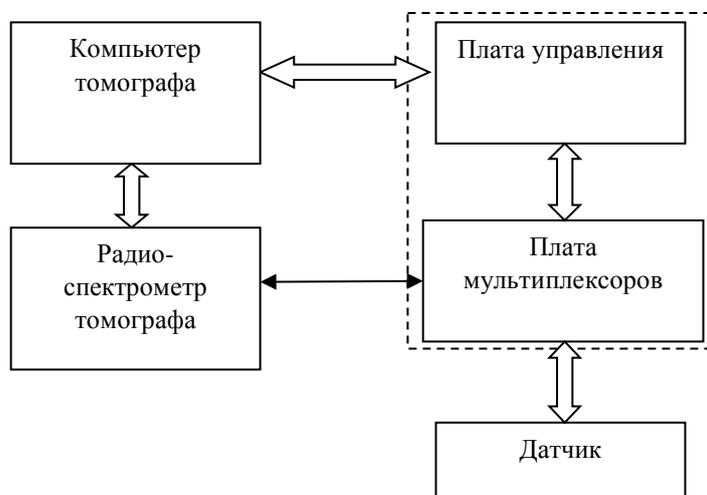


Рисунок 2 – Блок-схема комплекса для измерения однородности магнитного поля в магнитной системе томографа.

Специально для этого комплекса был разработан программный модуль, осуществляющий измерение пространственной карты поля. Он формирует последовательность коммутируемых сенсоров, в соответствии с которой, нужный в данный момент сенсор подключается к приёмному тракту томографа, после чего с помощью аппаратных и программных средств томографа формируется и регистрируется сигнал ЯМР и вычисляется отстройка частоты для данного сенсора. Драйвер, управляющий комплексом, помимо коммуникационных функций, осуществляет также и привязку номеров датчиков к пространственным координатам, что необходимо для формирования карты поля.

Список литературы

- Шагалов В.А., Фахрутдинов А.Р., Фаттахов Я.В. Радиоспектрометр для магнитно-резонансного томографа // ПТЭ, 2017, № 6, с. 132–133. DOI: 10.7868/S0032816217060118.

ЭКСПРЕССНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ДИСПЕРСИИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Пеньковский А.И., начальник отдела аналитических приборов НПО-430

Фаттахова М.В., аспирант КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева, инженер-конструктор НПО-430

*АО «Швабе – Технологическая лаборатория», www.shvabe.com, 420075, Россия, г. Казань, ул. Лунатова, 37
email: mail@shvabe-techlab.ru*

EXPRESS METHODS OF MOTOR FUELS REFRACTION INDEX AND DISPERSION MEASURING

Penkovsky A. I., Fattakhova M.V.

Annotation

Specific features of motor fuels refraction index and dispersion measuring are analyzed. The design of a portable spectral refraktometer is shown and the calculations of dispersion compensator are given.

Keywords

Index of refraction, dispersion, angular dispersion, limit of angle, parafino-naphthenic and aromatic components of fuels.

Аннотация

Анализируются особенности измерений показателя преломления и дисперсии моторных топлив, показана конструкция портативного спектрорефрактометра и приведены расчеты компенсатора дисперсии.

Ключевые слова

Показатель преломления, дисперсия, угловая дисперсия, предельный угол.

Целью работы является создание удобных экспрессных методов и средств контроля моторных топлив.

Стандартные прямые методы контроля основных эксплуатационных характеристик моторных топлив требуют существенных затрат средств и времени для проведения одного анализа.

Косвенные экспрессные методы затруднены тем, что моторные топлива состоят из множества индивидуальных углеводородов, каждый из которых вносит вклад в общие характеристики топлив. Эти углеводороды обычно делят на три основные группы: парафиновые, нафтеновые и ароматические [1]. Существует ряд методов определения характеристик моторных топлив по соотношению этих групп. Среди методов определения группового состава моторных топлив наиболее информативным и удобным является рефрактометрический метод с использованием дисперсии показателя преломления [2-4].

Суть рефрактометрического метода состоит в том, что моторное топливо рассматривают как смесь парафино-нафтеновых и ароматических фракций и находят в нем долю ароматических углеводородов $P_{AP\%}$. Для этого сначала измеряют показатель преломления топлива в желтом свете n_D (для длины волны $\lambda_D = 589,3$ нм) и разность показателей преломления $n_F - n_C = \Delta_{FC}$, называемой средней дисперсией (для длин волн водорода $\lambda_F = 486,1$ нм и $\lambda_C = 656,3$ нм) относительно стеклянной измерительной призмы рефрактометра. Затем находят относительную дисперсию топлива:

$$\omega = (n_F - n_C) \cdot 10^3 / (n_D - 1), \quad (1)$$

и сравнивают ее с априори известной усредненной величиной относительной дисперсии парафино-нафтеновых составляющих топлива $\omega_{пн} = 17,55$. По разнице этих величин дисперсий находят долю ароматических углеводородов $P_{AP\%}$ с помощью линейного уравнения

$$P_{AP\%} = K(\omega - 17,55), \quad (2)$$

где K – коэффициент пропорциональности; ω – относительная дисперсия топлива.

Найденные значения n_D , ω и $P_{AP\%}$ являются главными при определении других характеристик топлив. Так, октановое число бензинов Ω , цетановое число z дизельного топлива, высота некоптящего пламени h , нагарный фактор H_ϕ керосинов связаны с n_D и $P_{AP\%}$ следующими формулами, полученными экспериментально:

$$\Omega = 76 + 0,652(P_{AP\%} - 10\%), \quad (3)$$

$$z = 350(1,475 - n_{D_x}) + 46, \quad (4)$$

$$h = 340(1,475 - n_{D_x}) + 19,5 - 0,04P_{AP\%}, \quad (5)$$

$$H_\phi = 150 - 4000(1,453 - n_{D_x}) - 0,15P_{AP\%}, \quad (6)$$

где n_{D_x} – показатель преломления топлива при 20°C.

Формулы (3) – (6) получены в результате обработки большого массива экспериментальных данных, полученных при исследовании аттестованных образцов топлив (бензинов, дизельных и реактивных топлив) различными методами (рефрактометрическим, дисперсионметрическим, дизелькометрическим, поляризационным). Проведенные исследования показали, что показатель преломления n_D всех видов топлива находится в пределах от 1,3750 до 1,4805, диапазон измерения средней дисперсии Δ_{FC} топлив – от 0,0060 до 0,0120, а предел допустимой погрешности измерений n_D и Δ_{FC} не должен превышать $2 \cdot 10^{-4}$.

Для измерения n_D и Δ_{FC} моторных топлив в лабораториях обычно используют рефрактометры Пульфриха [1], укомплектованные спектральными лампами с громоздкими источниками высокого напряжения, что неудобно для проведения экспрессных анализов топлив.

На рис. 1 показана схема нового портативного спектрорефрактометра ИРФ-479А для контроля качества моторных топлив.

Отличительными особенностями спектрорефрактометра (рис.1) являются измерительная призма 4, выполненная из стекла BK10 ($n_D = 1,5688$, $\Delta_{FC} = 0,01015$, угол призмы $\theta = 66,5^\circ$), наличие компенсатора дисперсии, выполненного в виде одной призмы прямого зрения 5, а также равномерная шкала 10, содержащая 110 делений.

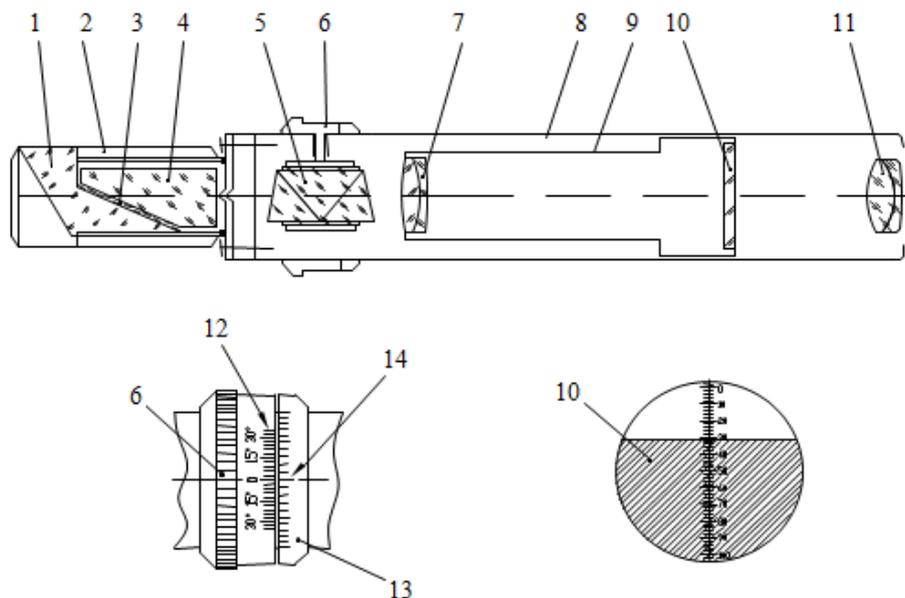


Рисунок 1 – Структурная схема спектрорефрактометра ИРФ-479А.

Принцип работы представленного прибора следующий: белый свет от любого источника света проходит призму-осветитель 1, слой исследуемого топлива 3, преломляется в измерительную призму 4, вторично преломляется на выходной грани призмы 4, проходит через компенсатор 5 и попадает на объектив 7. В фокальной плоскости объектива 7, где установлена равномерная шкала 10, строится изображение границы света и тени, которую можно наблюдать с помощью окуляра 11.

Если наблюдаемая граница света и тени имеет радужную окраску, то необходимо с помощью вращения кольца 6 добиться полной компенсации дисперсионных эффектов, образовавшихся в результате преломления света при его прохождении через призму 4. Показания в делениях шкалы М с прибора снимают по положению границы света и тени относительно шкалы 10. Показания в делениях шкалы М соответствуют измеренному показателю преломления топлива n_{D_x} :

$$n_{D_x} = n_D \sin \left\{ \theta - \arcsin \left[\left(\frac{1}{n_0} \right) \sin(\beta_{\min} - M\Delta\beta) \right] \right\}, \quad (7)$$

где n_0 – показатель преломления призмы 4; θ – угол между входной и выходной гранями призмы 4; β_{\min} – угол предельных лучей относительно нормали к выходной грани призмы 4 при минимальном показателе преломления топлива; $\Delta\beta$ – цена деления шкалы 10 (град).

По положению шкалы 12 кольца 6 относительно нулевого индекса 14 неподвижного кольца 13 определяют угол поворота φ призмы 5 и находят среднюю дисперсии через конструктивные коэффициенты А и В [1]:

$$\Delta_{FC} = (n_F - n_C) = A + B(\Delta_{FC})_k \sin\varphi, \quad (8)$$

где $A = n_0 \sin\theta (\Delta_{FC})_0 / G$; (9)

$$B = \left(\sqrt{(n_0^2 - n_x^2)(1 - n_0^2 + G^2)} \right) / G; \quad (10)$$

$$G = n_x \sin\theta + \cos\theta \sqrt{n_0^2 - n_x^2}; \quad (11)$$

$(\Delta_{FC})_k = 0,025598$ – угловая дисперсия, вносимая призмой 5.

Подставляя в формулы (9) - (11) значения $n_0 = 1,5688$, $(\Delta_{FC})_0 = 0,01015$, $\theta = 66,5^\circ$ находим, что при изменении n_x от 1,3750 до 1,4805 средняя величина коэффициента $A \approx 0,009304$, а величина коэффициента В меняется от $B_{\min} \approx 0,328819$ до $B_{\max} \approx 0,478996$.

Таким образом, для расчетов средней дисперсии моторных топлив для данной конструкции спектрорефрактометра можно пользоваться формулой:

$$\begin{aligned} \Delta_{FC} &= A + (B_{\min} - (B_{\max} - B_{\min}) \cdot M) \cdot (\Delta_{FC})_{k_{\max}} \cdot \sin\varphi^\circ = \\ &= 0,009304 + (0,479 - 0,001502 \cdot M) 0,025598 \cdot \sin\varphi^\circ, \end{aligned} \quad (12)$$

где M – число делений шкалы 10; $(\Delta_{FC})_{k_{max}}$ – максимальная угловая дисперсия, вносимая призмой 5; $\varphi^\circ = z \cdot 3^\circ$ – угол поворота призмы 5; z – число делений шкалы 12 относительно индекса 14.

На рис. 2 показана зависимость дисперсии $(\Delta_{FC})_k$, вносимой призмой 5 (компенсатором), от угла поворота φ° призмы 5.

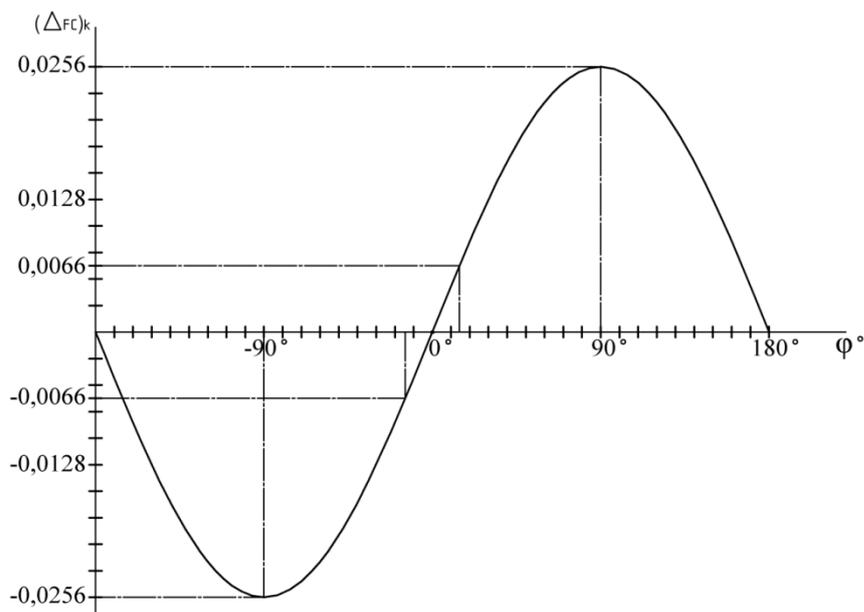


Рисунок 2 – Зависимость дисперсии $(\Delta_{FC})_k$ от угла поворота φ° призмы 5

Из формулы (12) и рис.2 видно, что если компенсатор дисперсии находится в исходном положении, т.е. при $\varphi = 0^\circ$ искомая дисперсия $\Delta_{FC} = 0,009304$ соответствует средней величине диапазона измерения дисперсии моторных топлив. Значит, что в диапазоне углов φ° от $\varphi_{min} = -15^\circ$ до $\varphi_{max} = +15^\circ$ формула (12) близка к линейной функции, где наблюдается наибольшая ее крутизна, следовательно, достигается наибольшая точность измерений Δ_{FC} .

В результате исследований методов измерения показателя преломления и дисперсии моторных топлив авторам удалось создать простой портативный спектрорефрактометр ИРФ-479А (рис.1). Если в спектрорефрактометре ИРФ-479А вместо шкалы 10 и окуляра 11 установить многоэлементный фотоприемник, управляемый микропроцессором, а в процессор внести программы на основе формул (7), (12), то процесс экспрессных измерений основных характеристик топлив существенно упростится.

©А. И. Пеньковский, М. В. Фаттахова

Литература

1. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии – Л.: Химия, 1974.400с.
2. Иоффе Б.В, Баталин О.Е. Определение группового состава стандартных фракций бензинов// Нефтехимия, 4, 481, 1964.
3. Хейфец Е.М. Новые методы определения химического состава топлив и масел.-М,Л.:ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1950.64с.
4. Пеньковский А.И., Николаев В.Ф., Боровкова Н.С. Способ экспрессной оценки качества моторных топлив и устройство для его осуществления//Патент РФ№2532638.
5. Пеньковский А.И., Николаев В.Ф., Боровкова Н.С. Новые оптические способы и устройства для анализа качества моторных топлив// Оптический журнал, 83, 4, 2016, С.63-68.

СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ПОРТАТИВНОГО ПРИБОРА-АНАЛИЗАТОРА МОЧЕВИНЫ И/ИЛИ КРЕАТИНИНА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО ФЕРМЕНТНОГО БИОЧИПА ДЛЯ АНАЛИЗОВ КРОВИ И МОЧИ

Фомкина М.Г., к.б.н., в.н.с.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, <http://web.itfb.psn.ru>
142290 г. Пушкино, Московская обл., ул. Институтская,3, +7(916)039-45-98, mfomkina@mail.ru*

CREATION OF A PROTOTYPE OF A PORTABLE UREA AND/OR CREATININE ANALYZER BASED ON A POLYMER ENZYME BIOCHIP FOR BLOOD AND URINE TESTS

Fomkina M.G.

Annotation

Based on polymer nanotechnologies, enzyme sensors have been developed that can determine the corresponding substrates - metabolites of biological fluids. Polymer technology for the manufacture of sensors is uniform for many enzymes and is less labor intensive and costly compared to other similar technologies. Biosensor devices - urea and / or creatinine analyzers with polymer enzyme chips for express diagnostics of biological fluids (blood, urine) are proposed for development.

Keywords

Enzyme biosensors, polymeric nanomaterial, portable analyzer, microreactor, microcapsules, creatinine, urea.

Аннотация

На основе полимерных нанотехнологий созданы ферментные датчики, способные определять соответствующие субстраты – метаболиты биологических жидкостей. Полимерная технология изготовления датчиков является единообразной для многих ферментов и менее трудоемкой и дорогостоящей по сравнению с другими аналогичными технологиями. Предлагаются к разработке биосенсорные приборы - анализаторы мочевины и/или креатинина с полимерными ферментными чипами для экспресс-диагностики биологических жидкостей (кровь, моча).

Ключевые слова

Ферментные биосенсоры, полимерный наноматериал, портативный анализатор, микрореактор, микрокапсулы, креатинин, мочевина.

Объем проводимых лабораторных исследований во всем мире неуклонно растет и достигает 45 млрд. анализов в год, причем в промышленно развитых странах количество анализов на 1 жителя достигает 40-60 ежегодно. Универсальные биохимические анализаторы производят анализ любых биологических жидкостей (субстраты, ферменты, липиды, лекарственные препараты, гормоны, белки, электролиты, наркотики). Их выпускают около 60 фирм, основными производителями являются фирмы «Эббот» (США), ЭйБиДжей1 (Австрия), «Коне» (Финляндия), «Нова» (США), «Корнинг» (Англия), «Бекман» (США), «Радиометр» (Дания). Большим спросом пользуются готовые наборы реактивов. Рынок их составляет примерно 27 млрд. долларов при мировом рынке лабораторных приборов в 6 млрд. долл.

Для биохимических исследований (определение органических и неорганических химических веществ, таких как ионы калия, натрия, кальция, магния, лития, хлора, субстраты, метаболиты, ферменты биохимических процессов в крови и других биологических жидкостях человека) применяются спектроскопические анализаторы. Перспективными признаны универсальные биохимические анализаторы, с помощью которых производится анализ любых биологических жидкостей на содержание различных компонентов. Однако в настоящее время отсутствуют портативные приборы данного класса.

Разработка портативных приборов для проведения анализов биологических жидкостей является актуальной задачей современной медицинской диагностики. Особый интерес среди портативных анализаторов различных веществ несомненно представляют анализаторы на основе биосенсоров. Любой биосенсор состоит из двух функциональных элементов: биодатчика, содержащего биоселектирующий материал, и физического преобразователя, трансформирующего любой генерируемый сигнал (концентрация ионов, масса, цвет и т.д.) в электрический. В роли биоселектирующего материала выступают все типы биологических структур - ферменты, антитела, рецепторы, нуклеиновые кислоты и даже живые клетки. В биосенсорах применяются самые разные физические преобразователи: амперометрические, кондуктометрические, оптические, люминесцентные, флуоресцентные, акустические, гравитационные и т.д.

Разработка биосенсоров – крайне трудоемкий процесс. Наиболее важный этап разработки ферментных сенсоров – надлежащая иммобилизация ферментов на твердых носителях (подложках). Нами разработан способ иммобилизации ферментов с применением полимерных технологий, который является универсальным для многих ферментов и при

котором иммобилизованный фермент находится функционально-активном состоянии [1-3]. Иммобилизация ферментов проводится нами в биосенсорном чувствительном покрытии, представляющем собой комбинацию нанометровых полиэлектролитных слоев и микрокапсул с ферментом, помещенных между этими слоями (Рисунок 1).

Этот метод иммобилизации ферментов позволяет относительно легко создавать мультиферментные системы, обеспечивающие прохождение сопряженных реакций. С их помощью можно проводить определение некоторых веществ, которые невозможно детектировать одним ферментом.

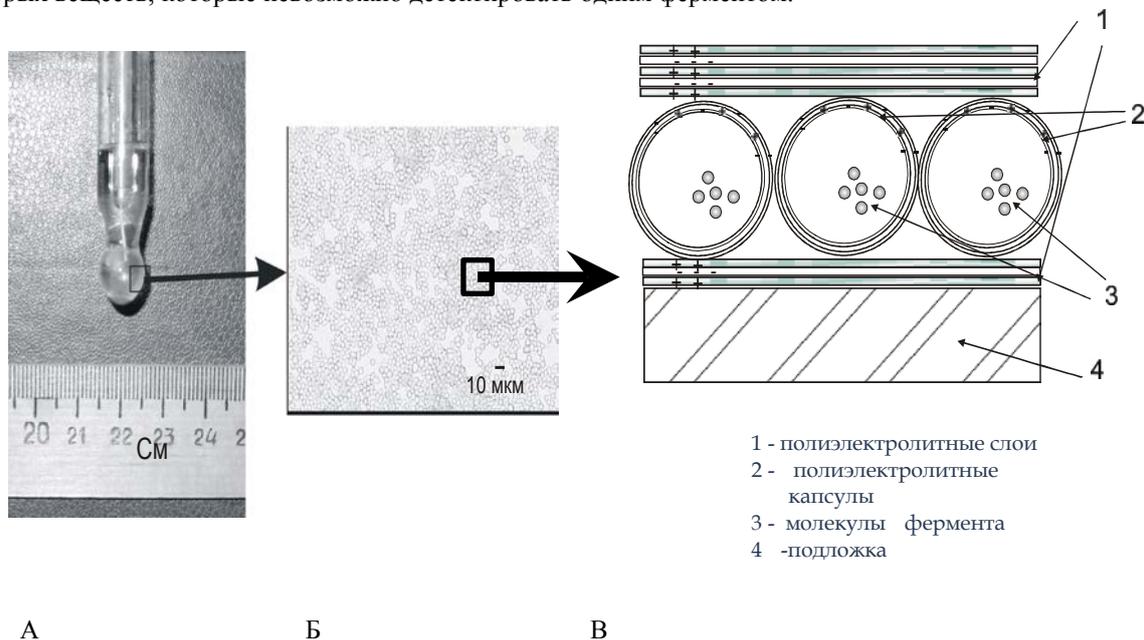


Рисунок 1 – Ферментный электрод с чувствительным биосенсорным слоем

А – стеклянный рН-электрод с нанесенным чувствительным слоем, содержащим фермент уреазу

Б – изображение полиэлектролитного покрытия с микрокапсулами в световом микроскопе

В – схематическое изображение биочувствительного слоя с ферментом

Исследованные нами иммобилизованные ферменты (пероксидаза хрена, уреазы, ацетилхолинэстеразы, креатининдеаминазы, глюкозооксидазы, лактатдегидрогеназы) обеспечивали в тестовых растворах определение соответствующих субстратов. Таким образом, предложенный нами способ иммобилизации является универсальным для ферментов практически любых типов. Ферменты в микрокапсулах полимерного материала надежно защищены от агрессивных воздействий среды (микробов, протеаз и т.п.); способны детектировать субстраты длительное время; время получения ответа после реакции фермент-субстрат весьма мало, так как ферменты отделены от исследуемого раствора нанометровой оболочкой. Это позволило создавать не только ферментные электроды, но и ферментные микрореакторы (когда регистрирующий электрод отделен от чувствительного слоя). Разработки защищены тремя патентами [2-4].

В ИТЭБ РАН проведены теоретические и экспериментальные исследования по изучению функциональных свойств создаваемых ферментных сенсоров и микрореакторов на основе нового способа иммобилизации ферментов. Исследована способность детектировать вещества в растворах оптическим, амперометрическим, флуоресцентным и потенциометрическим методами.

Создан лабораторный образец прибора-анализатора на основе мультиферментного микрореактора (уреазы, пероксидазы хрена и т.д.). Изучены функциональные свойства лабораторного образца мультиферментного сенсорного датчика на плоской стеклянной и кварцевой поверхности. Показано, что чувствительный слой можно наносить на поверхности из разных материалов, различной конфигурации и отделять от регистрирующего электрода без потери во времени при получении сигнала. Проведены первичные исследования сопряженной системы биферментных сенсоров и микрореакторов, сформированных на основе полимерных нанотехнологий. Показана возможность с помощью сопряженной системы глюкозооксидазы-пероксидазы хрена определять субстраты исследуемых ферментов в тестовых растворах.

Разработан макетный образец потенциометрического прибора-анализатора мочевины. Разработана программа для численного отображения определяемых концентраций мочевины. Получены первичные данные по определению глюкозы и мочевины в биологических жидкостях (кровь, моча).

В настоящее время предлагается к разработке прибор-анализатор мочевины и/или креатинина. Одним из важных биохимических анализов крови являются анализы по определению мочевины и креатинина. Повышенный уровень мочевины и креатинина в крови человека — симптом серьезных нарушений в организме, таких как

заболевания почек, онкологические и сердечные заболевания, кишечная непроходимость. Понижение мочевины в крови свидетельствуют о гепатите, циррозе печени, отравлении фосфором, мышьяком.

Требуемые работы по изготовлению опытного образца прибора-анализатора мочевины/креатинина лежат не только в области совершенствование биотехнологических методов инкапсуляции и иммобилизации ферментов, но и в большей степени в разработке аппаратного и программного обеспечения. Разработка прибора-анализатора мочевины/креатинина будет первым шагом к созданию широкого класса приборов-анализаторов различных метаболитов в жидкостях.

Современные портативные, автономные и простые в обслуживании экспресс-анализаторы гомеостаза найдут широкое применение в качестве медицинского диагностического и лечебно-профилактического оборудования.

Литература

1. Терновский В.И., Чернохвостов Ю.В., Фомкина М.Г., Монтрель М.М. Потенциометрический сенсор на основе уреазы, иммобилизованной в полиэлектролитных микрокапсулах. Биофизика, 2007, Т.52, вып.5, с.825-829
2. Монтрель М.М., Терновский В.И., Фомкина М.Г., Петров А.И. Ультратонкое полимерное покрытие, способ его изготовления и ферментативный биосенсор на его основе Патент № 2333231 от 10.09.2008.Бюл. № 25., Заявка 2006136254/04 от 16.10.2006 http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet
3. Фомкина М.Г., Минкабиров Г.М., Монтрель А.М. Способ получения подложек с многослойным покрытием на основе полиэлектролитных микрокапсул, содержащих биологически активные материалы //Патент № 2567320 Бюл. № 31 от 10.11.2015 Заявка 2011103074/05 от 28.01.2011 http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet
4. Фомкина М.Г., Бирюков С.В. Автоматизированная установка для получения многослойных микроячейстых полиэлектролитных нанопокровтий с биологически активными материалами //Патент на полезную модель №114880 Заявка 2011110774/15 от 22.03.2011, Бюл. № 11 20.04.2012. http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet.

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР С ЛАЗЕРНЫМ МОДУЛЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕАКЦИОННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДОМ ВЭЖХ

Хабаров В.Б.¹, к.х.н., старший научный сотрудник, Львов А.И.² инженер конструктор

Хабаров М.В.², научный сотрудник, Буряк А.К.¹, д.х.н., профессор, директор института

*1 – Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский пр-т, д. 31
корп. 4. Сайт <http://phyche.ac.ru>, тел. 8(495)955-46-68, e-mail: Victor.Khabarov2013@yandex.ru*

2 – НИОКО «Биоэкомониторинг», Москва.

HIGH-SENSITIVITY REFRACTOMETRIC DETECTOR WITH LASER MODULE FOR ANALYSIS OF REACTIVE ORGANIC AND INORGANIC COMPOUNDS BY HPLC

Khabarov V.B.¹, Lvov A.I.², Khabarov M.V.², Buryak A.K.¹

Annotation

A high-sensitivity refractometric detector with a laser module ($\lambda = 650$ nm) and a fluoroplastic liquid path for HPLC has been developed, which has an optical scheme that increases the sensitivity of the determination of organic and inorganic compounds in comparison with the prototype by 6-7 times, analogue – 16-17 times.

Keywords

HPLC, refractometric detector, laser module, quartz cell with three through channels.

Аннотация

Разработан высокочувствительный рефрактометрический детектор с лазерным модулем ($\lambda = 650$ нм) и жидкостным трактом из фторопласта для ВЭЖХ, имеющий оптическую схему, которая повышает чувствительность определения органических и неорганических соединений по сравнению с прототипом в 6-7 раз, аналогом – 16-17 раз.

Ключевые слова

ВЭЖХ, рефрактометрический детектор, лазерный модуль, кварцевая кювета с тремя сквозными каналами.

Цель работы

Разработать высокочувствительный рефрактометрический детектор с лазерным модулем для высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Обсуждаемая проблема

Выявить преимущества рефрактометрического детектора с источником света лазерного модуля ($\lambda = 650$ нм, 1 мВт, точка $\varnothing 3$ мм) по сравнению с полихроматическими источниками света: светодиодами ($\lambda = 430-520$ нм с макс. 460 нм, $\lambda = 610-760$ нм с макс. 650 нм) и вольфрамовой нитью накала (фильтр из синего стекла $\lambda = 450-530$ нм) на чувствительность рефрактометрического детектора при ширине диафрагмы 50, 75 и 100 мкм.

Выявить преимущества рефрактометрического детектора с кварцевой кюветой с тремя каналами по сравнению с кварцевой кюветой с двумя каналами.

Для анализа реакционных органических и неорганических соединений методом ВЭЖХ разработан рефрактометрический детектор [1], в котором крепление кварцевой кюветы и жидкостный тракт выполнен из фторопласта.

Для устранения недостатков прототипа [2] и аналога [3] разработан высокочувствительный рефрактометрический детектор с лазерным модулем и жидкостным трактом из фторопласта для ВЭЖХ [1], имеющий такую оптическую схему, которая повышает чувствительность определения органических и неорганических соединений по сравнению с прототипом в 6-7 раз [2], аналогом – 16-17 раз [3] и обеспечивает проведение анализа при температуре аналитической колонки и оптико-механического блока детектора при температуре 20-50 °С (рис. 1, 2).

Конструктивные недостатки рефрактометрического детектора [2]:

- Кварцевая кювета, выполнена в виде прямоугольного параллелепипеда с двумя сквозными каналами, треугольными в поперечном сечении с углом 45°, не обеспечивает стабильность нулевой линии при температуре воздуха в рабочем помещении выше 20 °С, так как происходит повышение температуры внутри детектора за счёт тепловой энергии, выделяющейся от элементов электронных схем и лампочки с вольфрамовой нитью накала.

- Понижена чувствительность рефрактометрического детектора при детектировании органических и неорганических соединений и связано это с тем, что вольфрамовая нить накала лампочки (6 В, 6 Ватт) излучает полихроматический световой поток недостаточной интенсивности и фильтр из стекла синего цвета пропускает световой поток с длиной волны $\lambda = 450-530$ нм уменьшает в 2,5 раза интенсивность светового потока, поступающий на фотодиоды.

- При длительной работе рефрактометрического детектора в источнике света – лампочке деформируется вольфрамовая нить накала (в виде змейки), что приводит к неравномерности распределения энергии падающего

светового потока на фотодиоды и как следствие понижается чувствительность определения органических и неорганических соединений, увеличивается дрейф нулевой линии и детектируются определяемые соединения в виде ассиметричных хроматографических пиков.

- Рефрактометрический детектор позволяет проводить анализ органических и неорганических соединений только при комнатной температуре и не позволяет проводить анализ при стабильной нулевой линии детектора при температуре аналитической колонки и измерительного оптико-механического блока 25-50 °С.

Конструктивные недостатки рефрактометрического детектора [3]:

- В детекторе отсутствует призма для юстировки по эталонным веществам, что не обеспечивает настройку детектора на высокую чувствительность определения органических и неорганических соединений.

- В детекторе светодиод со светоизлучающей площадкой диаметром 30 мкм излучает полихроматический световой поток ($\lambda = 610-760$ нм с максимумом $\lambda = 650$ нм) низкой интенсивности, что снижает чувствительность детектора при определении органических и неорганических соединений. Хроматографические пики определяемых соединений детектируются в виде ассиметричных пиков и связано это с тем, что полихроматический световой поток, излучаемый светодиодом, разделяется в кювете и неравномерно распределяется на площадках фотодиода рефрактометрического детектора.

- При определении молекулярно-массового распределения полимерных молекул хитозана и содержания примесных соединений хитозан-хитина и хитозан-белковых комплексов в препаратах хитозана методом ВЭЖХ используют элюент, содержащий уксусную кислоту, которая вызывает коррозию нержавеющей стали с образованием ионов металлов железа, хрома и никеля (Fe^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+}). Ионы Fe^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} с аминными, карбонильными и гидроксильными группами хитозана, аминными группами хитозан-хитина и хитозан-белкового комплекса образуют комплексы, которые на УФ-детекторе поглощают электромагнитные колебания при $\lambda = 254$ нм, что приводит к изменению физико-химических характеристик полимерных молекул хитозана, хитозан-хитина и молекул хитозан-белкового комплекса [4].

- Герметизация кварцевой кюветы в корпусе из нержавеющей стали осуществляется прокладкой из фторопласта, толщиной 0.1 мм, при этом анализируемые соединения и элюент контактируют с металлическим корпусом кюветы. Анализируемые методом ВЭЖХ реакционные соединения – олигомеры этоксисилоксанов [5-7], мономерная и полимерные молекулы кремниевой кислоты [8, 9] выпадают на поверхности нержавеющей стали в виде диоксида кремния, что приводит к закупорке аналитического канала рефрактометрического детектора.

Разработанный рефрактометрический детектор содержит (рис. 1) [1]: оптически связанные источник света от лазерного модуля ($\lambda = 650$ нм); объектив; щелевую диафрагму для формирования полосы света вдоль оси каналов кюветы; кварцевую кювету с последовательно расположенными отдельными тремя сквозными каналами, треугольными в поперечном сечении с острым углом 45° ; призму в виде равнобедренной трапеции с острыми углами 45° обеспечивает поворот луча света на 180° , прошедшего через кварцевую кювету и его перемещение перпендикулярно оптической оси кюветы по площадкам фотодиода при юстировке детектора по эталонным веществам; плоскопараллельную кварцевую пластину зануления; двухплощадочный фотодиод, установленный перпендикулярно оптической оси кварцевой кюветы.

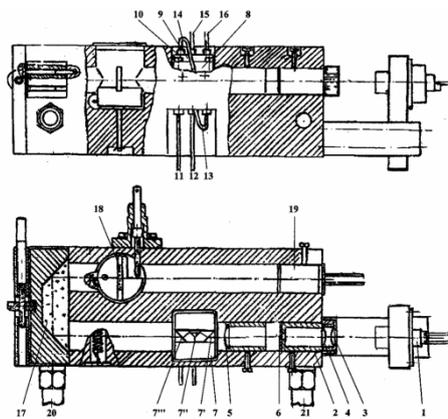
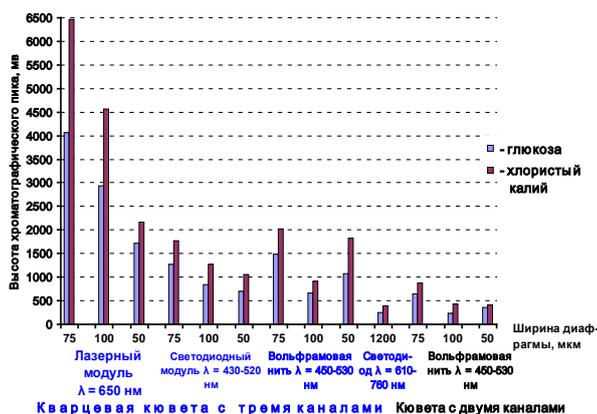


Рисунок 1 – Оптико-механический блок рефрактометрического детектора. 1 – лазерный модуль (15 x 8 мм 3 в, 1мВт, $\lambda = 650$ нм), излучающий монохроматический световой поток; 2 – объектив; 3-5 – линзы бъектива; 6 – диафрагма в виде щели шириной 75 мкм; 7 – проточная кварцевая кювета с тремя сквозными каналами (7', 7'', 7''') крепится между пластинами из фторопласта в корпусе кюветы 8 с помощью крышки 9 и четырёх винтов 10; 11-13 – каналы для крепления капилляров из фторопласта в нижней части корпуса кюветы; 14-16 – каналы для крепления капилляров из фторопласта в верхней части корпуса кюветы; 17 – призма для юстировки детектора по эталонным веществам; 18 – плоскопараллельная кварцевая пластина зануления; 19 – фотодиод с двумя фоточувствительными площадками; 20, 21 – патрубки теплообменника.

При прохождении анализируемого вещества через аналитический канал кварцевой кюветы направление света на выходе кюветы отклоняется от направления главной оптической оси на угол, пропорциональный изменению показателя преломления. Энергетическое равновесие на фоточувствительных площадках фотодиода нарушается пропорционально изменению угла отклонения от оптической оси детектора и, соответственно, также пропорционально изменяется измеряемый ток с фотодиода.

Рисунок 2 – Диаграмма анализа глюкозы и хлористого калия на рефрактометрических детекторах с кварцевой кюветой с двумя и тремя каналами с источниками света: лазерного, светодиодного модулей и лампочки с вольфрамовой нитью накала. Элюент – дистиллированная вода, 0,1 мл/мин. Анализируемая проба – 10 мкл 0,2 %-го водного раствора глюкозы и хлористого калия.

При прохождении светового потока от лазерного модуля, кювета с трём каналами вычитает коэффициент преломления подвижной фазы, что снимает ограничения в ВЭЖХ по применению подвижных фаз, которые имеют коэффициент



преломления выше определяемых органических и неорганических веществ.

Динамический диапазон детектирования хлористого калия и глюкозы (рис. 3) и метрологические характеристики рефрактометрического детектора с кварцевой кюветой с тремя сквозными каналами с лазерным модулем [1] при анализе водных растворов глюкозы и хлористого калия приведены в [10].

Из графика следует, что содержание в пробах глюкозы 5-60 мкг рефрактометрическим детектором детектируются в линейном диапазоне, а при содержании в пробах глюкозы 70-90 мкг детектируются в нелинейном диапазоне. При содержании хлористого калия в пробах 5-40 мкг рефрактометрическим детектором детектируются в линейном диапазоне, а при содержании в пробах хлористого калия 50-90 мкг детектируются в нелинейном диапазоне [10].

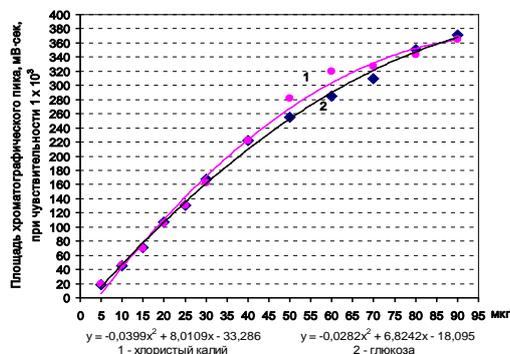


Рисунок 3 – Динамический диапазон детектирования хлористого калия и глюкозы рефрактометрическим детектором с кварцевой кюветой с тремя сквозными каналами, лазерным модулем и жидкостным трактом из фторопласта при ширине диафрагмы 75 мкм и расходе дистиллированной воды 0,08 мл/мин. Объем дозирующей петли 10 мкл [1].

При анализе 5-10 мкл 0,001 %-го водных растворов глюкозы и хлористого калия и детектировании рефрактометрическим детектором с лазерным модулем глюкозы 20 нг и 50 нг, хлористого калия 10 нг и 30 нг соотношение сигнал/шум составляет для глюкозы 21,2 и 8,5 и, соответственно, для хлористого калия 15,9 и 5,3. Дрейф нулевой линии

рефрактометрического детектора за 1 час измерений при температуре 20 °С – 0,1 % [10].

Заключение

Для анализа реакционных органических и неорганических соединений методом ВЭЖХ разработан высокочувствительный рефрактометрический детектор с лазерным модулем, жидкостным трактом из фторопласта и кварцевой кюветой с тремя сквозными каналами [1]. Впервые чувствительность рефрактометрического детектора повышена по сравнению с прототипом в 6-7 раз [2], аналогом – 16-17 раз.

Предложение

Рассмотреть вопросы организации промышленного производства разработанного рефрактометрического детектора [1] и укомплектовать имеющиеся жидкостные хроматографы в лабораториях научно-исследовательских институтов, ЦЗЛ предприятий химической, пищевой, фармацевтической и биотехнологической промышленности.

Литература

1. Хабаров В.Б., Львов А.И., Буряк А.К., Хабаров М.В. Рефрактометрический детектор с лазерным модулем и хроматографическим трактом в безметаллическом исполнении для жидкостной хроматографии и способ детектирования органических и неорганических веществ рефрактометрическим детектором // Пат. 2589374 РФ. 2016. Бюл. № 19.
2. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Панина Л.И., Буряк А.К. Устройство крепления и герметизации кварцевой кюветы в рефрактометрическом детекторе для жидкостной хроматографии // Пат. № 2362143 РФ. 2009. Бюл. № 20.
3. Анисимов А.В., Булат О.Э., Попкович Г.Б., Лобазов А.Ф., Хаджинов Е.М. Рефрактометрический детектор для жидкостной хроматографии // Патент республики Беларусь № 9391. Опубл. 30.06.2007.
4. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Буряк А.К. Исследование хитозана и примесных соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии при использовании хроматографического тракта жидкостного хроматографа в металлическом и безметаллическом исполнении. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2011. Т. 11, Вып. 3. С. 292-298.
5. Пронин А.Я., Хабаров В.Б., Оспенникова О.Г., Пикулина Л.В., Антипин Л.М., Ларионов О.Г. Способ определения молекулярно-массового распределения олигомеров этоксисилоксанов в гидролизованных и негидролизованных этилсиликатах // Пат. № 2280252 РФ. 2006. Бюл. № 20.
6. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Оспенникова О.Г., Пикулина Л.В. Способ изготовления керамических оболочковых форм для точного литья металлов по выплавляемым моделям // Пат. № 2296645 РФ. 2007. Бюл. № 10.
7. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Буряк А.К., Оспенникова О.Г., Пикулина Л.В. Молекулярный химический анализ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии олигомеров этоксисилоксанов, получаемых при кислотном гидролизе этилсиликата. // ДАН. 2009. Т. 429. № 4. С. 496-499.
8. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Буряк А.К., Самуйленко А.Я. Возможности молекулярного химического анализа методом ВЭЖХ при использовании полимерного сорбента на основе высокощитого полидивинилбензола. // ДАН. 2009. Т. 427. № 1. С. 57-60.
9. Хабаров В.Б., Пронин А.Я., Буряк А.К. Способ определения форм существования и молекулярно-массового распределения полимерных молекул кремниевой кислоты в геотермальных водных растворах // Пат. № 2330280 РФ. 2008. Бюл. № 21.
10. Хабаров В.Б., Львов А.И., Хабаров М.В., Бусев С.А., Буряк А.К. Метрологические характеристики рефрактометрического детектора с лазерным модулем при анализе методом ВЭЖХ органических и неорганических соединений: тезисы докладов VI Всероссийского симпозиума и школы-конференции молодых учёных «Кинетика и динамика обменных процессов, роль separation science в экологии» (Краснодарский край, 29 октября-6 ноября, 2017 г.). – Сочи, 2017. – С. 248-251.

РАТАН-600: РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИЕМНИКИ ВЫСОКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

*Цыбулёв П. Г., к.т.н., старший научный сотрудник Лаборатории радиометров континуума, САО РАН
Нижельский Н.А., к.ф.м.н., зав. Лабораторией радиометров континуума САО РАН, <http://www.sao.ru/>
Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, Зеленчукский район
Карачаево-Черкесская республика, Россия 369167
Телефон: +7(87878) 46315
E-mail: admsao@sao.ru*

RATAN-600: HIGH SENSITIVE RADIOASTRONOMY RECEIVERS

Tsybulev P.G., Nizhel'skij N.A.

Annotation

The possibility of building the radiometers with the maximum (theoretical) sensitivity (the total power radiometer) is discussed. A long time the radioastronomers used another variant of the receiver – modulation radiometer R. Dicke, which have a 2 times worse sensitivity than one for the total power radiometer. There are new results obtained in this field at the RATAN-600 are presented.

Keywords

Instrumentation, detectors.

Аннотация

Обсуждается возможность построения радиометров с предельной (теоретической) чувствительностью — радиометров полной мощности. Долгое время радиоастрономы применяли другой вариант приемника — модуляционный радиометр Р. Дике, который имеет теоретическую чувствительность в 2 раза хуже, чем идеальный радиометр полной мощности. Представлены новые результаты РАТАН-600 в этой области.

Ключевые слова

Аппаратура, детекторы.

Прием слабого радиоизлучения объектов дальней Вселенной представляет собой важную задачу современной радиоастрономии. Одним из основных методов приема в радиоастрономии является детектирование средней мощности в заданной полосе частот, что осуществляется с помощью СВЧ радиометров. Еще в 1946 году в работе [1] Р. Дике показал, что прямой метод измерения средней мощности (с помощью радиометра полной мощности, РПМ) ухудшает расчетную чувствительность приемника вследствие избыточных низкочастотных флуктуаций, имеющих спектр вида $1/f$. Эти флуктуации Р. Дике назвал в своей работе обобщенным термином – «флуктуации усиления» («gain variation noise»), и предложил дифференциальный метод приема, когда мощность радиоизлучения неба сравнивается с некоторой эталонной мощностью, периодически подаваемой на вход радиометра с помощью переключателя на его входе («Dicke switch»). Так появился модуляционный радиометр Дике, и ее разновидности, например — радиометр с добавлением шума и др. Однако, теоретическая чувствительность при модуляционном приеме в 2 раза хуже, чем для идеального радиометра полной мощности. Радиоастрономы применяют модуляционный прием и до сегодняшнего дня, поскольку он устраняет избыточный НЧ-шум вида $1/f$ и дает хорошие результаты наблюдений.

Радиометристы периодически возвращались к вопросу возможности построения радиометра полной мощности, поскольку это связано с «бесплатным» улучшением чувствительности в 2 раза. С этой целью исследовались низкочастотные флуктуации на выходе радиометров, однако результат оставался неудовлетворительным, подъем в спектре этих флуктуаций начинался на частотах от 100 Гц до (в лучших случаях) 1 Герц, и все равно требовался модуляционный прием.

Целью данного исследования является попытка построить РПМ учитывая современное состояние развития микроэлектроники и СВЧ техники. Такой радиометр имеет простейшую из всех схем, и состоит из маломощного усилительного тракта с коэффициентом усиления $10^6 - 10^7$, полосно-пропускающего фильтра и квадратичного детектора с НЧ-фильтром для получения на выходе выпрямленного напряжения, пропорционального средней мощности принимаемого СВЧ излучения.

Необходимо отметить важную деталь: в то время, как в модуляционном приеме выпрямленный детектором сигнал измеряется на переменном токе, в РПМ измерения должны проводиться на постоянном токе. Поэтому, такие измерения нужно проводить крайне аккуратно, обеспечив минимальный вклад шума $1/f$ в самой измерительной системе радиометра, то есть во всей его НЧ-части. Отметим, что при модуляционном приеме так задача измерений не ставится, поскольку эффективно подавляются все составляющие флуктуаций вида $1/f$ не зависимо от того, возникли они в СВЧ части радиометра, или в его НЧ-части, после квадратичного детектора.

Таким образом, первое, с чего мы начали – с разработки измерительной системы, не вносящей в измеряемый сигнал постоянного тока шума вида $1/f$. В начале 2000-х годов такая возможность появилась, благодаря новым бездрейфовым операционным усилителям, построенным по схеме автокоррекции нуля («auto-zero») с предельно низкими собственными шумами и достаточно широкой полосой частот. Используя в НЧ части радиометра только эти усилители,

мы разработали измерительную систему [2] без собственного «дрейфа нуля». Это позволило вновь обратиться к изучению избыточных шумов современного радиометра с учетом того обстоятельства, что измерительная система свободна от них.

Исследования шумов мы начали на радиометрах диапазонов 2.7, 3.9 и 6.5 см, построенных на неохлаждаемых усилителях с предельно низкими собственными шумами производства НПФ «Микран», г. Томск. Результат оказался значительно лучше, чем было известно по всем отечественным и зарубежным публикациям, Рис. 1. Видно, что подъем в

спектре на нижней кривой незначительный, и даже на временах порядка 100 секунд (частота 0.01 Гц на графике) шум РПМ все равно остается меньше, чем шум модуляционного радиометра. Результат был представлен нами в работе [3].

Радиотелескоп РАТАН-600 проводит наблюдения в пассажном режиме, когда радиоисточник проходит через неподвижную диаграмму направленности за счет вращения Земли. Характерные времена прохождения (меняются от дины волны) составляют от 2-х до 10 секунд времени. Это

Рисунок 1 – Спектральные плотности мощности шума одного и того же радиометра в одно и то же время в 2-х разных режимах работы: модуляционном (верхняя кривая) и в режиме радиометра полной мощности, (нижняя кривая).

соответствует участку спектра на Рис. 1 от 1 до 0.1 Гц, где, как видно, практически реализуется расчетная чувствительность РПМ,

спектральная плотность мощности мало отличается от прямой линии, соответствующей теоретическому уровню только «белой» компоненты шума (если среднеквадратичное отклонение (СКО) шумов РПМ меньше СКО модуляционного радиометра в 2 раза, то спектры мощности, отражающие квадрат СКО, отличаются в 4 раза). Это дает возможность проводить наблюдения на РАТАН-600 с помощью радиометров полной мощности на всех рабочих диапазонах, от 1 до 30 см. В настоящее время все радиометры переведены нами в режим РПМ, что дает выигрыш по чувствительности практически в 2 раза. Отметим, что такой выигрыш можно получить, например, расширением рабочей полосы радиометра в 4 раза, либо – дорогим способом – глубоким охлаждением радиометра.

Некоторый остаточный подъем в спектре РПМ является предметом нашего дальнейшего изучения. Уже сейчас нам известно (результат пока не опубликован, идут исследования), что избыточные флуктуации шума, приведенные на нижней кривой Рис.1, связаны с малыми аддитивными флуктуациями постоянного тока в измерительной системе. На больших масштабах времени, от 500 секунд и длиннее, присутствуют дрейфы коэффициента усиления радиометра, связанные с изменениями температуры окружающей среды, поэтому их можно назвать не случайными, а детерминированными, со спектром, близким к $1/f^2$. Эти дрейфы усиления устраняются калибровками радиометра.

Радионаблюдения слабых космических объектов требуют высокой чувствительности и долговременной стабильности и надежности радиометров. Все эти параметры нами постоянно улучшаются. Например, резкое снижение $1/f$ шума, полученное нами, связано с применением современных малозумящих СВЧ усилителей, и нашим усилием по снижению этого шума в измерительной системе. Это привело к стабильности измерений в течение наблюдательного сеанса и к повышению чувствительности. Применение высокостабильных генераторов шума дает долговременную стабильность наблюдений, особенно в задачах, где исследуются изменения радиояркости объектов неба и требуется построение кривых блеска на длительных временных интервалах.

На долговременную стабильность и надежность влияет и само конструктивное исполнение радиометра. Ранее, в начале 2000-х годов на РАТАН-600 была введена в работу радиометрическая система, состоящая из 16-ти радиометров диапазона 30 ГГц (с полосами 5 ГГц). Система была построена на основе радиометрических модулей, когда весь радиометр (усилители, фильтр, детектор) помещен в миниатюрный корпус. Положительный опыт, полученный при работе с такими радиометрами, а также прорыв в области чувствительности неохлаждаемых радиометров привел нас к идее продолжить и развить направление модульной конструкции. Так появился радиометр диапазона 4.4-5.0 ГГц, разработанный для РАТАН-600 в НПФ «Микран» по нашему техническому заданию (Рис. 2, представляется здесь впервые). Он состоит их малошумящего усилителя с коэффициентом шума 0.4 дБ и усилением 24 дБ и двух усилителей мощности с суммарным усилением 48 дБ, за которыми установлен полосно-пропускающий фильтр. Радиометры, построенные на основе данных радиометрических модулей, уже введены в работу на радиотелескопе и участвуют в круглосуточных наблюдениях.

Рисунок 2 – Радиометрический модуль диапазона 4.4-5.0 ГГц.

На РАТАН-600 стандартный сеанс наблюдения длится от 2-х до 6-ти

минут, в начале и в конце сеанса производится калибровка усиления радиометров с помощью стабильных генераторов шумовой мощности. Пример наблюдательного сеанса на радиометре полной мощности диапазона 4.4-5.0 ГГц приведен на Рис. 3 (а). С помощью

калибровочного сигнала с (эквивалентной шумовой температурой) 7.14 Кельвин выходной сигнал радиометра прокалиброван в единицах шумовой температуры. Видно, что температура системы антенна + радиометр на основе нового радиометрического модуля, составляет 46.7 К. На Рис. 3 (b) показан пример предварительной обработки записи, приведенной на Рис. 3(a). Приведенный на рисунке теоретический расчет чувствительности полностью совпадает с оценкой величины шума, произведенной по наблюдению.

Рисунок 3 – Пример сеанса наблюдения точечного радиоисточника (а) и его предварительной обработки(б).

Выводы

Современная элементная база СВЧ и НЧ компонентов радиометра позволяет применять схему радиометра полной мощности вместо модуляционной. На масштабах времени 10 секунд и менее такой радиометр уже демонстрирует чувствительность «идеального» РПМ. Напомним, ранее достигался расчетный уровень шума на характерных временах порядка 0.1 секунды и менее. Новые исследования показали, что чувствительность современного неохлаждаемого РПМ остается выше, чем у модуляционного радиометра на временах до 100 секунд.

Остаточный подъем в спектре шумов требует дальнейшего изучения и, если возможно, устранения, для реализации длительного накопления сигнала на радиотелескопах следящего типа с целью увеличения отношения сигнал/шум. Для РАТАН-600 в пассажном режиме наблюдений достигнутый прогресс в реализации РПМ позволил уже сейчас проводить наблюдения в этом режиме.

С целью выяснения источников $1/f$ шума в радиометрах требуются исследования такого шума в охлаждаемом радиометре, в радиометре с преобразованием частоты. Отдельно требуется исследование избыточного шума, возникающего в низкочастотной цепи тока на выходе квадратичного детектора. Особенное внимание следует уделить источникам термо-ЭДС во всей цепи постоянного тока от детектора до аналого-цифрового преобразователя.

Благодарности

Авторы благодарны за поддержку исследований $1/f$ шумов радиометра и разработки радиометрического модуля грантом программы ОФН-17 «Межзвездная и межгалактическая среда: активные и протяженные объекты» 2015-2017, тема 16.13 – «Исследование переменного радиоизлучения активных звезд Млечного пути в многочастотных наблюдениях». Работы по лабораторным испытаниям радиомодуля и вводу в работу радиометра выполнены при поддержке гранта РНФ 14.50.00043 от 30 декабря 2014 г.

Литература

1. Dicke, R. H. The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies Review of Scientific Instruments, 1946, 17, pp 268-275.
2. Цыбулев, П. Г. Система Сбора Данных и Управления нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме на радиотелескопе РАТАН-600: разработка, наблюдения, измерения. *Астрофизический бюллетень*, 2011, 66(1), стр. 118-133.
3. Цыбулев, П. Г.; Дугин, М. В.; Берлин, А. Б.; Нижельский, Н. А.; Кратов, Д. В. & Удовицкий, Р. Ю. Шум вида $1/f$ в радиометре полной мощности. *Астрофизический бюллетень*, 2014, 69(2), стр. 256-262.

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ ЭФФЕКТА КЕРРА НА ОСНОВЕ МОДУЛИРУЮЩЕЙ ЯЧЕЙКИ ФАРАДЕЯ

Чирков В.В.¹, младший научный сотрудник лаборатории радиационной химии и радиобиологии,
Гумаров Г.Г.¹, старший научный сотрудник лаборатории радиационной химии и радиобиологии,
Коновалов Д.А.¹, начальник отдела информационной безопасности, телекоммуникационных и сетевых технологий,
Петухов В.Ю.¹, ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной химии и радиобиологии,
Матухин В.Л.², заведующий кафедрой «Физика».

1 - КФТИ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, <http://www.kfti.knc.ru>,
 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7, тел. (843) 272-05-03, e-mail: chirkov672@gmail.com
 2 - ФГБОУ ВО «КГЭУ», <https://kgeu.ru>, 420066, г.Казань, ул.Красносельская, д.51, тел. (843) 519-42-02

COMPENSATION METHOD FOR DETECTING THE KERR EFFECT BY MODULATING FARADAY CELL

Chirkov V.V.¹, Gumarov G.G.¹, Kononov D.A.¹, Petukhov V.Yu.¹, Matuhin V.L.²

Annotation

For the possibility of measuring the Kerr effect in angular units on a scanning magnetopolarimetric instrument was used a compensation method for detecting the Kerr effect by modulating the Faraday cell. To increase the signal-to-noise ratio, a software synchronous detector with frequency and noise filtering was developed.

Keywords

Magnetic anisotropy, magneto-optical Kerr effect, Faraday cell, software synchronous detector.

Аннотация

Для возможности измерения эффекта Керра в угловых единицах на сканирующем магнитополяриметрическом комплексе был использован компенсационный способ регистрации на основе модулирующей ячейки Фарадея. Для увеличения отношения сигнал/шум был реализован программный синхронный детектор с частотной и шумовой фильтрацией.

Ключевые слова

Магнитная анизотропия, магнитооптический эффект Керра, ячейка Фарадея, программный синхронный детектор.

Введение

Одним из известных эффектов, применяемых для изучения тонких магнитных пленок, является меридиональный эффект Керра, а именно зависимость угла поворота плоскости поляризации от напряженности магнитного поля. Ранее, для регистрации этой зависимости был разработан и создан сканирующий магнитополяриметрический комплекс (СМПК) (Рисунок 1) [1,2]. Работа этого прибора основана на регистрации изменений поляризационных параметров линейно поляризованного света, отражённого от поверхности ферромагнетика [3]. С помощью такого комплекса становится возможным установить характер квазистатического перемагничивания и зарегистрировать большинство магнитных характеристик тонких магнитных пленок, в том числе локальных.

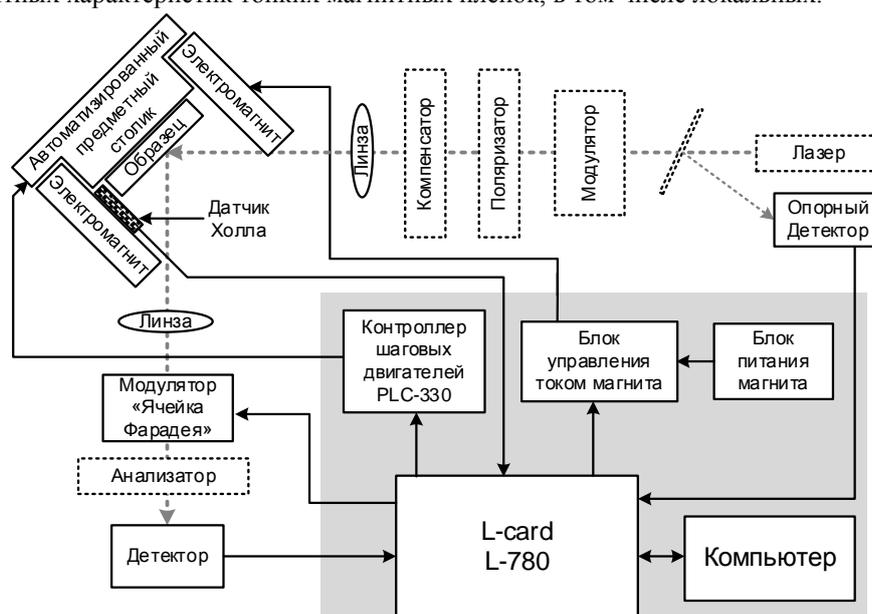


Рисунок 1 – Блок-схема СМПК

Постановка задачи

Ранее с использованием СМПК были исследованы магнитооптические свойства тонких пленок силицидов железа, полученных методом ионно-лучевого синтеза (ИЛС) [4]. При этом было обнаружено изменение направления вращения плоскости поляризации света при регистрации меридионального эффекта Керра в ионно-синтезированных пленках силицида железа. Наблюдаемый эффект был объяснен формированием поглощающей интерференционной пленки на поверхности ферромагнитного слоя. Однако созданный СМПК не позволял измерять величину поворота плоскости поляризации непосредственно в угловых единицах и, в частности, напрямую регистрировать изменение знака эффекта Керра. В связи с этим магнитополяриметрический комплекс был модернизирован с целью проведения прямых измерений угла поворота плоскости поляризации.

Описание конструктивных и программных решений

Для решения этой задачи был использован компенсационный способ регистрации на основе модулирующей ячейки Фарадея [5]. Конструктивно такая ячейка состоит из активного оптического элемента (феррит-гранат), помещенного в соленоид. Магнитное поле внутри соленоида в первом приближении прямо пропорционально току через его обмотку. В свою очередь угол вращения плоскости поляризации прямо пропорционален величине магнитного поля. Работая в режиме азимутальной модуляции, анализатор и поляризатор были установлены в скрещенных положениях, тем самым обеспечивая лучшее отношение сигнал/шум. Постоянный ток, подаваемый на ячейку Фарадея для компенсации поворота плоскости поляризации на образце, служил выходным сигналом. Использование калибровочной зависимости угла поворота от тока для ячейки Фарадея дает возможность измерения МО-эффекта в угловых единицах (Рисунок 2).

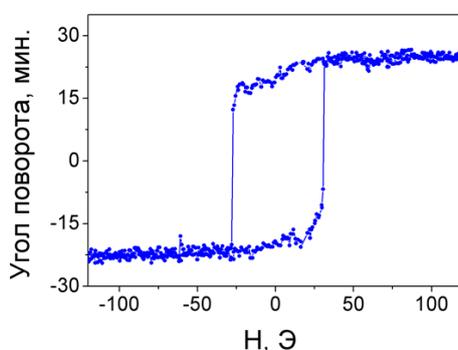


Рисунок 2 – Пример кривой намагничивания тонкой пленки ионно-синтезированного силицида железа, полученной после модернизации СМПК.

Для увеличения отношения сигнал/шум при измерениях СМПК было использовано синхронное детектирование сигнала. При этом особенностью стало использование программного синхронного детектора (СД), что значительно упрощает схему СМПК и расширяет возможности при обработке сигнала [6]. опорным сигналом служил сигнал модуляции на ячейке Фарадея, задаваемый ЦАП L-CARD, а детектируемым - сигнал с фотодиода. Оцифрованный с помощью АЦП L-CARD сигнал с фотодиода детектировался программным синхронным детектором в среде LabVIEW (Рисунок 3). Функции синхронного детектирования были реализованы путем умножения нормированного детектируемого сигнала на опорный. Усреднение сигнала на выходе СД позволяет судить о том, насколько скомпенсирован поворот плоскости поляризации на образце. Использование программного СД также позволило проводить частотную и шумовую фильтрацию сигнала до и после синхронного детектора с помощью возможностей LabVIEW.

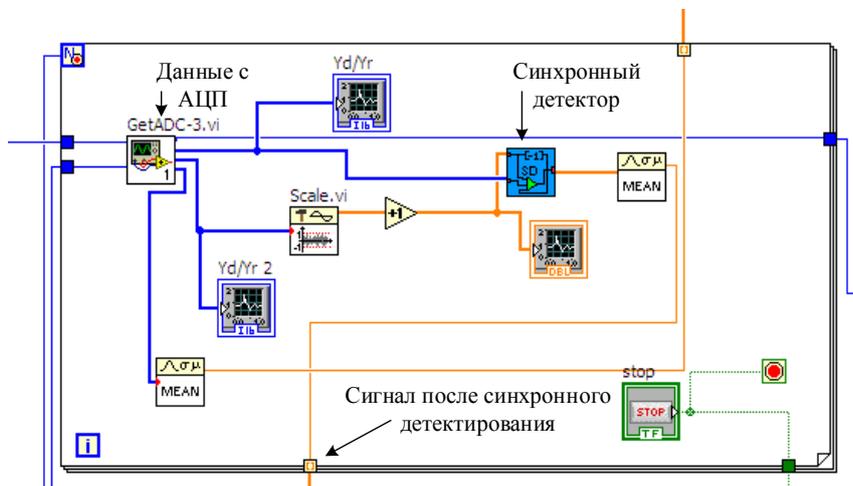


Рисунок 3 – Часть блок-диаграммы в среде LabVIEW, отвечающая за синхронное детектирование.

Заключение

Таким образом, использование компенсации на модулирующей ячейке Фарадея позволило измерять углы поворота плоскости поляризации в угловых единицах и увеличить отношение сигнал/шум за счет:

- 1) работы в режиме азимутальной модуляции, в которой поляризатор с анализатором установлены в скрещенном положении;
- 2) использования программного синхронного детектирования с частотной и шумовой фильтрацией возможностями LabVIEW.

Список литературы

1. Автоматизированный комплекс для исследования магнитных характеристик ферромагнитных материалов / Д. А. Коновалов, Г. Г. Гумаров, В. Ю. Петухов, В. И. Нуждин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 5–6. – С. 122–129.
2. Программное обеспечение автоматизированного комплекса для исследования магнитных характеристик ферромагнитных материалов / Д. А. Коновалов, Г. Г. Гумаров, В. Ю. Петухов и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 7–8. – С. 134–140.
3. Червинский М. М. Магнитооптические методы и средства определения магнитных характеристик материалов / М. М. Червинский, С. Ф. Глаголев, И. П. Горбунов. – Л., 1980. – 128 с.
4. Изменение знака эффекта Керра в ионно-синтезированных пленках Fe_3Si / В.В. Чирков, Г.Г. Гумаров, В.Ю. Петухов и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 6. – С. 59–62.
5. Hornauer H. A Kerr magnetometer using Faraday modulation technique / H.Hornauer, Tri Marji Atmono, K. Roll // J. Magn. Magn. Mater. – 1990. – V. 83. – P. 551–552.
6. Ечин П. А. Программно-аппаратная реализация синхронного детектирования в модуляционных радиометрах СВЧ / П. А. Ечин, Е. В. Федосеева, А. А. Молотков // Проектирование и технология электронных средств. – 2011. – № 1. – С. 30–33.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ЭПИТЕЛИО-МЕЗЕНХИМАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КЛЕТОК *IN VITRO* В ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СИГНАЛА

Шкурников М. Ю.¹, к.м.н., заведующий Отделом трансляционной онкологии, Киндеева О.В.², аспирант, Полозников А.А.³, к.х.н., заместитель генерального директора по науке, Алексеев Б.Я.³, д.м.н., заместитель генерального директора по науке. Тел. 8 (495) 150-11-22, e-mail byalekseev@mail.ru

1 – МНИОИ им. П. А. Герцена - филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, <http://www.mnioi.nmicr.ru/>, г. Москва, 2-й Боткинский пр., д.3, 125284

Тел. 8 (916) 818-83-95, e-mail: mshkurnikov@gmail.com

2 – ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)», <https://mai.ru/desktop.html>, Волоколамское шоссе, д. 4 г. Москва, А-80, ГСП-3, 125993. Тел. 8 (903) 780-68-08, e-mail ov.kindeeva@gmail.com

3 – ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, <http://nmicr.ru/> г. Москва, 2-ой Боткинский проезд, д. 3, 125284. Тел. 8 (926) 160-31-37 e-mail andrey.poloznikov@gmail.com ,

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYZING EPITHELIAL-MESENCHYMAL TRANSITION *IN VITRO* IN DYNAMIC CONDITIONS VIA DETECTION OF A FLUORESCENT SIGNAL

Shkurnikov M.U.¹, **Kindeeva O.V.**², **Poloznikov A.A.**³, **Alekseev B.Y.**³

Annotation

The developed method is applied on the specialized fluorescent device designed to record a fluorescence signal at two wavelengths and adapted for microfluidic chips. The device produces quantitative estimation of the epithelial-mesenchymal balance of tumor cells in the microfluidic chip. It can be used for the research of a new drug effect on the metastatic spread. The fluorescent device and the proposed method can be used in laboratories conducting testing and development of pharmaceutical preparations.

Keywords

Fluorescence, fluorescence microscopy, epithelial-mesenchymal transition, metastatic spread.

Аннотация

Разработанный метод базируется на применении специализированного флуоресцентного устройства, предназначенного для регистрации сигнала флуоресценции на двух длинах волн и адаптированного для использования с микрофлюидными чипами. В ходе работ спроектировано и изготовлено устройство, которое позволяет дать количественную оценку эпителиально-мезенхимального баланса опухолевых клеток в микрофлюидном чипе, а также характер воздействия нового лекарственного препарата на каскад метастазирования. Флуоресцентное устройство и предложенный метод могут применяться в лабораториях проводящих тестирование и разработку фармацевтических препаратов.

Ключевые слова

Флуоресценция, флуоресцентная микроскопия, эпителио-мезенхимальная трансформация, каскад метастазирования.

Введение

В настоящее время стремительное развитие технологий в области микрофлюидики позволило проводить исследования процесса эпителио-мезенхимальной трансформации клеток в ходе метастазирования солидных опухолей человека в динамических условиях на базе микрофлюидных чипов *in vitro*. Такие устройства имеют в конструкции клеточные ячейки для культивирования исследуемых клеточных моделей, к которым подводится по микроканалам питательная среда. Наблюдения за поведением опухолевых клеток и регистрацию образования метастазов в биочипах можно проводить с помощью оптической системы мониторинга флуоресцентного сигнала. Для того чтобы исследовать процессы трансформации клеток, в клетки встраивают белки, обладающие различными оптическими свойствами [1, 2], так называемые белковые флуоресцентные метки. Флуоресцентные белки могут конститутивно экспрессироваться в клетках и сохраняться в них при размножении. Эта важная особенность флуоресцентных белков позволяет использовать их в качестве флуоресцентных меток при исследовании эпителио-мезенхимальной трансформации клеток в динамических условиях с возможностью внесения в поток питательной среды лекарственных соединений.

Целью настоящей работы является разработка метода анализа процесса эпителио-мезенхимальной трансформации (ЭМТ) в ходе метастазирования *in vitro* в динамических условиях с помощью детектирования флуоресцентного сигнала.

Материалы и методы

Нами были получены клеточные линии, содержащие флуоресцентные репортеры: флуоресцентный белок GFP, экспрессируемый под промотором гена Е-кадгерина (CDH1/GFP), и флуоресцентный белок RFP, экспрессируемый

под промотором гена N-кадгерина (CDH2/RFP), которые позволяют изучать влияние лекарственных препаратов на процесс ЭМТ.

Оптические методы являются бесконтактными, однако их нельзя назвать неинвазивными, так как излучение, которое вызывает флуоресценцию, может оказывать влияние на клетки вследствие нагрева и повреждения структуры клеток энергией электромагнитного поля.

Кроме того, хотя квантовая эффективность флуоресценции может достигать величин 0.5-0.8, количество фотонов эмиссии, которые достигают фотоприёмника, оказывается достаточно небольшим, так как оптические системы собирают фотоны в малом телесном угле.

Поэтому необходимо разработать такое флуоресцентное устройство, которое не будет оказывать существенного влияния на исследуемые клеточные модели и процессы, протекающие в клеточных чипах, но при этом обеспечивающее уверенную регистрацию флуоресценции на двух выбранных длинах волн.

В качестве источников излучения возбуждения флуоресценции в приборе выбраны светодиоды. Светодиоды отличаются длительным сроком службы, малой инерционностью, низкой температурой и невысоким напряжением питания. Кроме того они имеют малую ширину спектра, что при совпадении максимума излучения с максимумом поглощения флуоресцентного белка, позволяет производить облучение с меньшей мощностью по сравнению с другими источниками света.

Излучение от светодиодов претерпевает спектральную перестройку с помощью оптических фильтров и, отражаясь от дихроичных зеркал, с помощью объектива формирует световое пятно на клеточной ячейке микрофлюидного чипа. Далее флуоресценция от клеток проходит через дихроичное зеркало и оптический фильтр, чтобы удалить отраженные лучи от светодиода, и регистрируется фотодетектором. На сайте производителя оптических фильтров и дихроичных зеркал Thorlabs имеются спектральные характеристики пропускания фильтров. С помощью этих данных нами была проведена оптимизация оптической схемы флуоресцентного устройства. В результате чего мы добились максимального потока флуоресценции в области фотодетектора, при минимальном уровне мощности излучения возбуждения флуоресценции.

Так как поток фотонов флуоресценции крайне мал, для его регистрации требуется использование специальных высокочувствительных устройств – фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). Система регистрации флуоресценции с ФЭУ, включенным в режиме счета фотонов, позволяет регистрировать слабые световые сигналы. В ходе теоретических исследований было получено, что от одной клетки, которая испускает фотоны эмиссии белка GFP к фотодетектору поступает поток в 668 фотонов в секунду, для эмиссии белка RFP эта величина составляет 2938 фотонов в секунду. Зная технические характеристики ФЭУ (R6094 Hamamatsu), мы можем получить расчетное значение тока ФЭУ, который приходится на сигнал флуоресценции отдельно взятой клетки: 0.3 нА для GFP, 0.4 нА для RFP. Темновой ток составляет 2 нА, а значит, во избежание значительных погрешностей, оценку количества клеток с помощью ФЭУ целесообразно проводить начиная от 200 клеток.

Чтобы иметь возможность регистрировать отдельно взятые клетки, было решено использовать наряду с ФЭУ цифровую видеокамеру GO-5101C-PGE. Благодаря тщательно подобранным оптическим фильтрам, удалось достичь уверенной регистрации эмиссии от малого количества клеток (рисунок 1).

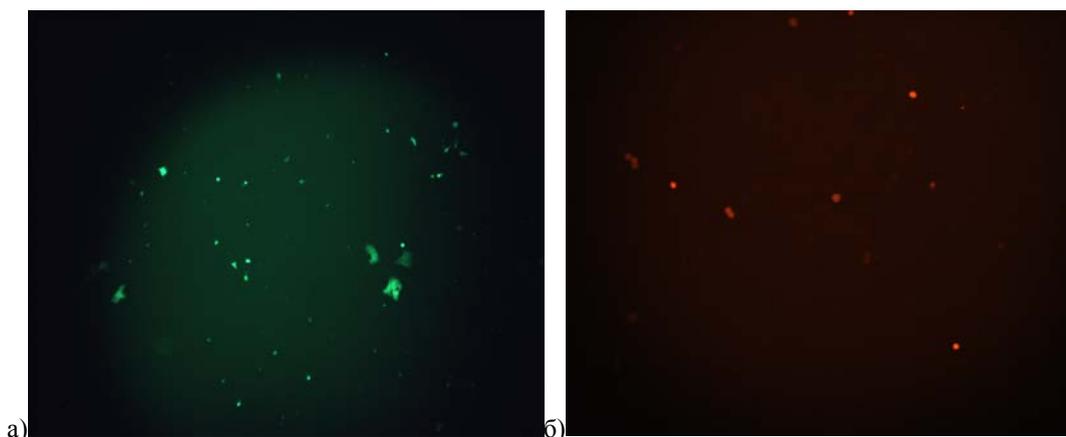


Рисунок 1 – а) Изображение клеток MDA-MB-231 в свете флуоресценции GFP; б) Изображение клеток MDA-MB-231 в свете флуоресценции RFP.

Оптические элементы двух флуоресцентных каналов расположены на трансляторе, обеспечивающем их перемещение вдоль горизонтальной оси и установку в одно из двух рабочих положений. При смене оптических каналов, неточность установки дихроичных зеркал вдоль оси трансляции не влияет на положение изображения клеток на матрице фотоприемника. Это позволяет совмещать изображения из разных каналов без дополнительной

обработки. Кроме того, в зависимости от количества клеток в исследуемой клеточной ячейке, регистрацию сигнала флуоресценции можно проводить или с помощью ФЭУ (клеток более 200), или с помощью камеры (малое количество клеток).

Результаты и выводы

Работоспособность предложенной конструкции была проверена на практике. Для этого были подготовлены суспензии клеток MDA-MB-231 (CDH1/GFP) и MDA-MB-231 (CDH2/RFP), которые культивировали в культуральных флаконах с площадью поверхности 25 см² в 5 мл среды DMEM (Gibco, США) с добавлением 10% фетальной бычьей сыворотки (HyClone, Thermo Scientific, США) и 0.1% пенициллин/стрептомицина (Gibco, США). Суспензии клеток были добавлены в лунки 96-луночного планшета в различных концентрациях. После чего планшет располагался на предметном столе флуоресцентного устройства. На каждой из длин волн регистрировалась экспрессия флуоресцентных белков. Эксперимент проводился в трёх повторениях, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – экспериментальные исследования сигнала фотодетектора

Концентрация клеток в данной лунке	Ток ФЭУ (канал GFP), мкА	Ток ФЭУ (канал RFP), мкА
5000	1.27	1.78
10000	2.6	3.5
20000	5.26	6.94
50000	13.1	17.4

В результате описанных исследований был разработан метод применения флуоресцентного устройства для анализа метастазирования в микрофлюидном чипе в динамических условиях.

Таким образом, в процессе работы был разработан флуоресцентный прибор, который позволяет проводить исследования и анализ эпителио-мезенхимальной трансформации клеток *in vitro* в динамическом режиме, не повреждая их структуру и не оказывая влияния на их жизнедеятельность. Предложенный метод позволяет дать количественную оценку эпителиально-мезенхимального баланса опухолевых клеток в микрофлюидном чипе. Кроме того, такое устройство может применяться в работе молекулярно-биологических лабораторий для решения различного рода задач.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (УИПНИ RFMEFI61316X0058).

Список литературы

1. Wiedenmann J., Oswald F., Nienhaus G.U. // *Life*. 2009. V. 61(11), P. 1029–1042. doi 10.1002/iub.256
2. Chudakov D.M., Matz M.V., Lukyanov S., Lukyanov K.A. // *Physiol Rev*. 2010. V. 90, P.1103–1163. doi 10.1152/physrev.00038.2009

**РАЗВИТИЕ И АДАПТАЦИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ АТОМНО-ЗОНДОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО В ИТЭФ ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА С ЛАЗЕРНЫМ
ИСПАРЕНИЕМ ПАЗЛ-3D**

*Шутов А. С., инженер, Лукьянчук А. А., науч. сотр., Разницын О. А., науч. сотр., Алеев А. А., науч. сотр.,
Рогожкин С.В., нач. отдела, д-р физ.-мат. наук, Никитин А. А., старший науч. сотр., канд. физ.-мат. наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики
имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 117218 Россия,
Москва, ул. Большая Черемушкинская, 25, 8 (499) 789-66-00, <http://www.itep.ru>
Адрес эл. почты: Anton.Shutov@itep.ru*

**ADAPTATION AND DEVELOPMENT OF ATOM PROBE TOMOGRAPHY DATA PROCESSING
METHODS FOR ATOM PROBE PROTOTYPE WITH LASER EVAPORATION SYSTEM APPLE-3D
DEVELOPED AT ITEP**

Shutov A.S., Lukyanchuk A.A., Raznitsyn O.A., Aleev A.A., Rogozhkin S.V., Nikitin A.A.

Annotation

In this paper, we present the main approaches to the experimental data reconstruction and processing in tomographic atom-probe analysis. Base methods of data reconstruction and their implementation are presented. General methods of statistical analysis of atom-probe data, as well as analytical software tools implemented and planned for implementation in the framework of the development of the Atom Probe Prototype with Laser Evaporation system (APPLE-3D) in ITEP, are considered.

Keywords

Atom probe tomography, data reconstruction methods, data processing methods, nanoscale material characterization.

Аннотация

В настоящей работе представлены основные подходы к восстановлению и обработке экспериментальных данных, применяемые в томографическом атомно-зондовом анализе. Представлены базовые методы восстановления данных и их реализация. Рассмотрены общие методы статистического анализа восстановленных данных, а также, реализованные и планируемые к реализации, в рамках разработки прототипа атомного зонда в ИТЭФ, аналитические программные инструменты.

Ключевые слова

Атомно-зондовая томография, методы обработки данных, методы восстановления данных, наномасштабная характеристика материалов.

Современная разработка перспективных материалов подразумевает контроль особенностей структурно-фазового состояния вплоть до нано- и даже атомных масштабов. Для обеспечения такого рода контроля необходимы адекватные методы исследования материалов. Данная задача решается путем комбинации методов ультрамикроскопии для исследования структуры (просвечивающей электронной микроскопии и др.) и химического состава (Оже-спектроскопии, вторично-ионной масс-спектрометрии, и др.). В последнее время также активно развивается методика атомно-зондовой томографии (АЗТ), претендующая на одновременный контроль структуры и химического состава на атомных масштабах. Эта методика основана на по-атомном испарении материала с последующей регистрацией испаренных частиц при помощи позиционно чувствительного детектора и времяпролетной масс-спектрометрии каждого испаренного иона. По результатам исследования строятся их объемные распределения атомов химических элементов (атомные карты). Дальнейшее подробное исследование полученных атомных карт позволяет обнаружить и охарактеризовать присутствующие в исследуемом объеме структурно-фазовые особенности материала.

Томографические атомно-зондовые исследования проводятся в ИТЭФ с середины 2000-х годов на установке ЕСОТАР (САМЕСА), использующей полевое испарение атомов образца и детектор на основе цифровой видеокамеры. С применением данной установки был проведен ряд работ по исследованию перспективных сталей и сплавов ядерной техники (см, например [1-3]). Для расширения круга решаемых задач и повышения эффективности АЗТ анализа в начале 2010-х, была поставлена задача по разработке прототип атомного зонда с лазерной системой испарения (ПАЗЛ-3D) [4]. Разработанный прибор позволил расширить область применимости метода, а также существенно увеличить объемы собираемых данных (до 100 раз). Изменение детектирующей системы и ряда других параметров установки ПАЗЛ-3D по сравнению с ЕСОТАР (САМЕСА) потребовали разработки нового программного обеспечения.

Комплекс программного обеспечения для атомно-зондовой томографии может быть условно разделен на две части: 1) модуль восстановления данных, преобразующий первичные экспериментальные данные в атомные

карты, и 2) модуль анализа данных, который позволяет использовать различные алгоритмы и методы обработки массивов данных атомных карт для анализа восстановленных атомно-зондовых данных. Для разработки первой части были использованы базовые алгоритмы [5], адаптированные для разработанной установки, что позволило существенно увеличить точность получаемых данных.

Модуль анализа данных разрабатывался на основе существующих методов анализа, широко применявшихся ранее. Для этого была проведена адаптации этих аналитических инструментов к новому исследовательскому оборудованию. Стоит отметить, что расширение возможностей исследовательской техники стала причиной возникновения потребности в модернизации существующих, а также реализации новых методов статистического анализа, позволяющих выявлять и характеризовать более сложные структурно фазовые особенности. Задача по развитию аналитических методов была разделена на два основных направления: развитие статистических алгоритмов анализа исследуемого объема, и развитие алгоритмов прямого поиска неоднородностей, таких как кластеры, преципитаты и прочее. В рамках первого направления, предлагается реализация перспективного метода статистического анализа – локальных химических плотностей [6], который способен улучшить возможности по характеристике начальных стадий зарождения предвыделений фаз в материале. Выбор в рамках второго направления был сделан в пользу разработки алгоритма проксиграмм-анализа. Данный метод позволяет анализировать химическое распределение, а именно строить концентрационные профили на границах особенностей сложной формы, для построения которой предлагается использовать метод “Marching Cubes”. Он позволяет достаточно просто сформировать группу поверхностей одинаковой концентрации – «изо-поверхностей», пример одной из которых показан на рисунке 1.

В настоящей работе представлены общие принципы оптимизации и адаптации базовых алгоритмов восстановления АЗТ данных с целью повышения точности их работы. Приведены примеры улучшения качества восстановления для ряда проведенных томографических атомно-зондовых исследований. Также, в работе показано применение расширенного набора адаптированных инструментов анализа атомно-зондовых данных на примере материалов, содержащих наномасштабные структурно-фазовые особенности. Продемонстрированы особенности применения реализованных и разрабатываемых методов анализа атомно-зондовых данных. Сделаны предложения по развитию существующих и разрабатываемых методов анализа, для достижения их максимальной эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта **РФФИ №18-38-00859**.

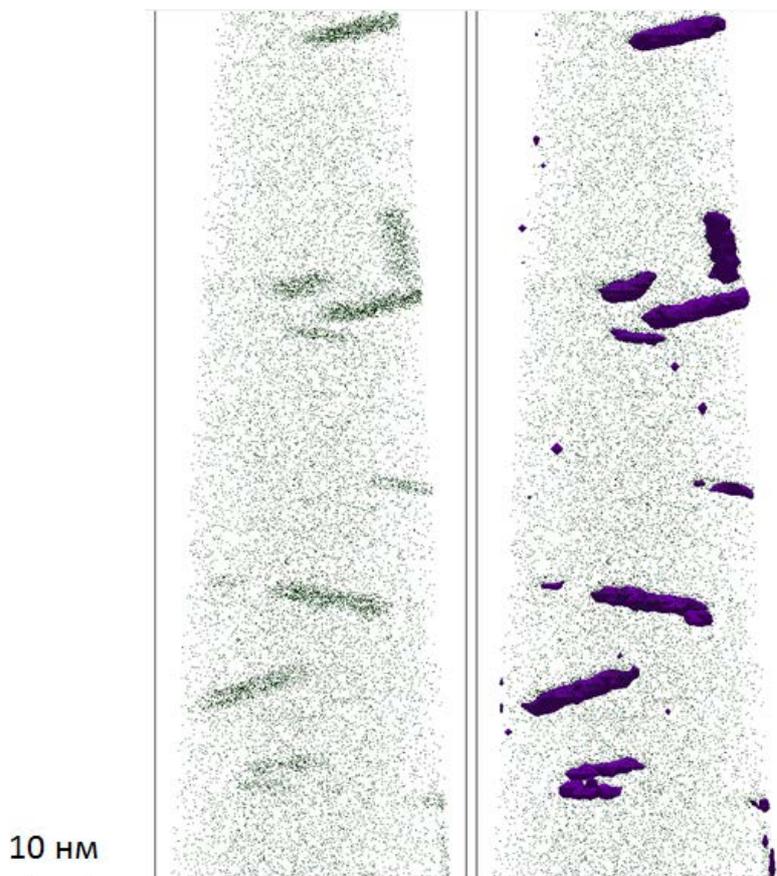


Рисунок 1 – Слева 3-D распределение атомов магния в образце сплава дюралюминия. Справа результат применения алгоритма построения изо-поверхностей к распределению магния в этом же образце: выделена изоповерхность 10% Mg

Литература

1. Kryukov A., Debarberis L., Ballesteros A., Krsjak V., Burcl R., Rogozhkin S.V., Nikitin A.A., Aleev A.A., Zaluzhnyi A.G., Grafutin V.I., Ilyukhina O., Funtikov Yu.V., Zeman A., Integrated analysis of WWER-440 RPV weld re-embrittlement after annealing *Journal of Nuclear Materials*, 2012. Т. 429, №1–3, С. 190–200
2. Aleev A.A., Iskandarov N.A., Klimenkov M., Lindau R., Möslang A., Nikitin A.A., Rogozhkin S.V., Vladimirov P., Zaluzhnyi A.G., Investigation of oxide particles in unirradiated ODS Eurofer by tomographic atom probe, *Journal of Nuclear Materials*, 2011. Т. 409, С. 65–71
3. Рогожкин С.В., Агеев В.С., Алеев А.А., Залужный А.Г., Леонтьева-Смирнова М.В., Никитин А.А., Томографическое атомно-зондовое исследование жаропрочной 12%-ной ферритно-мартенситной хромистой стали ЭК-181, *Физика металлов и металловедение*, 2009. Т. 108, № 6, С. 612-618.
4. Рогожкин С.В., Алеев А.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Разницын О.А., Кириллов С.Е., Прототип атомного зонда с лазерным испарением, *Приборы и техника эксперимента*, 2017. №3, С. 129–134.
5. Vas P., Bostel A., Deconihout B., Blavette D., A general protocol for the reconstruction of 3D atom probe data. *Appl. Surf. Sci.*, 1995. Т. 87, С. 298–304.
6. Hyde J.M., Cerezo A., Williams T.J. Statistical analysis of atom probe data: Detecting the early stages of solute clustering and/or co-segregation, *Ultramicroscopy*, 2009. Т. 109. № 5. С. 502–509.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТЕПЛООВОГО УЗЛА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ САПФИРА И РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЕГО ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Бородин А.В., д.т.н. заместитель директора по научной работе

Юдин М.В., к.ф.-м. наук, начальник Отдела технологии роста кристаллов и новых материалов, Белов Д.Ю., к.т.н., инженер-технолог, Искоростинская В.Е., инженер-технолог, Мошаров Т.А., инженер-технолог ФГУП ЭЗАН, <http://www.ezan.ac.ru/>, 142432, Московская область, Ногинский район, г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 9, тел. (495) 993-37-57 доб.572, jumv@ezan.ac.ru

THE DESIGN OF THE DIGITAL TWIN OF THE THERMAL UNIT FOR GROWING OF SHAPED SAPPHIRE CRYSTALS AND DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE EQUIPMENT AND TECHNOLOGICAL PROCESSES BASED ON ITS VIRTUAL TESTING

Borodin A.V., Yudin M.V., Belov D.Y., Iskorostinskaya V.E., Mosharov T.A.

Annotation

A digital twin of the thermal unit with induction heating has been designed and numerical simulation of the growing process was carried out, including the solution of problems of induction heating, heat transfer in solids, liquid, and gas, heat transfer by radiation, melt and gas dynamics, and thermoelasticity. The influence of argon pressure in the chamber, the design of radiation shields on the distribution of temperature and thermal stresses in the sapphire tube and ribbons were investigated. The obtained results are consistent with practically accumulated information and are applicable for the development of shaped sapphire growing technologies and equipment.

Keywords

Crystal growth, sapphire, numerical simulation.

Аннотация

В работе создан цифровой двойник теплового узла и проведено численное моделирование процесса выращивания, включающее решение задач индукционного нагрева, теплопередачи в твердом теле, жидкости и газе, радиационного теплообмена, гидродинамики расплава, газовой динамики, термоупругости. Исследовано влияние давления защитного газа в камере и конструкции радиационных экранов на распределение температуры и термических напряжений в сапфировой трубе и кристаллах плоской формы. Полученные результаты согласуются с практически накопленной информацией и применяются для развития технологий выращивания профилированных кристаллов сапфира и создания высокопроизводительного оборудования.

Ключевые слова

Рост кристаллов, сапфир, математическое моделирование.

Введение

Технология выращивания профилированных кристаллов сапфира способом Степанова, с экономической точки зрения, весьма конкурентна по сравнению с промышленно освоенным методом Киропулоса. Для широкого промышленного внедрения оборудования и технологии выращивания профилированных кристаллов сапфира необходимо повышение производительности процесса и качества кристаллов. Сегодня развитие и оптимизацию промышленных технологических процессов невозможно представить без применения их глобальных численных моделей. Непрерывная связь между реальным процессом и его виртуальной моделью, их совместный анализ и уточнение обеспечивают непрерывное совершенствование технологии.

Постановка задачи

Выраженная осевая симметрия цилиндрической камеры установки, индуктора и основных элементов теплового позволяет использовать двумерную осесимметричную модель. На рис. 1 представлен тепловой узел индукционного нагрева для выращивания профилированных кристаллов сапфира, его геометрическая модель и разбиение расчетной области на сетку конечных элементов.

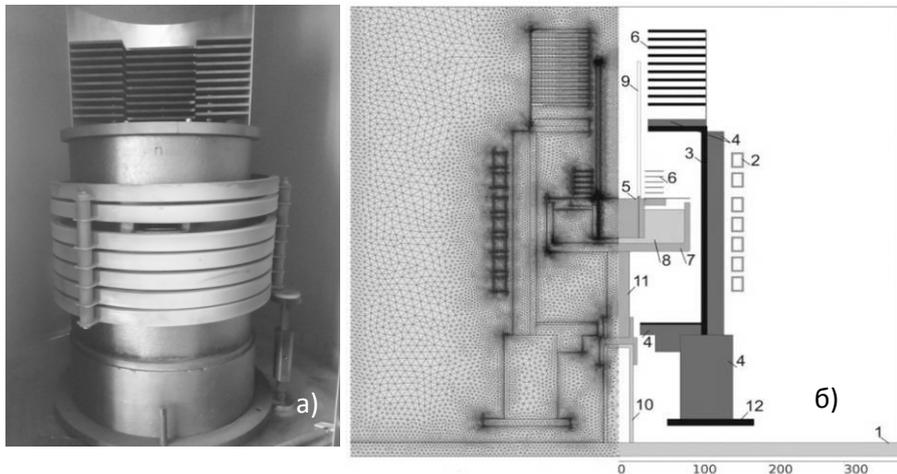


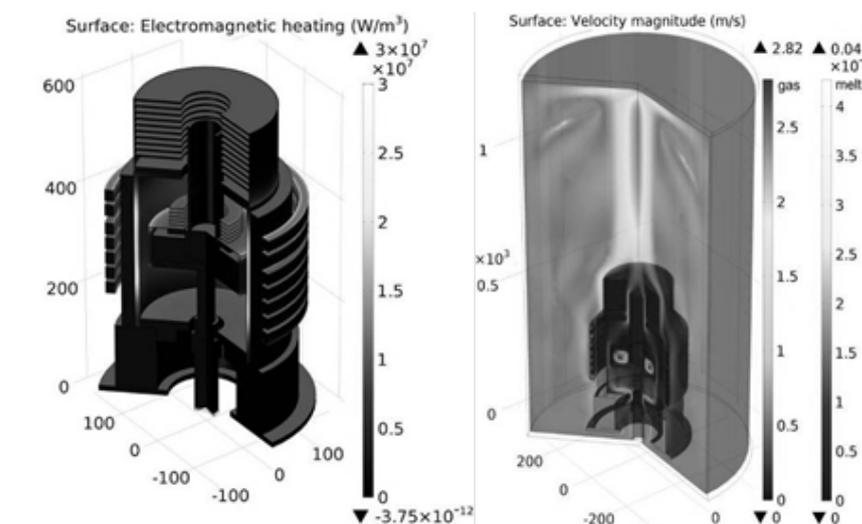
Рисунок 1 – Тепловой узел индукционного нагрева (а) и разбиение расчетной области на сетку конечных элементов (б). 1- водоохлаждаемая камера, 2- индуктор, 3- концентратор индукционных токов, 4 – теплоизоляция, 5 – формообразующее устройство, 6 – тепловые экраны, 7 – тигель, 8 – расплав сапфира, 9 – выращиваемый кристалл, 10 – нижний шток ростовой камеры, 11 – опора тигля.

Расчетная область ограничена лишь внутренней поверхностью стенки камеры, непосредственно контактирующей с охлаждающей водой. Также задаются реальные регулируемые параметры - мощность и частота индукционного нагрева. Исходной задачей является определение напряженности электромагнитного поля, создаваемого индуктором, омических потерь и тепловыделения элементов теплового узла. На втором этапе совместно решаются задачи теплопереноса, гидродинамики в расплаве и газовой динамики в рабочей камере ростовой установки, находится распределение температуры, поля скоростей в жидкой и газовой фазе, положение и форма межфазной границы [1-3]. На третьем этапе рассчитывается поле температурных напряжений в кристалле.

Результаты исследования

Начальным результатом вычислений является поле напряженности магнитного поля и удельная мощность тепловыделения на элементах теплового узла, рис. 2 (а). Отметим, что максимальная объемная мощность выделяется внутри нагревателя, однако также наблюдается достаточно высокое тепловыделение в стенках тигля и в крае радиационного экрана расплава. Максимальная температура достигается на нагревателе в области дна тигля и составляет 2234°C . Расчет распределения скоростей течения расплава и газовой фазы (аргона) показаны на рис. 2 (б).

Рисунок 2 – Удельная мощность тепловыделения на элементах теплового узла – (а) и скорости потока газа и расплава – (б)



а)

б)

Проведено исследование влияния практически корректируемых параметров на распределение температуры (рис. 3) и, главное, термических напряжений в сапфировой трубе (рис. 4) и кристаллах плоской формы. Проблема известна - трещины в кристаллах возникающие в процессе роста. На основе математического моделирования изучено влияние различных конфигураций радиационных экранов на поле напряжений в кристалле. На основе анализа гидродинамического течения расплава в тигле (рис. 5) разработана конструкция гидроэкранов, которые значительно снижают вероятность попадания газовых пузырей в капиллярные каналы формообразующего устройства. Практика показывает, что удачное сочетание указанных методов позволяет добиться выращивания кристаллов высокого качества.

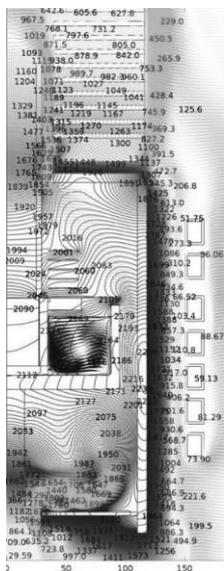


Рисунок 3 – Поля температур, скоростей течения расплава и газа в тепловом узле

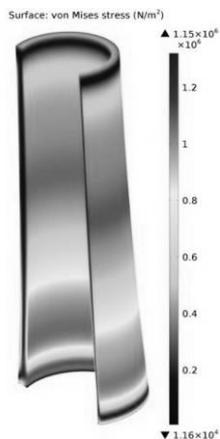


Рисунок 4 – Распределение термических напряжений в сапфировой трубе

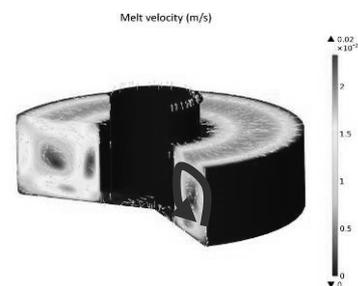
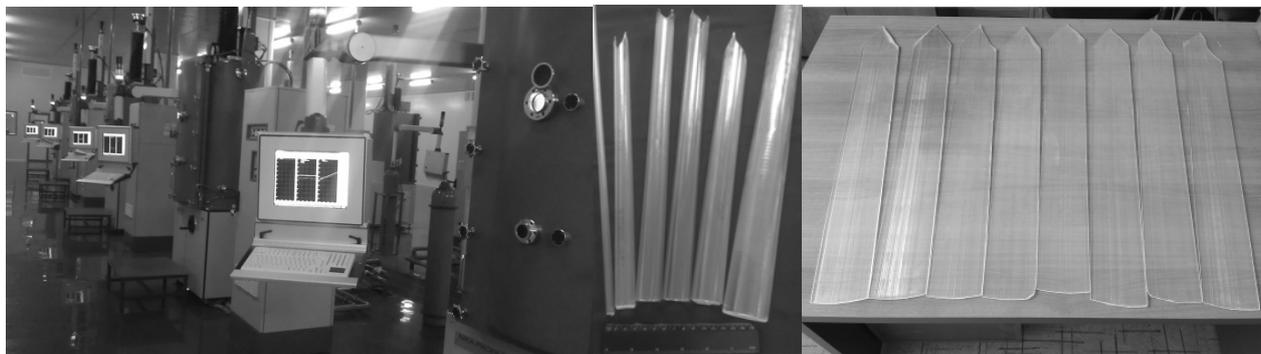


Рисунок 5 – Скорости и направления потока расплава в тигле

На основе полученных результатов теоретических и экспериментальных исследований удалось добиться большого эффекта - повысить производительность технологического процесса выращивания крупногабаритных кристаллов сапфира в форме труб и пластин на установке Ника-Профиль, (рис. 6.)



а)

б)

в)

Рисунок 6 – Установка Ника-Профиль (а) и образцы выращенных кристаллов (б, в)

Заключение

Создан цифровой двойник теплового узла для выращивания профилированных кристаллов сапфира, что позволяет проводить различные расчетные эксперименты. Полученные результаты согласуются с практически накопленной информацией и применяются для развития технологий выращивания профилированных кристаллов сапфира и создания высокопроизводительного оборудования.

Список литературы

1. M.F. Modest. Radiative Heat Transfer, 2nd ed., Academic Press, San Diego, California, 2003.
2. R. Sieger, J. Howell. Thermal Radiation Heat Transfer, 4th ed., Taylor & Francis, New York, 2002.
3. Добровинская Е. Р., Литвинов Л.А., Пищик В.В. Энциклопедия сапфира / Харьков. Изд-во Институт монокристаллов, 2004.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Юрасов Ю.И.^{1,2}, канд.тех.наук, докторант, и.о.зам. председателя по науке, yurasp@ya.ru

Назаренко А.В.¹, канд.физ.-мат.наук, научный сотрудник, nazarav@ssc-ras.ru

*1 – Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН, сайт: ssc-ras.ru
Ростов-на-Дону, пр. Чехова 41, 344006, Россия*

*2 – Научно-исследовательский институт физики ЮФУ, сайт: ip.sfedu.ru
Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194, 344090, Россия*

AUTOMATION OF THE PROCESSES OF INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF THE PIEZOMATERIALS BY THE ANALYTIC AND MEASURING EQUIPMENT

Yurasov Yu.I.^{1,2}, Nazarenko A.V.¹

Annotation

In view of the constant discoveries in the world of science, materials and technology, there is an urgent need to create means of helping people, such as automating the experiment, processing the data obtained, performing automated calculations and developing methods for predicting the properties of materials.

The paper describes the main stages of developing software for conducting research of materials in automatic mode using analytical and measuring equipment for studying the properties of materials in wide intervals of external influences.

Keywords

Software and hardware systems, lead-free piezoceramics, ferroelectrics.

Аннотация

В виду постоянных открытий в мире науки, материалов и техники, существует острая необходимость в создании средств помощи человеку, такие как автоматизация проведения эксперимента, обработка полученных данных, проведения автоматизированных расчетов и разработка методов прогнозирования свойств материалов.

В работе описаны основные этапы разработки программного обеспечения для проведения исследований материалов в автоматическом режиме с использованием аналитического и измерительного оборудования для изучения свойств материалов в широких интервалах внешних воздействий.

Ключевые слова

Программно-аппаратные комплексы, бессвинцовая пьезокерамика, сегнетоэлектрики.

В условиях постоянного роста открытий в мире науки, материалов и техники существует острая необходимость в создании средств помощи человеку для проведения эксперимента и автоматизированных расчетов, обработки полученных данных и разработки методов прогнозирования свойств материалов [1].

При использовании аппаратных средств и приборов измерения исследователи получают информацию, которая нуждается в обработке и фильтрации, для более производительной работы в минимальные сроки. Это необходимо для более быстрого получения результатов исследования при проведении экспериментов. Вследствие чего научно-исследовательским организациям необходимо соответствующее обновляемое программное обеспечение, выполняющее поставленные функции, актуальные для решения конкретных задач.

В современных исследовательских центрах существуют различного рода приборы с широкими возможностями или устройства, разрабатываемые в единичных экземплярах в научно-исследовательских целях с перспективой внедрения их в исследовательские процессы или использовании их в реальном секторе экономики. Например, существуют приборы, так называемые RLC – метры, различных производителей для исследования свойств материалов или электронных компонентов с множеством возможностей: измерение емкости C , F ; индуктивности L , G ; Проводимости G , S и др. параметров основанных на них, которые могут измеряться в широких интервалах частот f , Hz (от 0 до 10^7 Hz) с различными величинами измерительного поля U , V (от 0 до 10 V), при всем этом если добавить к этим приборам различные термо-, барокамеры с возможностью передачи измеренных данных на компьютер, можно создавать программно-аппаратные комплексы для возможности автоматизации процессов исследований. В настоящее время практически все научные приборы и устройства имеют интерфейсы для работы с персональными компьютерами (RS-232, RS-485, USB и т.д.), но не все имеют программное обеспечение или неподходящее для проведения нужных исследований. Формирование на основе нескольких групп приборов позволяет создавать автоматические программно-аппаратные комплексы для научных исследований.

В связи с вышеизложенным для использования всех ресурсов приборов представляется актуальным разработка программного обеспечения для формирования новых задач в проведении исследований и получении с помощью них новых открытий.

Целью работы является разработка программно-аппаратных комплексов для исследования свойств пьезокерамик нового поколения и в частности экологически чистых не содержащих свинец [1]. Для этого была

поставлена задача, создать алгоритмы обработки данных и удобный интерфейс, в котором научный сотрудник легко будет ориентироваться, находить необходимую информацию в виде графиков и таблиц, с последующим сохранением данных экспериментов. Использование актуального программного продукта повысит производительность, скорость, а также качество проводимых экспериментов.

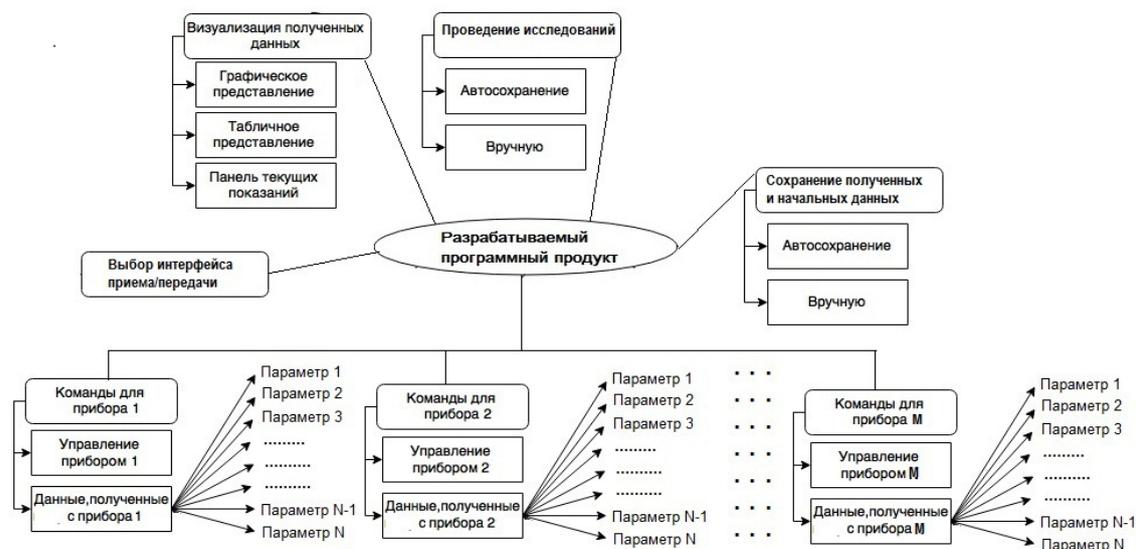


Рисунок 1 – Графическая схема основных объектов в разрабатываемом программном продукте для проведения научных исследований.

На рисунке 1 представлена графическая схема основных объектов в разрабатываемом программном продукте для проведения научных исследований, на которой отмечены группы элементов необходимые для полноценного проведения исследований на M приборах с N параметрами. Так, например исследования должны происходить от одного параметра при различных параметрах одного или нескольких приборов одновременно. Алгоритм разрабатываемого программного продукта должен быть такой, чтобы учесть все временные задержки при переключении из одного параметра в другой зафиксировав все выходные данные.



Рисунок 2 – Автоматический измерительный стенд электрофизических параметров сегнето-пъезоматериалов, позволяющий проводить измерения в диапазоне частот от 25 Гц до 10^6 Гц [2]

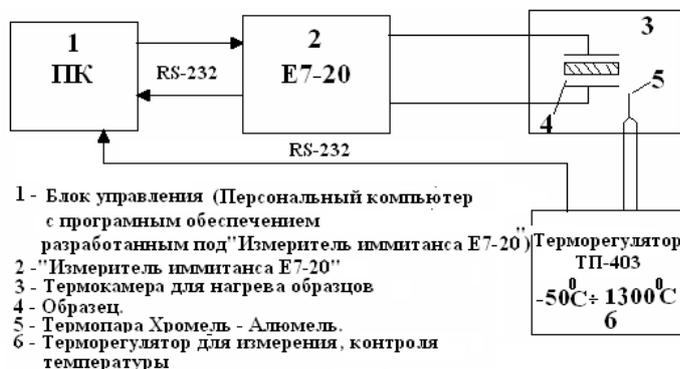


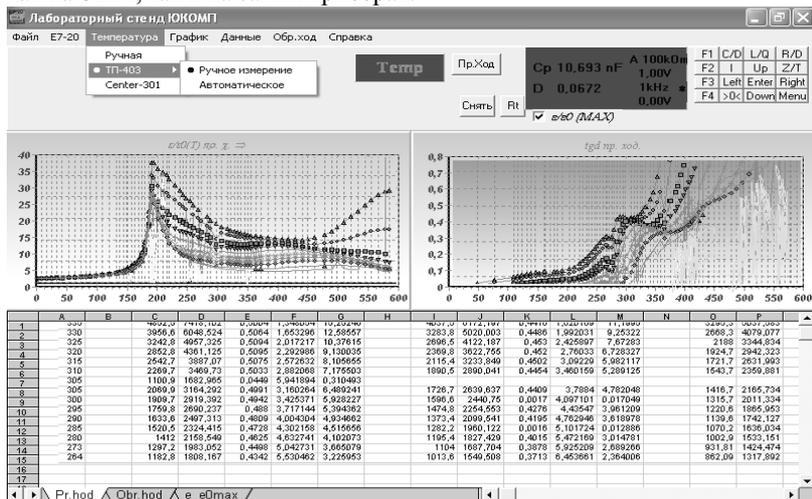
Рисунок 3 – Структурная схема автоматического измерительного стенда электрофизических параметров сегнето-пъезоматериалов [2]

Как пример программного продукта для исследования образцов пьезоматериалов на базе «Измеритель иммитанса E7-20», которые позволяют проводить измерения на частотах от 25 Гц до 1 МГц. «Автоматический измерительный стенд электрофизических параметров сегнето-пъезоматериалов» и комплекс программ для измерения ϵ/ϵ_0 , $\text{tg}\delta$ и обработки результатов.

В ходе выполнения работы были разработаны программные продукты, а именно разработаны алгоритмы согласования работы приборов «Измерителя иммитанса E7-20» и терморегулятора ТП-403 с персональным компьютером (ПК). На рис. 2 представлена фотография измерительного стенда, включающего (4) ПК, (2) терморегулятор ТП-403 для измерения и контроля температуры, (1) прибор «Измеритель иммитанса E7-20», (3) термокамера для нагрева образцов (см. рис. 3).

Метод измерения заключается в последовательном переключении фиксированной частоты (напряжения) измерительного или смещающего поля на приборе при определенной температуре с помощью персонального компьютера (ПК). На структурной схеме измерительного стенда (рис. 3), виден принцип его работы.

Сопряжение приборов с ЭВМ осуществлено при помощи интерфейса RS-232 (COM - порт), которые присутствует как на ЭВМ, так и на самих приборах.



При установке нужной температуры на терморегуляторе ТП-403 производится переключение частоты с помощью программы «Лабораторный стенд ЮКОМП 2.0» на (1) (рис 2.5.), данные с (1) передаются в (2), где и происходит изменение частоты измерительного поля, производится автоматическое измерение; данные с прибора (2) заносятся в (1). Этот цикл повторяется неоднократно до нужной температуры. Одновременно строятся зависимости ϵ/ϵ_0 и $\text{tg}\delta$ от температуры ($T, ^\circ\text{C}$) на разных частотах ($f, \text{кГц}$), что позволяет непосредственно наблюдать за ходом измерения и выявлять целесообразность последующих измерений (на более высоких температурах после ФП).

Программа позволяет проводить измерения прямого и обратного температурных ходов и построение соответствующих зависимостей $\epsilon/\epsilon_0(T)_f$ и $\text{tg}\delta(T)_f$ (рис.4.) для визуализации

Рисунок 4 – Программа измерений. «Расчет диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в заданном интервале температур и частот (Лабораторный стенд ЮКОМП 3.0)» [2]

проводимого измерения, что позволяет следить за правильностью проведения исследований.

По результатам работы было получено ряд свидетельств на регистрацию программ на ЭВМ, патентов на полезную модель и разработаны и зарегистрированы методики проведения эксперимента ГСССД [2-8], а программно-аппаратные комплексы внедрены в научно-исследовательские [1] и учебный процессы.

Результаты получены в рамках выполнения гранта РФФИ № 17-08-01724. Госзадания ЮНЦ РАН № 01201354240 и Минобрнауки РФ, проекты № 3.6371.2017/8.9, 3.6439.2017/8.9, с использованием оборудования ЦКП «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики ЮФУ и ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

Литература

1. Юрасов Ю.И., Назаренко А.В., Павленко А.В., Вербенко И.А. Прогнозирование свойств бесвинцовых пьезокерамик и модификация конструкции вибродатчиков на основе свинецсодержащих композиций. // Наука Юга России. 2017. Т.13. №4. С. 23-31.
2. Юрасов, Ю. И. Автоматический измерительный стенд электрофизических параметров сегнето- пьезоматериалов в широком интервале температур и частот. // Патент на полезную модель. Регистрационный номер 66552 от 10.09.2007. Решение о выдаче патента от 21.05.2007. По заявке 2007102548 от 23.01.2007.
3. Юрасов, Ю. И., Кравченко О. Ю. Расчет диэлектрической проницаемости и тангенса диэлектрических потерь в заданном интервале температур и частот (Лабораторный стенд ЮКОМП 3.0) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006611527. Зарегистрировано 6 мая 2006г.
4. Павлеко А.В., Юрасов Ю.И. Автоматический стенд для измерения диэлектрических параметров пьезоэлектрических материалов. // Патент на полезную модель №119894, зарегистрирован 27.08.2012 в Государственном реестре полезных моделей РФ; по заявке №2012124140 от 08.06.12 г.
5. Павлеко, А.В., Юрасов Ю.И. Расчет диэлектрических параметров при инфранизких частотах переменного электрического тока различных пьезокерамических материалов с помощью LCR-метра Hioki 3522-50 (ЮКОМП 6.0.0.5) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012616775.- Зарегистрировано 27 июля 2012г.
6. Юрасов Ю.И., Блажко Р.С., Павленко А.В., Вербенко И.А. Программа для проведения исследований сегнетопьезоматериалов в широком интервале температур при использовании прибора «Измеритель RLC E7-21» и терморегулятора Варта ТП403 // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015619892.- Зарегистрировано 16 сентября 2015г.
7. Юрасов Ю.И., Задорожный Я.А., Павленко А.В., Вербенко И.А.. Программа для проведения исследований датчиков детонации на автомобиле ВАЗ 11183 (Калина с ЭБУ BOSCH M7.9.7) с использованием осциллографа OWON PDS5022S //Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2015660047.- Зарегистрировано 21.09.2015г.
8. Резниченко Л.А., Андриюшин К.П., Андриюшина И.Н., Вербенко И.А., Кубрин С.П., Павелко А.А., Павленко А.В., Юрасов Ю.И Методика ГСССД МЭ 184-2011. Методика экспериментального определения комплексной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, температуры Кюри диэлектрических материалов в широком диапазоне температур (10÷1000) К, частот (10-3÷15·106) Гц электрического измерительного поля // Рос. н.-техн. центр информатизации, метрологии и оценке соответствия. М. 2011. Деп. в ФГУП «Стандартинформ». 03.05.2011. № 876а-2011 к.к. УДК 621.315.612.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПУХОЛЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТРАСТНЫХ АГЕНТОВ В НИЗКОПОЛЕВОМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОМ ТОМОГРАФЕ «ТМР-0.06-КФТИ»

Зяляютдинова Л.Н.¹, д.м.н., профессор кафедры фармакологии

Фаттахов Я.В.², к.ф.-м.н., в.н.с. лаборатории методов медицинской физики, Фазлиахметова Д.А.³, врач

Баязитов А.А.², м.н.с. лаборатории методов медицинской физики

Крылатых Н.А.², ведущий инженер лаборатории методов медицинской физики

Иманаева А.Я.⁴, к.м.н., уполномоченное лицо по фармаконадзору, Петрова А.А.⁵ – врач – лаборант

1 – Казанский ГМУ, www.kgtu/knc.ru, 420012 Республика Татарстан, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49

тел. +79872968600, zalyalyu@gmail.com

2 – КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, kfti.knc.ru, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31

3 - РККВД, tatkvd.ru, 420094 Республика Татарстан, г. Казань, ул. Короленко, д.54

4 – АО «Татхимфармпрепараты», tatpharm.ru, 420091 Республика Татарстан, г. Казань, ул. Беломорская, д.260

5 – ГАУЗ МКДЦ, www.icdc.ru, 420101 Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карбышева, д. 12А, корпус А.

VISUALIZATION OF LABORATORY ANIMAL'S TUMORS WITH CONTRAST AGENTS IN LOW-FIELD MRI SYSTEM "TMR-0.06-KFTI"

Zalyalyutdinova L.N.¹, Fattakhov Ya.V.², Fazliakhmetova D.A.³, Bayazitov A.A.²,

Krylatykh N.A.², Imanaeva A.Ya.⁴, Petrova A.A.⁵

Annotation

New safety issues of currently existing MRI contrasting agents dictate search of new contrasting preparations, namely among those devoid of gadolinium. The study of the diagnostic capabilities of Russian low-field magnetic resonance imaging system "TMR-0.06-KFTI" with use of gadobutrol and officially approved parenteral iron-containing medication drug has revealed the prospect of the latter for the solution this problem.

Keywords

Low-field MRI tomograph, magnetic resonance contrasting agents, gadolinium, iron, sarcoma 45

Аннотация

Новые риски по безопасности существующих сегодня магнитно-резонансных контрастных средств обуславливают необходимость поиска новых, в частности, не содержащих гадолиний, контрастирующих агентов. Изучение диагностических возможностей отечественного низкополевого магнитно-резонансного томографа с применением гадобутрола и парентерального железосодержащего лекарственного препарата выявило перспективность последнего для решения данной задачи.

Ключевые слова

Низкополевого магнитно-резонансный томограф, магнитно-резонансные контрастные средства, гадолиний, железо, саркома 45.

Введение

МРТ-диагностика является высокоинформативным методом визуализации патологических процессов, в частности, опухолей. Использование контрастных веществ позволяет усилить диагностические возможности метода, а именно его чувствительность и точность, а также дифференцировать опухоль от перифокального отека, выявлять поражение мозговых оболочек и оценивать состояние гематоэнцефалического барьера. Наиболее широко в качестве контраста применяются препараты гадолиния, проблемам безопасности которого в последние годы уделяется пристальное внимание регуляторных органов, в частности, Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) с 2015 года и Комитета по фармаконадзору Европейского агентства лекарственных средств (EMA PRAC) с 2016 года. EMA PRAC ограничил применение четырех линейных препаратов гадолиния: гадопентетовой кислоты (кроме внутрисуставного введения), гадодиамида, гадобеновой кислоты (кроме диагностики рака печени) и гадоверсетамида. Установлено, что гадолиний высвобождается из линейных соединений легче, чем из макроциклических, что объясняет большее отложение гадолиния в головном мозге при их применении [1]. FDA же не проводит такого разграничения, подтверждая в своем последнем сообщении, опубликованном в декабре 2017 года, наличие у препаратов гадолиния новой групповой нежелательной реакции в виде отложения гадолиния в головном мозге и некоторых других органах через месяцы и годы после проведения томографии. FDA отметило необходимость проведения дальнейших доклинических и клинических исследований безопасности данной группы препаратов [2]. Эти обстоятельства диктуют необходимость поиска новых безопасных магнитно-резонансных контрастных средств.

Цель исследования

Целью исследования явилась оценка диагностических возможностей отечественного низкополевого магнитно-резонансного томографа «ТМР-0.06-КФТИ» в рамках исследования особенностей визуализации с применением стандартных и новых потенциальных магнитно-резонансных контрастов. В качестве стандартного контраста

использовали макроциклическое парамагнитное контрастное средство для МРТ – гадобутрол (Гадовист®, Германия), в качестве потенциального – парентеральный железосодержащий лекарственный препарат.

Материалы и методики

Исследование выполнено на белых нелинейных крысах с перевитой подкожно саркомой 45. Трансплантацию опухоли проводили в стерильных условиях, перевивали по 1млн. опухолевых клеток. МРТ-исследование на магнитно-резонансном томографе, изготовленном в КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН «ТМР-0.06-КФТИ». Исследование животных проводили через 2 недели после трансплантации опухолей в двух режимах: по T_1 (TE = 34 мс, TR = 300 мс) и по T_2 (TE = 80 мс, TR = 1000 мс), а также в динамике на разных сроках наблюдения после внутрибрюшинного введения Гадовиста® и железосодержащего препарата. Для обездвиживания животные подвергались наркотизации посредством уретанового наркоза.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования показали, что при использовании режима T_1 (TE=34 мс, TR=300 мс) через 20-25 минут после внутрибрюшинного введения контраста визуализируется периферическая часть опухоли, через 40 минут визуализируется вся опухоль, а максимальная визуализация ее наблюдается через 1 час и начинает снижаться через 70 минут. Исследование по T_2 (TE=80 мс, TR=1000 мс) через 36 минут после введения Гадовиста® позволяет диагностировать опухоль и наблюдать частичное контрастирование головного мозга, через 55-60 минут наблюдается контрастирование опухоли и головного мозга, через 70-75 до 120 минут помимо контрастирования опухоли и головного мозга, определяется спинной мозг экспериментального животного. Через 3-4 часа после введения контраста визуализация по T_2 сохраняется, тогда как по T_1 (TE=34 мс, TR= 300 мс) значительно ухудшается. В контроле (без введения контраста) ткань опухоли не отличается от остальных тканей в режиме T_1 (TE=34 мс, TR= 300мс), но лучше визуализируется по T_2 (TE=80 мс, TR=1000 мс). Один из изученных нами железосодержащих препаратов позволяет контрастировать опухоль у экспериментальных животных через час после парентерального введения в режиме T_1 (TE=34 мс, TR= 300 мс) в низкополевым магнитно-резонансном томографе «ТМР-0.06-КФТИ» и при этом не проникает в головной мозг.

Заключение

Таким образом, нами показано, что широко применяемые противоанемические лекарственные средства могут представлять интерес как потенциальные МРТ-контрасты и для их поиска возможно использование низкополевых магнитно-резонансных томографов в исследованных режимах. В свете того, что долгое время считалось, что неповрежденный гематоэнцефалический барьер препятствует проникновению гадолиниевых контрастных веществ во внеклеточную тканевую жидкость и к клеткам центральной нервной системы, полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего углубленного изучения данного феномена.

Список литературы

1. EMA's final opinion confirms restrictions on use of linear gadolinium agents in body scans // European medicines agency.2017.URL:http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Referrals_document/gadolinium_contrast_agents_31/Opinion_provided_by_Committee_for_Medicinal_Products_for_Human_Use/WC500231824.pdf (дата обращения: 28.03.2018).
2. Gadolinium-based Contrast Agents (GBCAs): Drug Safety Communication - Retained in Body; New Class Warnings // U.S. Food and Drug Administration. 2017. URL: <https://www.fda.gov/Safety/MedWatch/SafetyInformation/SafetyAlertsforHumanMedicalProducts/ucm589580.htm> (дата обращения: 28.03.2018).

ОБЛАЧНАЯ БАЗА ДАННЫХ ХРАНЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Хабипов Р.Ш., научный сотрудник лаборатории ММФ

*420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7, Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского
ФИЦ КазНЦ РАН, <http://www.kfti.knc.ru/>, тел. +7(917)2945515, email: myster@mail.ru*

CLOUD BASED DATABASE STORAGE OF MEDICAL IMAGES

Khabipov R.Sh.

Annotation

The article presents information about cloud computing technologies, their advantages in relation to other technologies of data processing and storing. The paper describes perspectives of using cloud computing in medicine. It is shown how clouds is being used worldwide. Different types and structures of cloud solutions is described. Reasons of developing of our own cloud solution is provided. The article presents our project of cloud based storing and processing of medical images for MRI system «ТМР-КФТИ».

Keywords

Cloud computing, MRI, medicine, data bases, medical image computing, medical diagnosis

Аннотация

В работе представлена информация об облачных технологиях, об их преимуществах в сравнении с другими технологиями обработки и хранения данных, о перспективе использования облачных технологий в медицине. Показаны примеры использования облачных технологий в мировой практике. Описаны различные типы и виды облачных решений. Раскрыты причины необходимости создания собственного облачного решения, и описан проект разработанной облачной базы данных хранения медицинских изображений для томографа «ТМР-КФТИ».

Ключевые слова

Облачные технологии, магнитно-резонансная томография, томографические изображения, медицина, базы данных, обработка медицинских изображений, диагностика заболеваний

Введение

В настоящее время широкое распространение получают облачные технологии (cloud computing) во всех сферах, в том числе и в медицине [1]. По сути, «облако» - это набор информационных сервисов. Его особенность в том, что от пользователя скрыта техническая реализация, он просто получает надежную услугу, вместо сложного программно-аппаратного комплекса, требующего настройки и обслуживания. При этом минимизируются затраты как пользователя, поскольку ему не нужно заботиться о лишних аппаратных задачах, так и поставщика услуги, т.к. облако имеет гибкую инфраструктуру и широкие возможности по масштабированию и обеспечению отказоустойчивости.

Наиболее эффективным решением хранения и предоставления доступа к данным на сегодняшний день являются облачные технологии [2-7]. Они достаточно надежны, универсальны, масштабируемы и при этом сбалансированы, т.е. не требуют лишних затрат на обслуживание.

Виды облачной инфраструктуры

В зависимости от того, какие услуги предоставляются, облака бывают следующих видов. Самое простое - это облачное хранилище данных. Пользователю предоставляется лишь место для хранения файловой информации. Такой вид сервиса удобно использовать для синхронизации данных и быстрого доступа к данным из любой точки сети. Для использования облачного хранилища нет необходимости использовать специальное клиентское программное обеспечение, нужна лишь интернет-ссылка на хранилище.

Другой вид облачного сервиса – предоставление услуги доступа к программам, запущенным в облаке. Обычно клиентский доступ осуществляется через интернет-браузер либо специальные клиентские программы. Это наиболее распространенный вид облаков. Облачный сервис может обслуживать множество клиентов одновременно. Хранение и обработка информации выполняется в основном в облаке, ресурсы локального компьютера пользователя при этом задействованы минимально.

Еще один вид облачного сервиса - предоставление полного доступа к облаку, как к виртуальному компьютеру. Пользователь может установить в облаке операционную систему, все необходимые программы и пользоваться облаком как удаленным компьютером.

Существуют и другие виды облачных сервисов.

Различные облачные решения в области медицины

Во всем мире признана необходимость перехода на облачные технологии в областях, использующих большие объемы данных для хранения. Прежде всего, это касается медицины. Американская ассоциация Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) предписала медицинским учреждениям переводить данные из локальных хранилищ в облачные сервисы.

Ожидается значительный рост индустрии облачных технологий в медицине. Крупнейшие компании, занимающиеся медицинским оборудованием, запустили свои сервисы, основанные на облачных технологиях. Сервисы совместимы со стандартом DICOM и позволяет хранить медицинские данные пользователей. Это гибкое, безопасное и эффективное решение для медицинских учреждений, имеющих необходимость хранить большие объемы медицинских данных [9-12].

В России разрабатываются централизованные облачные хранилища медицинской информации. Существуют государственные планы переноса баз данных госструктур, в том числе и Минздрава, в единое облачное хранилище, но это пока только проект [13]. В настоящее время медицинские учреждения, стремящиеся перенести данные пациентов в облако, вынуждены использовать решения западных компаний [8, 14] либо коммерческие решения частных компаний [15, 16].

Необходимость применения собственных решений

В настоящее время существует множество провайдеров облачных сервисов. Также многие хостинг-провайдеры начали предоставлять облачные услуги. Подобные облачные решения называются публичным облаком. Преимущество такого решения в том, что всю настройку оборудования, поддержку и обслуживание осуществляет поставщик облака. Недостатком является проблема безопасности. Все процессы, происходящие на сервере, скрыты от клиента, и пользователь не имеет полного контроля над своими данными. Неизвестно, кто еще, кроме клиента, имеет доступ к данным, что приводит к потенциальной опасности утечки информации. Также по Российскому законодательству персональные данные сейчас не должны храниться на территории других государств, что приводит к сложностям использования американских и европейских решений для хранения и обработки данных пациентов медицинских учреждений.

Альтернативой публичного облака является частное облако, т.е. облако, созданное и обслуживаемое в самих организациях, разрабатывающих программное обеспечение, и имеющее закрытый или ограниченный доступ для посторонних пользователей. При этом все затраты по установке и настройке облака ложатся на саму организацию. Преимуществом является то, что организация получает полный контроль над данными и информация хранится на территории России.

База медицинских изображений томографа «ТМР-КФТИ»

Производители медицинского оборудования зачастую предлагают собственные облачные решения для работы со своим оборудованием. Но данные решения не универсальны. Они созданы под конкретную аппаратуру и их сложно переконфигурировать. И, как уже было сказано, публичные облака создают потенциальные проблемы утечки информации, т.к. нет полного контроля над данными.

В настоящее время разработано облачное решение для томографов, созданных в Казанском физико-техническом институте ФИЦ КазНЦ РАН [17] DICOME.RU. Это частное облако, с предоставлением доступа через интернет-браузер. В проект решения заложена универсальность, т.е. возможность работы не только с нашим томографом, но и другим медицинским оборудованием, поддерживающим стандарт DICOM 3.0. Основной целью разработки является возможность сохранения и обработки медицинских изображений в облаке. Это позволяет проводить удаленную диагностику, совместное обследование, централизацию всех данных, возможный доступ пациентов к своим диагнозам. Диагностические данные, полученные на томографе, будут автоматически отправляться в облако, что даст возможность врачу иметь к ним оперативный доступ, где бы он ни находился. Для доступа к данным достаточно будет иметь любое устройство с установленным веб-браузером и имеющее выход в интернет: компьютер, планшетник, смартфон. Облачное решение планируется сделать универсальным, с возможностью сохранения и обработки любых диагностических данных пациента, не только томографических.

Наша система позволяет загружать медицинские данные в хранилище как вручную, так и автоматически, посредством разработанного агента синхронизации. Реализована как поддержка медицинских изображений формата DICOM, так и возможность загружать изображения в стандартных форматах jpeg, gif, bmp.

Литература

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.forbes.com/sites/centurylink/2013/05/02/why-healthcare-must-embrace-cloud-computing/>
2. <http://www.cnews.ru/reviews/free/publichealth2011/articles/articles20.shtml>
3. <http://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-vychisleniya-v-meditsine>
4. <http://medexim.ua/blog/cloud-it.html>
5. [\http://jre.cplire.ru/koi/feb13/11/text.html
6. <http://www.teramedica.com/news/industry-news/emrs/cloud-computing-offers-a-way-to-keep-data-secure>
7. <http://www.precisionit.com.au/solutions/medical-it-solutions/medical-cloud-computing>
8. <https://usa.healthcare.siemens.com/medical-imaging-it/image-sharing-archiving/private-cloud-hcc>
9. <http://www.carecloud.com/ehr/>

10. http://blogs.hds.com/hdstv/2010/10/klinikum-wels-grieskirchen.html?WT.ac=ru_cal2_cldmed
11. <http://www.itpro.co.uk/627952/what-is-cloud-computing>
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
13. <https://russian.rt.com/russia/article/395398-dannye-gosorganov-oblako-perenos>
14. <https://www.dellemc.com/en-us/industry/healthcare-it.htm>
15. <https://cloud4y.ru/about/news/futuristicheskaya-oblalnaya-medsina/>
16. <http://www.kometa-med.ru/products/kometa-cloud/>
17. <http://dicome.ru/>

РАЗРАБОТКА АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ КЛАССИЧЕСКИХ И КВАНТОВЫХ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Латыпов И.З.¹, к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики

Шкаликов А.В.¹, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики

Воронов В.И.², д.т.н., профессор

Турайханов Д.А.¹, младший научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики

Акатьев Д.О.¹, младший научный сотрудник лаборатории нелинейной оптики

Калачев А.А.¹, д.ф.-м.н., руководитель

1 – КФТИ им. Е.К. Завойского, ФИЦ КазНЦ РАН, <http://kfti.knc.ru/>, 420029, Казань, e-mail bibidey@mail.ru

2 – КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, <http://kai.ru/>, 420015, Казань

DEVELOPING FREE-SPACE OPTICAL COMMUNICATION CHANNELS ON THE BASE OF CLASSICAL AND QUANTUM PROTOCOLS OF INFORMATION TRANSFER

Latypov I.Z.¹, Shkalikov A.V.¹, Voronov V.I.², Turaikhanov D.A.¹, Akat'ev D.O.¹, Kalachev A.A.¹

Annotation

Free-space optical (FSO) communication channels based on collimated laser radiation are used both for laying Internet networks and for implementing secret communication channels based on quantum key distribution protocols.

This work presents the developed receiving and transmitting devices that allow the network to be implemented on the basis of the fast-ethernet protocol with a rate of up to 1 Gb/s over the free space at a distance of up to 250 m. These prototypes form the basis for the serial production of devices alternative to hanging fiber communication lines.

Together with the ITMO University, a transceiver system has been developed to implement a quantum key distribution protocol in the free space. This system solves the problem of the "last" mile when building a quantum fiber network. The development has a maximum range of up to 200 meters and a beam tracking system.

Keywords

FSO, transceiver, quantum key distribution.

Аннотация

Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) на основе коллимированного лазерного излучения используются как для прокладки интернет сетей, так и для реализации секретных каналов связи на основе квантовых протоколов распределения ключей.

В настоящей работе представлены разработанные приемно-передающие устройства, которые позволяют реализовать сеть на основе протокола fast-ethernet со скоростью до 1 Гб/с по открытому пространству на расстоянии до 250 м. Данные опытные образцы являются основой для серийного производства устройств, альтернативных навесным волоконным линиям связи.

Совместно с университетом ИТМО разработана приемно-передающая система для реализации протокола квантового распределения ключа в открытом пространстве. Данная система решает проблему "последней" мили при построении квантовой волоконной сети. Разработка имеет максимальную дальность работы до 200 метров и систему автоподстройки по направлению.

Ключевые слова

АОЛС, приемно-передающая система, квантовое распределение ключей.

Введение

Free Space Optics (FSO) - это технология, которая использует лазерные лучи для передачи данных IP протокола, видео или голосовой связи на расстояниях от 50 м до одного километра с пропускной способностью от 155 Мбит до 1.25 Гбит, на частотах выше 700 THz и на длине волны 1550 нм. Использование беспроводных сетей FSO устраняет необходимость в лицензировании, так как оно не использует радиочастотные сигналы, а также исключает дорогостоящие расходы на прокладку оптоволоконного кабеля связи. Концепция передачи данных через FSO такая же, как и в оптоволоконной технологии, но только через другую среду (атмосферу).

Разработка приемно-передающих устройств для классических коммуникаций

Совместно с ООО «Атмосферные коммуникации» (г. Казань) разработаны устройства, позволяющие создать стабильный канал связи через атмосферу со скоростью передачи данных, идентичной скорости в оптоволоконной сети. Данный канал связи обладает гибкостью, практичностью и ориентирован для строительства беспроводных сетей, со скоростью доступа к данным от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с. FSO располагается над землей, как правило, на крышах зданий. На ослабление оптического сигнала (лазерного луча) сказывается: турбулентность воздуха, водяного пара, тумана, дождя и снега и т.д.

Разработанные устройства проходили долговременные тесты (более 12 месяцев) на действующих интернет сетях провайдеров, в различных климатических условиях и на различных строениях (рис. 1). В устройства внедрены

такие механизмы как: климат-контроль над электронной начинкой оборудования, подогрев фронтального оптического окна, защита от бросков напряжения по энергоснабжению (грозовые разряды) и пр.



Рисунок 1 – Испытания лазерной линии связи в советском районе г. Казани (ул. Файзи, ул. Бигичева, ул. Туганлык)

Разработка приемо-передающих устройств для квантовых коммуникаций

Осуществлена разработка телескопических приемо-передающих устройств для системы квантовой коммуникации по лазерному каналу связи в рамках проекта «Создание новых технологических компонентов систем управления географически распределенными ЦОДами, включая виртуализацию ресурсов (памяти, линий связи, вычислительной мощности, инженерной инфраструктуры) с использованием квантовых технологий для защиты линий связи», осуществляемого на базе АО «СМАРТС». Разработанные приемо-передатчики (рис. 2) включают оригинальную систему автоподстройки по направлению и позволяют подключать источники неклассических состояний света для реализации протоколов квантовой связи.

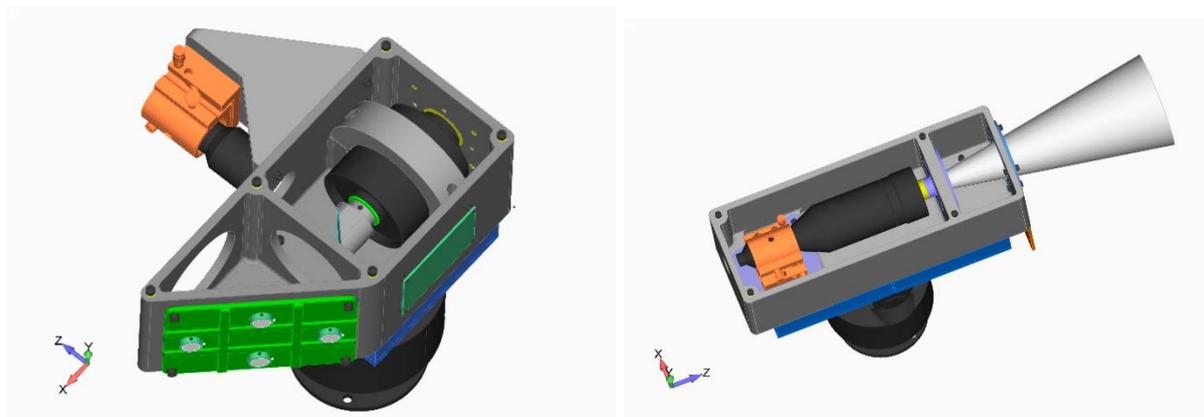


Рисунок 2 – Проект приемо-передающих устройств для реализации атмосферного канала связи квантовых коммуникаций

СКВАЖИННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТОВОГО ФЛЮИДА

Коновалов Д.А.^{1,2}, к.ф.-м.н., начальник отдела информационной безопасности телекоммуникационных и сетевых технологий

Фаттахов Я.В.², к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории Методов медицинской физики

Фахрутдинов А.Р.², к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории Методов медицинской физики

Шагалов В.А.², научный сотрудник лаборатории Методов медицинской физики

Хабипов Р.Ш.², научный сотрудник лаборатории Методов медицинской физики

Аникин А.Н.², инженер-исследователь лаборатории Методов медицинской физики

1 - ФИЦ КазНЦ РАН, <http://knc.ru>, 420111, г. Казань, ул. Лобачевского, д.2/31, тел. (843)292-75-97, dak@kfti.knc.ru

2- КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, <http://www.kfti.knc.ru>, 420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7, тел.(843)292-57-50

DOWNHOLE TOOL FOR MEASURING THE DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF RESERVOIR FLUID

Konovalev D.A., Fattakhov Ya.V., Fakhrutdinov A.R., Shagalov V.A., Khabipov R.Sh., Anikin A.N.

Annotation

The device is designed for measuring the dielectric characteristics of a reservoir fluid in a borehole laboratory to determine the reservoir filtration and reservoir properties and formation fluid properties. The measurement process consists in measuring the amplitude and phase characteristics of RF oscillations passing through two measuring capacitor cells filled with the fluid under study.

Keywords

Dielectric constant, capacitive sensor, cylindrical capacitor, capacitance measurement, moisture meter.

Аннотация

Представлен прибор, предназначенный для измерения диэлектрических характеристик пластового флюида. Прибор может работать как самостоятельно, так и в составе скважинной лаборатории для определения фильтрационно-емкостных свойств пласта и свойств пластового флюида. Процесс измерения заключается в регистрации амплитудных и фазовых характеристик ВЧ колебаний, проходящих через две измерительные конденсаторные ячейки, заполненные исследуемым флюидом.

Ключевые слова

Диэлектрическая проницаемость, емкостной датчик, цилиндрический конденсатор, измерение емкости, влагомер, диэлькометр.

Введение

Изучение пластовых флюидов непосредственно в скважине имеет существенное значение при подготовке любого проекта добычи углеводородов. Этим объясняется актуальность создания аппаратуры, дающей достоверные сведения о свойствах пластовых флюидов при прохождении скважины.

Технические характеристики

Разработанный в лаборатории Методов медицинской физики скважинный прибор предназначен для измерения диэлектрических характеристик пластового флюида в скважинной лаборатории для определения фильтрационно-емкостных свойств пласта и свойств пластового флюида. Процесс измерения заключается в регистрации амплитудных и фазовых характеристик ВЧ колебаний, проходящих через две измерительные конденсаторные ячейки, заполненные исследуемым флюидом. Блок-схема прибора представлена на рисунке 1.

Прибор состоит из двух измерительных ячеек, усилителя мощности, контроллера, детектирующего модуля, блока связи на основе протокола RS-485 и блока питания. Работа прибора состоит в формировании ВЧ радиосигнала (с помощью синтезатора частот) в диапазоне от 1 до 100 МГц, усилении его и подачи на две измерительные ячейки, заполненные исследуемым флюидом. Сигналы с ячеек подаются на два измерителя и далее сигналы пропорциональные отношению амплитуд и разности фаз, подводимых к ячейкам и прошедших через них колебаний, через мультиплексор поступают на АЦП. Оцифрованные значения отношений амплитуд и разности фаз поступают в микроконтроллер для предварительной обработки. Микроконтроллер также управляет выбором рабочих частот прибора. Связь с внешними устройствами осуществляется с помощью модуля связи, работающего по протоколу RS-485.

Основные технические характеристики прибора:

Диапазон рабочих частот 1– 100 МГц;
 Напряжение питания 100 - 300 Вольт;
 Потребляемый ток не более 1 Ампера;
 Длина прибора – не более 2.0 м;
 Вес прибора – не более 100 кг.

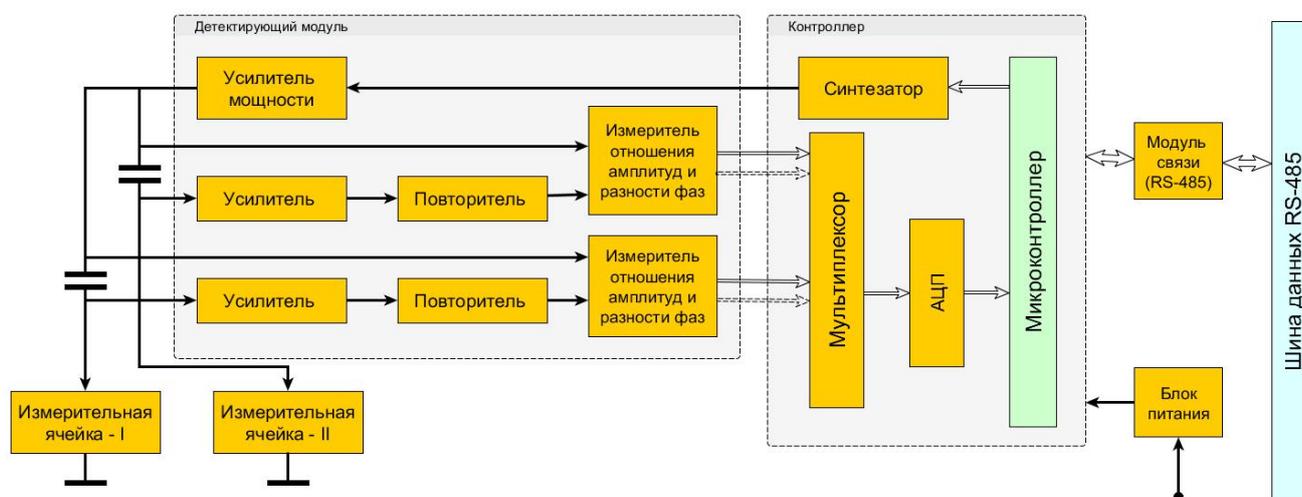


Рисунок 1. Блок-схема скважинного прибора для измерения диэлектрических характеристик пластового флюида

Эксплуатационные характеристики

Прибор предназначен для работы в нефтяных скважинах на глубинах до 5 км, и должен работать в условиях повышенных давлений и температур.

Основные эксплуатационные характеристики прибора:

- Диаметр исследуемых скважин – от 170 мм до 300 мм;
- Температура в скважине – от +10 до +120°C;
- Гидростатическое давление жидкости в скважине – до 100 МПа.

Специализированное программное обеспечение

Для управления прибором разработано специализированное программное обеспечение (ПО), обеспечивающее:

- управление процессом сканирования путем формирования управляющих сигналов по заданной программе исследования;
- прием и анализ служебной информации о функционировании блоков;
- первичную обработку информации, формирование выходного потока;
- отображение получаемых данных;
- передачу получаемых данных для дальнейшей обработки.

Результаты испытаний

Проведенные испытания показали, что тестовые вещества с различными значениями диэлектрической проницаемости уверенно дифференцируются с помощью данного скважинного прибора.

Благодарности

Разработка опытного образца прибора велась в кооперации с ООО «ТНГ-Групп» и КФУ по договору «Создание комплекса технических средств и программных продуктов для эффективной разработки залежей нефти в сложнопостроенных карбонатных коллекторах с использованием горизонтальных скважин и гидроразрыва пласта» в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (Постановление Правительства РФ № 218, (6-я очередь)).

