



**ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ИННОВАЦИЯМ  
В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

**SIBTEST 2017**

**МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА**

**СБОРНИК ДОЛКАДОВ**

**2017**

**Новосибирск**

УДК 621.391.08(063)  
ББК 32.965.07

**Sibtest 2017:** Сборник тезисов Всероссийской молодежной научной школы по инновациям в неразрушающем контроле SibTest(27–30 июня 2017г.) / под ред. А.В. Юрченко; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во ТПУ, 2017.– 49 с.

Сборник предназначен для специалистов, исследователей в сфере неразрушающего контроля, приборостроения, контроля и управления качеством, а также по проблемам НИРС в вузах.

УДК 621.391.08(063)  
ББК 32.965.07

*Всероссийская молодежная научная школа по инновациям в неразрушающем контроле SibTest проведена при финансовой поддержке РФФИ Грант №17-38-10160*



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В АРМИРОВАННОМ БЕТОНЕ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ</b>	
<i>Петров Максим Вячеславович, Фурса Татьяна Викторовна, Данн Денис Дмитриевич</i> .....	5
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ</b>	
<i>Барило Алексей Евгеньевич</i> .....	7
<b>ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ С ЛИНЕЙНЫМ МИКРОФОКУСОМ, ГЕНЕРИРОВАННОЕ В УЗКИХ МИШЕНЯХ В БЕТАТРОНЕ Б-18</b>	
<i>Смолянский Владимир Александрович, Рычков Максим Михайлович, Каплин Валерий Викторович, Маликов Евгений Львович, Степанов Игорь Борисович, Луценко Артем Сергеевич, Генцельман Валентин, Васьковский Иван Кириллович</i> .....	8
<b>РЕНТГЕНОВСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ОСНОВЕ КОНТУРНОЙ ТОМОГРАФИИ</b>	
<i>Оздиев Али Хосенович, Владимир Александрович Смолянский, Юрий Юрьевич Крючков</i> .....	9
<b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОПАР</b>	
<i>Абуеллаиль Ахмед Али, Солдатов Андрей Алексеевич</i> .....	12
<b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ДУАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ</b>	
<i>Осипов Сергей Павлович, Удод Виктор Анатольевич, Ван Яньчжао</i> .....	14
<b>КОММУНИКАЦИОННЫЙ СИМУЛЯТОР БЕТАТРОНА</b>	
<i>Чжун Ян, Чахлов Сергей Владимирович, Ван Яньчжао</i> .....	15
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ БЕТАТРОННОГО ТОМОГРАФА</b>	
<i>Кайралтапов Данияр Уланович, Мамырбаев Талгат Аскарбекович, Чахлов Сергей Владимирович, Осипов Сергей Павлович</i> .....	16
<b>ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТА</b>	
<i>Зятыков Денис Олегович, Юрченко Василий Иванович, Балашов Владимир Борисович</i> .....	18
<b>ОЦЕНКА СОБСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ РАССЕЙЯНИЯ ТОЧКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ПАНЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	
<i>Осипов Сергей Павлович, Осипов Олег Сергеевич, Чинь Ван Бак</i> .....	19
<b>МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ВОДОРАСТВОРИМОГО СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ В НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ</b>	
<i>Матвиенко Владимир Владиславович, Русина Ольга Николаевна</i> .....	21
<b>ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ</b>	
<i>Мусоров Илья Сергеевич, Торгаев Станислав Николаевич</i> .....	22
<b>УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ</b>	
<i>Петухов Тимофей Дмитриевич Геннадий Сергеевич Евтушенко, Станислав Николаевич Торгаев, Евгений Николаевич Тельминов</i> .....	24
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЕТАТРОНА МИБ-7.5/4</b>	
<i>Затонов Иван Андреевич, Штейн Михаил Михайлович</i> .....	26
<b>ВИХРЕТОКОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ</b>	
<i>Белянков Василий Юрьевич, Гольдштейн Александр Ефремович</i> .....	28
<b>НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ</b>	
<i>Данн Денис Дмитриевич, Фурса Татьяна Викторовна, Петров Максим Вячеславович</i> .....	29
<b>THE MONITORING SYSTEM OF SOLAR CELLS PARAMETERS BASED ON SOC</b>	31
<i>Yan Yuhaо</i> .....	
<b>КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТВЭЛОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ</b>	
<i>Чинь Ван Бак, С.П. Осипов, А.В. Батранин</i> .....	35
<b>РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ НА НАНОСЕНСОРАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА</b>	
<i>Нгуен Данг Куанг, Авдеева Диана Константиновна, Иванов Максим Леонидович, Наталинова Наталья Михайловна, Нгуен Данг Куанг, Рыбалка Сергей Анатольевич, Турушев Никита Владимирович</i> .....	36

<b>УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ ИНСУЛИНА</b>	37
<i>Арьшева Г.В., Аверкиев А.А.</i> .....	
<b>РАЗРАБОТКА НЕИНВАЗИВНОГО ГЛЮКОМЕТРА</b>	
<i>М.Мезенцева, Е. Юрченко, А.Юрченко</i> .....	38
<b>ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ</b>	
<i>Нешина Елена Геннадьевна, Мехтиев Али Джаваниширович, Алькина Алия Даулетхановна</i> ..	39
<b>МЕТОД КОНТРОЛЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРИТОВОЙ КЕРАМИКИ</b>	
<i>Петрова Анна Борисовна, Мальшев Андрей Владимирович</i> .....	41
<b>ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА «ЭКГ-ЭКСПРЕСС»</b>	
<i>Перчаткин Владимир Анатольевич, Лежнина Инна Алексеевна, Уваров Александр Андреевич, Оверчук Кирилл Вячеславович, Львова Анна Борисовна</i> .....	43
<b>ТОНАЛЬНЫЙ АУДИОМЕТР</b>	
<i>Капул Анна Аркадьевна, Зубова Екатерина Игоревна</i> .....	45
<b>УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ</b>	
<i>Почуфаров Антон Олегович, Мусоров Илья Сергеевич</i> .....	46
<b>МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕКУРСОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТИЕВЫХ ФЕРРИТОВ</b>	
<i>Яруллина Анна Рафаэльевна</i> .....	47

## КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В АРМИРОВАННОМ БЕТОНЕ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ

*Петров Максим Вячеславович, Фурса Татьяна Викторовна, Данн Денис Дмитриевич*

Томский политехнический университет

Суржиков Анатолий Петрович, д.ф.-м.н.

mvp17@tpu.ru

Строительные сооружения из армированного бетона эксплуатируются в условиях воздействия статических и динамических нагрузок. В результате механических воздействий в конструкциях происходят процессы трещинообразования, что в конечном итоге приводит к их разрушению. Поэтому существует необходимость разработки методов оценки процессов трещинообразования в бетонной конструкции в условиях эксплуатации. В настоящее время, следующие методы могут быть использованы для определения разрушений в бетоне: ультразвуковой контроль [1], измерение поверхностных волн [2], нелинейные акустические методы [3], акустическая и электромагнитная эмиссия [4], измерение электрического импеданса [5], импакт-эхо методы [6]. Также, для решения данной задачи может быть использован метод, который основан на измерении и анализе электрических откликов при упругом ударном возбуждении гетерогенных неметаллических материалов [7-9].

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния процессов трещинообразования в армированном бетоне на параметры измеренного электрического отклика в процессе одноосного сжатия.

Для проведения исследований в условиях одноосного сжатия были изготовлены образцы бетона, армированного стальной и стеклопластиковой арматурой. Модели представляли собой образцы бетона размером 100x100x100 мм, в которые при формовании образцов было помещено по одному арматурному стержню диаметром 10 мм и длиной 150 мм.

Экспериментальные исследования параметров электрического отклика были выполнены с помощью аппаратно-программного комплекса. Комплекс позволяет производить упругое ударное возбуждение образцов и регистрацию электрических откликов. Комплекс состоит из выносного измерительного зонда, источника питания, платы ввода-вывода и компьютера. Выносной зонд представляет собой металлический стакан, внутри которого расположено ударное устройство и электрический датчик.

Испытание на одноосное сжатие производилось с использованием компьютеризированного пресса ИП-500. Нагружение производилось в направлении перпендикулярном к длине арматурного стержня. Измерения электрического отклика проводились периодически во время постепенного увеличения внешней нагрузки.

Оценка стадии трещинообразования производилась на основе анализа нагрузочных кривых. Нагрузочные кривые при постоянной скорости нагружения имеют три характерных этапа. Наличие первого нелинейного участка (I) связано с уплотнением поверхности образца, которая обладает более низкой твердостью и специально не шлифовалась перед испытанием. Затем идет участок линейной квазиупругой деформации (II). Зависимость на этом участке хорошо аппроксимируется прямой линией. Третий участок (III) характеризуется резко нелинейной деформацией, связанной с процессом возникновения и прорастания трещин.

Механические напряжения, возникающие под действием внешней нагрузки, приводят к развитию трещин в бетоне. С увеличением внешней механической нагрузки происходит увеличение размера и концентрации трещин в нарушенной зоне по сравнению с ненарушенной областью образца. Фронт акустической волны пересекает эти зоны, что приводит к его искажению. Так как созданная ударным возбуждением акустическая волна многократно взаимодействует с арматурой и трещинами, то происходит накопление нарушений ее фронта. Эти искажения должны отражаться на характеристиках электрического отклика, который взаимосвязан с упругими волнами.

Для количественной оценки изменения формы амплитудно-частотных характеристик электрических сигналов был использован корреляционный анализ. С помощью программы в среде программирования LabVIEW осуществлялось последовательное смещение спектров сигналов, зарегистрированных на различных этапах нагружения со спектром исходного сигнала, рассчитывался выборочный коэффициент корреляции Пирсона и определялся максимальный коэффициент взаимной корреляции двух сравниваемых спектров и величина смещения (по частоте), при котором наблюдается максимальный коэффициент корреляции. На рисунке 1 приведены зависимости максимального коэффициента корреляции и смещения для образцов бетона и бетона, армированного стальной и стеклопластиковой арматурой. С целью

установления закономерностей изменения анализируемых параметров и их особенностей на различных этапах нагружения была проведена аппроксимация экспериментальных результатов кусочно-линейными функциями, приведенными внутри графиков.

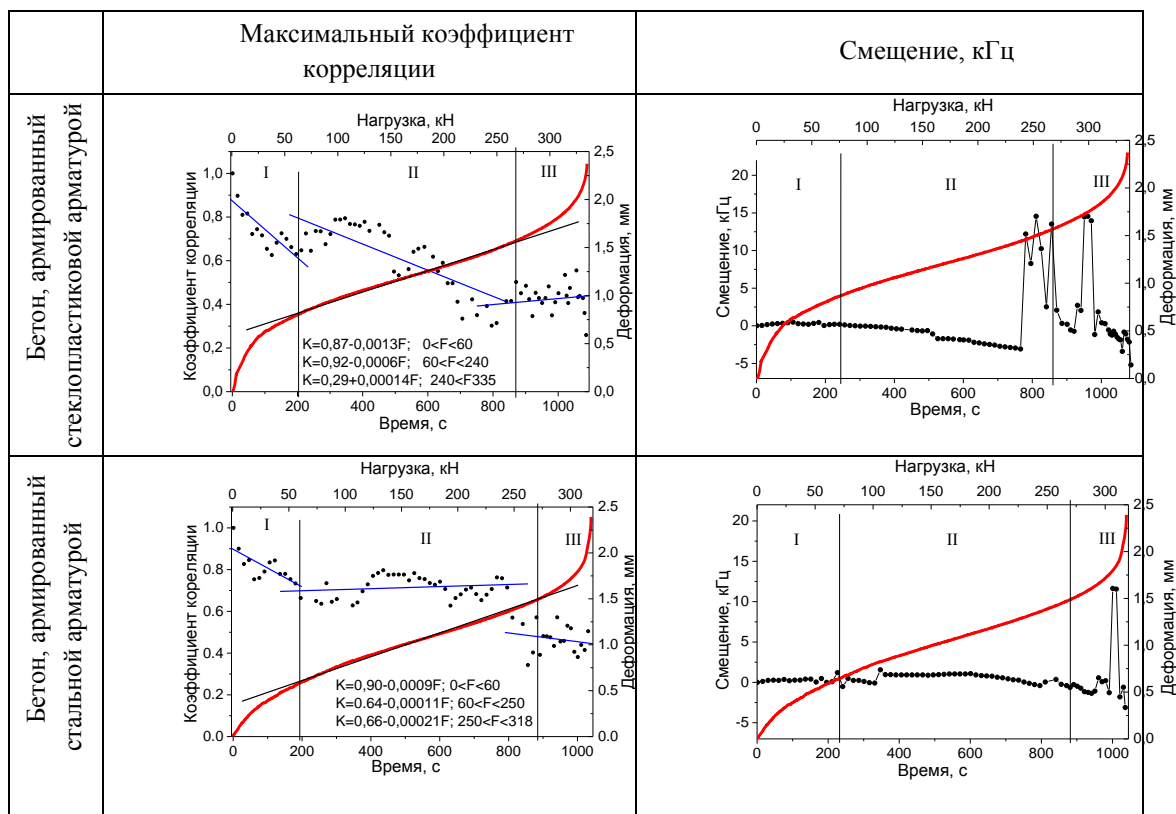


Рис.1 Зависимости параметров электрического отклика от внешней механической нагрузки

Из рисунка видно, что характер трансформации величины коэффициента корреляции и смещения, при котором он наблюдается, взаимосвязаны с этапами напряженно-деформированного состояния в условиях одноосного сжатия.

Установлены основные закономерности изменения параметров электрического отклика на ударное воздействие армированного бетона при одноосном сжатии армированного бетона. Показано, что при переходе в стадию трещинообразования наблюдается значительное уменьшение максимального коэффициента корреляции и скачкообразное возрастание величины смещения (по частоте), при котором он наблюдается. Эти два параметра могут быть использованы в качестве диагностических критериев для оценки начала процессов трещинообразования в условиях действия сжимающих нагрузок.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-19-10119).

#### Список литературы:

- [1] Qasrawi H. Y., Marie I. A. // *Cement and Concrete Research*. 2003. Т. 33. № 12. С. 2017.
- [2] Abraham O., Piwakowski B., Villain G., Durand O. // *Construction and Building Materials*. 2012. Т. 37. С. 904.
- [3] Bui D., Kodjo S. A., Rivard P., Fournier B. // *Journal of Nondestructive Evaluation*. 2013. Т. 32. № 1. С. 25.
- [4] Stergiopoulos C., Stavrakas I., Hloupis G., Triantis D., Vallianatos F. // *Engineering Failure Analysis*. 2013. Т. 35, С. 454.
- [5] Narayanan A., Subramaniam K. V. // *Construction and Building Materials*. 2016. Т. 105. С. 536.
- [6] Krzemień K., Hager I. // *Construction and Building Materials*. 2015. Т. 96. С. 155.
- [7] Fursa T. V., Savelev A. V., Osipov K. Yu. // *Technical Physics*. 2003. Т. 48. № 11. С. 1419.
- [8] Fursa T. V. // *Technical Physics Letters*. 2010. Т. 36. № 4. С. 348.
- [9] Fursa T. V., Dann D. D., Petrov M. V., Korzenok I. N. // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2016. Т. 52. № 8. С. 463.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

*Барило Алексей Евгеньевич*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Юрченко Алексей Васильевич, д.т.н.

*Dicerent@gmail.com*

Очень сложно найти прототипы, основанные на исторических данных потока пешеходов и автомобилей, чтобы регулировать яркость освещения области. Системы часто являются реактивными, а не прогностическими. Основной причиной развития прогностических системы является использование прогноза движения пешеходов / автомобилей для экономии. Размещение камеры в области для пешеходов и автомобилей в течение определенного периода времени намного дешевле, чем наличие датчика присутствия в различных светильниках, который регулируют яркость в зависимости от прохода пешеходов и автомобилей. Более того, постоянное изменение интенсивности света, излучаемого светильниками, может привести к более быстрому износу.

В этой работе представлена новая концепция для создания интеллектуальных систем освещения.

Предлагаемая архитектура системы направлена на создание интеллектуального управления всем общественным освещением, включая контроль в реальном времени.

Программное обеспечение состоит из трех модулей:

- Аппаратный уровень позволяет осуществлять связь со светильниками, независимо от используемого оборудования.

- Сервер управления содержит управление устройствами и интеллектуальные алгоритмы для эффективного управления энергопотреблением. «Источники данных» – Модули фиксируют информацию, связанную с пешеходным и транспортным потоком, метеорологическими данными и данными о мониторинге обольсти. «Анализ данных» – Модуль предназначен для изучения информации, собираемой для обнаружения алгоритмов движения пешеходов и автомобилей. «Генератор светимости» – Модуль позволяет создать адекватную яркость освещения, подходящую для конкретного освещаемого объекта, в зависимости от интенсивности движения пешеходов/автомобилей и погодных условий.

- Сеть - приложение обеспечивает доступ ко всем функциям, для настройки графиков освещения, мониторинга и контроля объектов.

В представленной концепции системы режимы освещения могут быть установлены вручную или через интеллектуальный процесс. В первом случае пользователю предлагается планировать временные интервалы (в часах) и световой поток каждый временной интервал. В последнем случае мы переходим к наблюдению за различными факторами окружающей среды, которые могут влиять на определение нормального освещения для конкретной области, например, потока автомобилей или пешеходного движения, или погодных условий, которые влияют на уровень окружающего света, особенно в часы восхода и захода солнца.

Система может устанавливать графики освещения для всех осветительных установок, контролируемых пользователем. Пользователь может определять свои собственные световые установки, которые относятся к часам, в течение которых включаются огни, и на каком уровне яркости. Аналогично, каждый день можно назначать разные световые режимы. Кроме того, не только можно установить расписание освещения в соответствии с предпочтениями пользователя, но система имеет необходимые механизмы для автоматической регулировки уровней освещенности на основе потока автомобилей или пешеходов, рассчитанного для каждой зоны. Для достижения этой цели система основана на исторической информации о потоке людей и классифицирует дни, чтобы найти алгоритмы движения пешеходов / автомобилей. Основываясь на этих шаблонах, система устанавливает соответствующий дизайн освещения для каждого типа дня.

Список литературы:

[1] S. Afshari, S. Mishra, A. Julius, F. Lizarralde, J.D Wason, J.T. Wen, *Modeling and control of color tunable lighting systems, Energy Build.* 68 (2014) 242–253 Part A.

[2] K. Barra, D. Rahem, *Predictive direct power control for photovoltaic grid connected system: an approach based on multilevel converters, Energy Convers. Manage.* 78 (2014) 825–834.

[3] M. Beccali, M. Bonomolo, G. Ciulla, A. Galatioto, V Lo Brano, *Improvement of energy efficiency and quality of street lighting in South Italy as an action of sustainable energy action plans. The case study of Comiso (RG)*, *Energy 92 (Part 3) (2015)* 394–408, doi: 10.1016/j.energy.2015.05.003.

[4] D. Bourgeois, C. Reinhart, I. Macdonald, *Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control*, *Energy Build.* 38 (7) (2006) 814–823.

[5] C. Carrillo, E. Diaz-Dorado, J. Cidrás, A. Bouza-Pregal, P. Falcón, A. Fernández, A. Álvarez-Sánchez, *Lighting control system based on digital camera for energy saving in shop windows*, *Energy Build.* 59 (2013) 143–151.

## ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ С ЛИНЕЙНЫМ МИКРОФОКУСОМ, ГЕНЕРИРОВАННОЕ В УЗКИХ МИШЕНЯХ В БЕТАТРОНЕ Б-18

*Смолянский Владимир Александрович, Рычков Максим Михайлович, Каплин Валерий Викторович, Маликов Евгений Львович, Степанов Игорь Борисович, Луценко Артем Сергеевич, Генцельман Валентин, Васьковский Иван Кириллович*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
vsmol@tpu.ru

Создание источника микрофокусировки на основе релятивистских электронных пучков является важной частью физики ускорителей. Для электронов с низкой энергией, например, в рентгеновских трубах, эта проблема была решена путем острой фокусировки электронного пучка на мишени для получения фокального пятна с диаметром в микронной области. В случае циклических ускорителей метод фокусировки электронного пучка неприменим. Бетатроны, генерирующие жесткое излучение внутренним электронным пучком в толстой мишени, которая больше по площади, чем поперечное сечение миллиметрового пучка, используются для получения изображений различных промышленных объектов. Но, в [1] было предложено использование внутренних мишеней с размерами гораздо меньшими диаметра пучка электронов в циклическом ускорителе для уменьшения фокального пятна генерируемого тормозного излучения. Если пучок электронов циркулирует в течение достаточно длительного времени на радиусе расположения микромишени, то, из-за бетатронных колебаний, электроны будут падать на такую мишень с достаточно высокой эффективностью. В данной работе представлены первые экспериментальные результаты исследования свойств тормозного излучения, генерируемого при взаимодействии электронов с энергией 18 МэВ внутреннего пучка бетатрона Б-18 с 50 и 8 мкм Si кристаллами и 13 мкм Та фольгой с длинами 4 мм вдоль электронного пучка. Мишени помещались в гониометр внутри камеры бетатрона для ориентирования их под скользящими углами к пучку электронов. В нашем случае спектр излучения бетатрона, генерируемого в узких внутренних мишенях, простирается от нескольких кэВ до 18 МэВ. При мишенях из легких материалов в спектре излучения преобладает достаточно мягкое излучение, которое применимо для получения изображений достаточно тонких объектов. При взаимодействии с тяжелыми мишенями в спектре излучения преобладает жесткое излучение, что обусловлено сильным поглощением излучения мягкой части спектра в толще мишени. Излучение, генерируемое в таких мишенях, применимо для получения изображений толстых объектов из тяжелых материалов.

В работе исследована ориентационная зависимость угловых распределений излучения из узких мишеней. Полученные результаты показывают сильные изменения углового распределения генерируемого излучения при изменении ориентации узкой мишени относительно направления электронного пучка. Этот эффект не наблюдается при нормальном падении электронов на поверхность тонкой мишени.

Исследовалось формирование контраста изображений с использованием излучений из узких мишеней. Изображения эталонной микроструктуры *Duplex IQI* [2] были получены при ориентировании Si мишеней вдоль пучка электронов, для того чтобы электроны сбрасывались на узкую переднюю грань мишени, обеспечивая линейный микрофокус источника тормозного излучения. Изображения *Duplex IQI* были сформированы 10-50 кэВ фотонами мягкой части спектра излучения, генерированного в 8 и 50 мкм Si мишенях. Из-за малости источника излучения, полученные с трехкратным увеличением изображения эталонной микроструктуры *Duplex IQI* демонстрируют высокое разрешение деталей микроструктуры с участием как абсорбционного, так и фазового контрастов. Исследование формирования изображений достаточно толстых объектов из тяжелых материалов было проведено с использованием тормозного



излучения, генерированного в 13 мкм Та мишени. Полученное с увеличением 2,4 изображение стальной пластины толщиной 10 мм, помещенной за второй более широкой стальной пластиной толщиной 40 мм показало усиленный контраст края первой пластины, за счет реализации фазового контраста при столь малом фокусе источника излучения.

В работе исследована зависимость контраста изображения от положения микроструктуры в конусе излучения, которая определяется изменением эффективного размера источника излучения при изменении угла эмиссии излучения из мишени. Показано, что контраст изображения деталей *Duplex IQI* уменьшается при перемещении структуры на периферию конуса излучения, генерируемого в 50 мкм Si пластине, ориентированной вдоль пучка электронов. Это определяется увеличением эффективного размера источника  $S_H = t+T \cdot |\theta_H|$ , где  $t$  – толщина мишени,  $T$  – длина мишени вдоль пучка электронов, а  $\theta_H$  – угол между поверхностью мишени и направлением эмиссии излучения на определенную деталь исследуемого объекта.

Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 17-19-01217.

Список литературы:

- [1] Pushin V S, Chakhlov V L 1997 Patent RU 2072643; <http://www.findpatent.ru/patent/207/2072643.html>
- [2] Website of the Computerised Information Technology Ltd: [http://www.cituk-online.com/acatalog/Section\\_NDT\\_Digital\\_Radiography\\_Calibration\\_Devices.html](http://www.cituk-online.com/acatalog/Section_NDT_Digital_Radiography_Calibration_Devices.html)

## РЕНТГЕНОВСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ОСНОВЕ КОНТУРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*Оздиев Али Хосенович, Владимир Александрович Смолянский, Юрий Юрьевич Крючков*  
*Томский Политехнический Университет*  
*Юрий Юрьевич Крючков*  
[ozdiev@tpu.ru](mailto:ozdiev@tpu.ru)

Одним из распространенных на настоящий момент методов контроля сварных соединений труб является рентгеновская томография. Стандартная схема контроля представлена на рисунке 1, при этом система настраивается таким образом, что излучение проходит сквозь две стенки трубы [1].

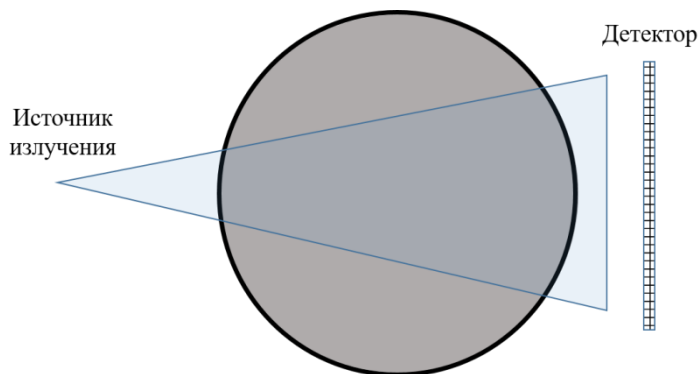
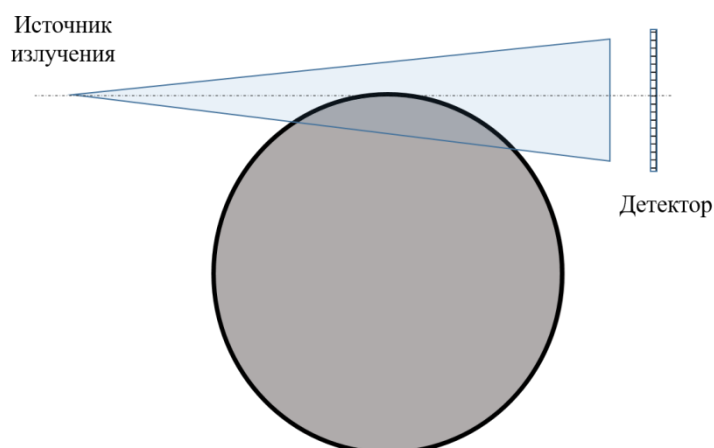


Рис.1. Схема томографического контроля труб (вид сверху)

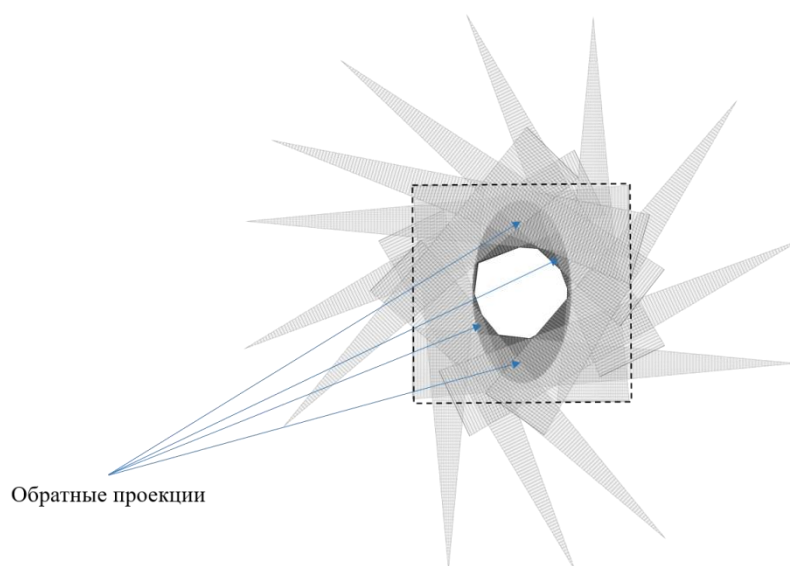
Подобный подход обладает рядом ограничений, с которыми сталкиваются при попытке контроля труб большого диаметра. Так если диаметр контролируемой трубы достаточно большой, то для достижения необходимого качества реконструкции понадобится использовать рентгеновский источник высокой энергии, что может значительно увеличить себестоимость установки. Очевидно, что это связано с увеличением расстояния между источником и детектором, в результате которого плотность потока рентгеновского излучения, попадающего на поверхность детектора, уменьшается по причине ослабления потока в воздухе. При этом применение веерного пучка означает, что изображение на детекторе при большом расстоянии от источника будет увеличено пропорционально этому расстоянию, что вызовет дополнительные трудности при подборе оптимального детектирующего устройства.

В данной работе предлагается оптимизация томографического контроля сварных соединений труб большого диаметра путем применения контурной томографии. Под контурной томографией цилиндрических объектов подразумевается схема сканирования объекта исследования, при которой поток рентгеновских частиц направляется таким образом, что оптическая ось детектора практически совпадает с касательной к контуру цилиндра, проведенной перпендикулярно к детектору (рисунок 2).



*Рис.2. Контурная схема томографического контроля труб (вид сверху)*

Для реализации реконструкции был выбран алгоритм обратного проецирования. Стандартный алгоритм обратного проецирования предназначен для реконструкции данных, полученных при сканировании стандартной схемой томографического контроля. Для того чтобы обеспечить работоспособность алгоритма при контурной схеме томографического контроля необходимо было оптимизировать алгоритм таким образом, чтобы обратные проекции в точности соответствовали траекториям пучка рентгеновских частиц в области реконструкции [2] (рисунок 3).



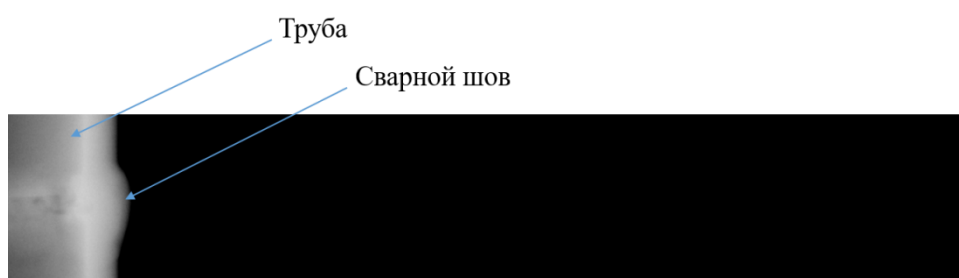
*Рис.3. Обратное проецирование вдоль точных траекторий пучка рентгеновских частиц*

Для проверки работоспособности предлагаемого подхода были проведены экспериментальные измерения, цель которых заключалась в поиске дефектов в сварном соединении, представленном на рисунке 4.



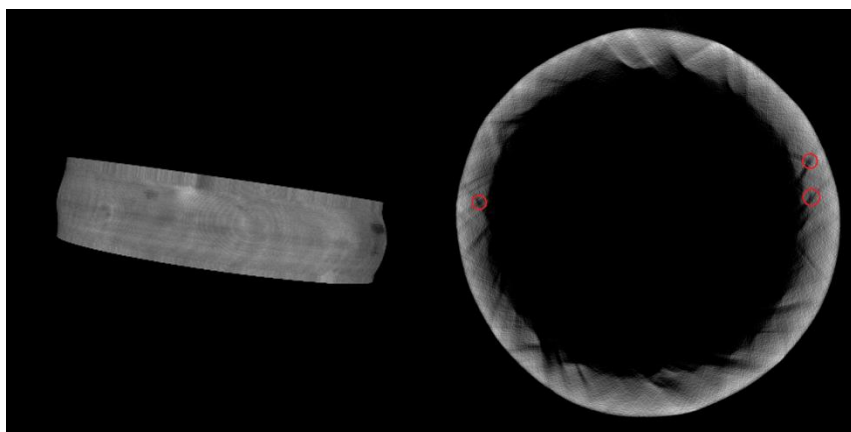
*Рис.4. Образец сварного соединения*

Для того чтобы произвести контурное сканирование рентгеновская установка была сконфигурировано таким образом, что детектирующее устройство, в качестве которого выступал плоскочастотный матричный детектор, было смещено относительно оси вращения объекта исследования, благодаря чему регистрируемые проекции представляли собой четверть объема трубы. Проекция после предварительной обработки имела вид, представленный на рисунке 5.



*Рис.5. Пример исходной проекции, полученной в результате контурного сканирования*

Итак, в результате обработки данных была получена трехмерная визуализация исследуемого сварного соединения с возможностью пошагово анализа его сечений. Визуальный анализ реконструированных сечений показал, что метод позволяет обнаруживать дефекты, но всё ещё нуждается в доработке. Так при сравнении с результатами томографического исследования, проведенного по стандартной схеме эксперимента, в местах, где располагаются дефекты, можно обнаружить существенный разброс в интенсивности пикселей (рисунок 6).



*Рис.6. Результаты реконструкции: слева – трехмерная визуализация сварного шва, справа – одно из сечений*

В результате проделанной работы была разработана контурная геометрия томографического сканирования с применением оптимизированного алгоритма обратного проецирования. Результаты реконструкции позволяют говорить о работоспособности подхода и указывают на то, что подход требует доработки. В дальнейшей работе будет предпринята попытка улучшить качество реконструкции путем увеличения количества исходной информации, а именно добавления дополнительного контура сканирования так, как показано на рисунке 7.

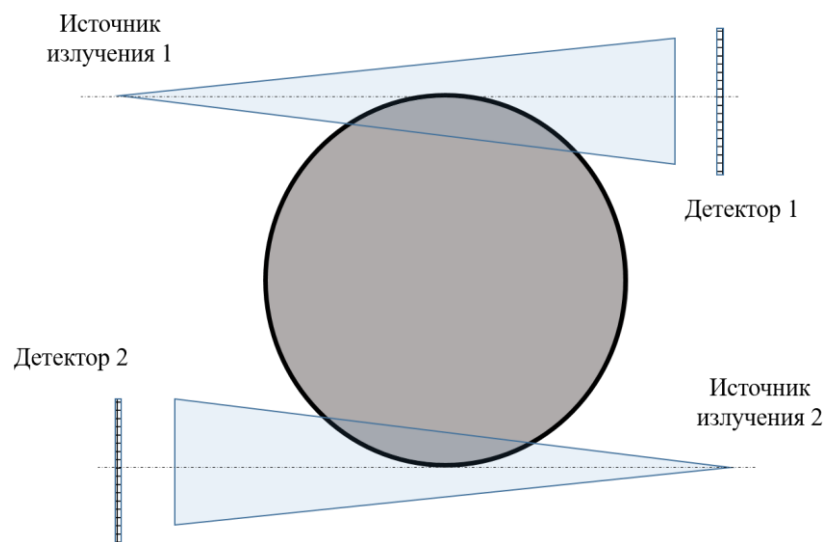


Рис. 7. Предлагаемая схема томографического сканирования

Список литературы:

- [1] Redmer B., Ewer U.t // X-Ray Testing of Circumferential Welds by a Mechanized radiometric Weld Inspection System, 2nd International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, New Orleans May 2000.
- [2] Оздиев А.Х., Модифицированный алгоритм обратного проецирования для томографической реконструкции при сканировании образца с пошаговым сдвигом // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016) – Томск, 2016 – С. 433–434.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОПАР

Абуеллаиль Ахмед Али, Солдатов Андрей Алексеевич

Томский политехнический университет

Солдатов Алексей Иванович, д.т.н.

demo\_092@icloud.com

Аннотация

В статье исследованы электрические характеристики двух термопар при параллельном соединении. Получено аналитическое выражение функции термоЭДС двух термопар от сопротивления нагрузки при параллельном соединении термопар.

Введение

Термоэлектрический метод – это метод неразрушающих испытаний металлов и сплавов, основанный на измерении термоЭДС между горячим электродом, испытуемым образцом и холодным электродом [1-3]. Однако шероховатость поверхности электродов и испытуемого образца приводит к многоточечному контакту, а неоднородность к измерению термоЭДС [4]. Многоточечный контакт можно представить как несколько соединенных параллельно различных термопар, которые имеют разные характеристики, из-за локальных колебаний химического состава металлов и сплавов [5,6].

Чтобы учесть влияние разных термопар на результат контроля, необходимо изучить их характеристики [7]. Принимая во внимание эти характеристики можно повысить точность термоэлектрических устройств контроля. Для оценки влияния характеристик разных термопар на результат контроля необходимо провести математическое моделирование методики контроля с многоточечным контактом. Для этого необходимо исследовать характеристики термопар и получить математическое описание функции термоЭДС от нагрузки, которую в дальнейшем можно использовать для моделирования методики термоэлектрического контроля.

Экспериментальная установка

Приведены результаты исследования характеристик нескольких параллельных термопар в диапазоне от 100°C до 300°C для материалов термопар хромель-алюмель и нихром-константан.

Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования эквивалентной термоЭДС при параллельном соединении термопар представлена на (рис. 1). На рис.1 источники напряжения  $E_1$  и  $E_2$  – термоЭДС первой и второй термопар соответственно, с внутренними сопротивлениями  $R_{вн1}$  и  $R_{вн2}$ . Измерения термоЭДС проводились для одной и для двух параллельно соединенных термопар при сопротивлении нагрузки  $R_n$  (0,01, 0,05, 0,1, 0,5, 1, 3,3, 5,2, 6,8, 10, 100, 1000, 10000) Ом. Расчеты внутреннего сопротивления, тока в цепи и электрической мощности были выполнены в соответствии с методикой, изложенной в [8].

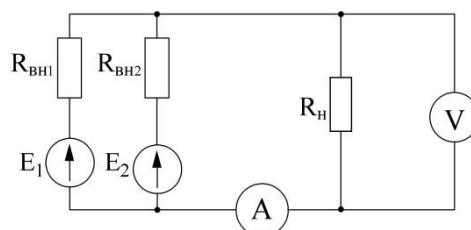


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

#### Математическое моделирование

Для численного анализа статистических данных термоЭДС применялся метод интерполяции многочлена Ньютона через алгоритм разделенных разностей:

$$E(r) = 0.1 r^3 - 5,3 \times 10^4 r^4 - 6.9 r^2 + 214.6 r + 137.9 \quad (1)$$

где  $E(r)$  – термоЭДС,  $r$  – сопротивление нагрузки.

Результат моделирования в соответствии с выражением (1) представлен на (рис.2), на этом же рисунке показаны и статистические данные.

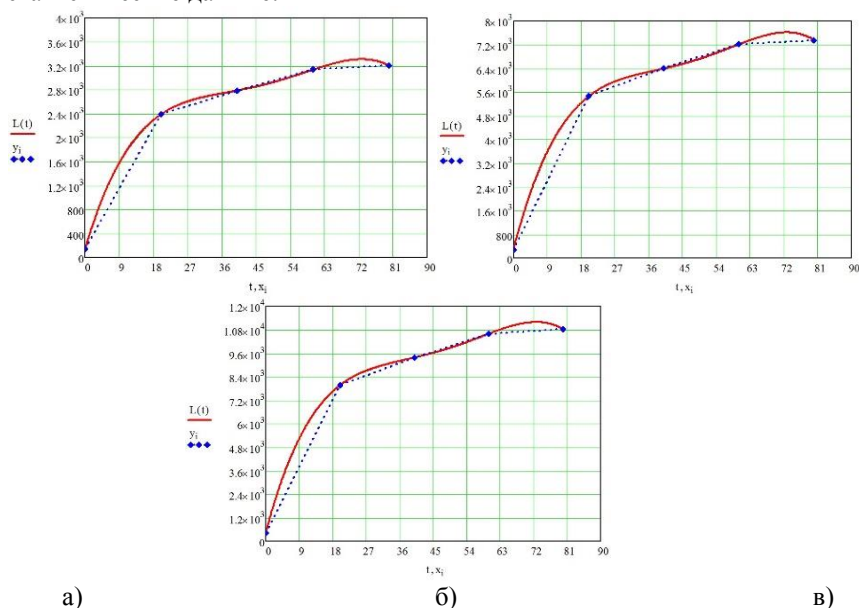


Рис.2. Зависимость термоЭДС от сопротивления нагрузки, при температурах 100 °С (а), 200 °С (б), 300 °С (в), сплошная линия – моделирование, пунктирная линия – экспериментальные данные.

#### Заключение

Получено аналитическое выражение функции, описывающей зависимость эквивалентной термоЭДС двух параллельно соединенных термопар от сопротивления нагрузки. Аналитическое выражение будет использовано для дальнейшего моделирования термоэлектрического метода контроля при многоточечном контакте электродов с контролируемым образцом.

#### Список литературы:

- [1] C. Stuart, *Thermoelectric Differences Used for Metal Sorting* // *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 15, No. 4, 1987, pp. 224-230, <https://doi.org/10.1520/JTE11013J>. ISSN 0090-3973.
- [2] P. E. Mix., *Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide, Second Edition* // 27 Jan 2005. Print ISBN: 9780471420293. Online ISBN: 978-0-471-42029-3. DOI: 10.1002/0471719145.

- [3] A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, P.V. Sorokin, E.L. Loginov, A.A. Abouellail, O.A. Kozhemyak, S.I. Bortalevich, [Control system for device «thermotest»](#) \ 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings, 7491869
- [4] A.I. Soldatov, *Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом* // дис. канд. техн. наук / А.А. Солдаатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.
- [5] A.I. Soldatov, *Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом.* дис. канд. техн. наук / А.А. Солдаатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.
- [6] A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, M.A. Kostina, O.A. Kozhemyak, H.M. Kroning, [Modelling of the thermal field of hot electrode and the controlled sample at thermoelectric testing of metals](#) \ Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015, 7414922
- [7] J. Hu, P.B. Nagy, *On the role of interface imperfections in thermoelectric nondestructive materials characterization* // Applied Physics Letters, 73, 467-469 (1998), DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.121902>
- [8] Ahmed Abouellail, et al., *Surface inspection problems in thermoelectric testing*, MATEC [Web Conf., 102 (2017) 01001, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710201001>

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

### РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ДУАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ

*Осинов Сергей Павлович, Удод Виктор Анатольевич, Ван Яньчжао*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*  
*Национальный исследовательский Томский государственный университет*  
[osip1809@rambler.ru](mailto:osip1809@rambler.ru)

Радиационные методы неразрушающего контроля, испытаний и диагностики на современном этапе своего развития являются высокоразвитым научно-техническим направлением, охватывающим разнообразные сферы жизнедеятельности человека – промышленность, медицину, досмотр и т.д. Требуемая эффективность контроля во многих случаях достигается посредством применения специализированных физических методов. Одним из них в настоящее время является метод дуальных энергий (МДЭ). Суть МДЭ заключается в формировании двух цифровых радиационных изображений объекта контроля (ОК) для двух максимальных энергий рентгеновского излучения и их последующей обработке с целью получения изображений параметров МДЭ. Один из параметров МДЭ несет информацию о массовой толщине ОК, а второй помимо массовой толщины зависит и от эффективного атомного номера. Дополнительной опцией МДЭ является возможность оценки эффективного атомного номера материала ОК [1–3] или параметра, связанного с ним. Существуют различные модификации, реализующие этот метод, например, однократное просвечивание ОК с регистрацией излучения двумя детекторами, расположенными один за другим по ходу рентгеновских лучей [4], однократное просвечивание ОК с чередованием импульсов рентгеновского излучения с меньшей максимальной энергией (low energy) с импульсами с большей максимальной энергией (high energy). В качестве источников рентгеновского излучения в МДЭ используются радионуклиды, рентгеновские аппараты, бетатроны и линейные ускорители [5]. МДЭ позволяет распознавать (дискриминировать) материалы ОК и их структурных фрагментов методом соотнесения оценок эффективных атомных номеров с одним из нескольких классов материалов, например, металл – неметалл (или органика – неорганика), что имеет очень важное значение, в частности, в досмотровом контроле.

Существуют две разновидности алгоритмов обработки исходных радиационных изображений с целью получения изображений параметров МДЭ и (или) эффективного атомного номера. Первая разновидность базируется на решении систем интегрально-параметрических уравнений, параметры которых и являются параметрами МДЭ. На практике для описания связи исходных пар цифровых радиометрических сигналов с параметрами МДЭ используется сравнение различных теоретических и экспериментальных характеристик ослабления потоков рентгеновского излучения – коэффициентов ослабления и радиационных толщин ОК. Вариант сравнения теоретических и экспериментальных оценок радиационных толщин является более предпочтительным с точки зрения численной реализации алгоритма обработки информации, визуализации изображений и физической интерпретации оцениваемых промежуточных и конечных параметров ОК. Во второй разновидности на основе просвечивания специальных тестовых объектов, диапазоны характеристик которых совпадают с предельными диапазонами потребительского интереса, формируются калибровочные таблицы соответствия теоретических значений параметров МДЭ и экспериментальных характеристик ослабления потоков рентгеновского излучения. Полученные

калибровочные таблицы могут быть использованы для построения соответствующих регрессионных моделей либо для оценок параметров МДЭ методом, предложенным в [2]. Точность оценки параметров МДЭ зависит от его технической реализации, включая разновидности алгоритмов обработки информации. На точность оценки параметров МДЭ существенным образом влияет ряд физических и технических факторов [6, 7]. При использовании первой разновидности МДЭ точность оценки соответствующих параметров определяется:

- точностью представления массового коэффициента ослабления (МКО) фотонного излучения в виде суммы двух слагаемых, каждое из которых соотносится с одним из преобладающих эффектов взаимодействия фотонов с веществом (фотоэффект и эффект Комптона для низкоэнергетического рентгеновского излучения, эффект Комптона и эффект рождения пар для высокоэнергетического рентгеновского излучения);
- точностью аппроксимаций энергетических зависимостей МКО излучения для каждого из преобладающих эффектов взаимодействия;
- точностью описания связи параметров МДЭ с характеристиками ОК – эффективным атомным номером ОК и его массовой толщиной;
- точностью цифровых сигналов, определяемой разрядностью аналогово-цифровых преобразователей и статистическими погрешностями, обусловленными квантовой природой излучения;
- точностью задания максимальной энергии рентгеновского излучения;
- точностью описания энергетического спектра рентгеновского излучения, генерируемого источником;
- точностью энергетической зависимости среднего значения поглощённой энергии, зарегистрированного фотона;
- точностью оценки эффективности регистрации излучения детектором;
- точностью решения систем интегрально-параметрических уравнений, зависящей от погрешностей численного интегрирования и метода решения нелинейных уравнений;
- точностью математических моделей, положенных в основу МДЭ.

В докладе рассмотрены современные подходы к оценке параметров МДЭ и эффективного атомного номера материала ОК, различные технические реализации систем радиационного контроля на основе МДЭ и перспективы их дальнейшего совершенствования.

Список литературы:

- [1] Удод В. А., Ван Я., Осипов С. П., Чахлов С. В., Усачев Е. Ю., Лебедев М. Б., Темник А. К. // Современное состояние и перспективы развития систем цифровой рентгенографии для дефектоскопии, диагностики и досмотрового контроля объектов (обзор). Дефектоскопия. – 2016. – № 9. – С. 11–28.
- [2] Osipov S. P., Libin E. E., Chakhlov S. V., Osipov O. S., Shtein A. M. // Parameter identification method for dual-energy X-ray imaging. NDT & E International. – 2015. – Vol. 76. – P. 38–42.
- [3] Park J. S., Kim J. K. // Calculation of effective atomic number and normal density using a source weighting method in a dual energy X-ray inspection system. Journal of the Korean physical society. – 2011. – Vol. 59. – No. 4. – P. 2709–2713.
- [4] Iovea M., Neagu M., Dului O. G., Oaie G., Szobotka S., Mateiasi G. // A dedicated on-board dual-energy computer tomograph. Journal of Nondestructive Evaluation. – 2011. – Vol. 30. – No. 3. – P. 164–171.
- [5] Li L., Li R., Zhang S., Zhao T., Chen Z. // A dynamic material discrimination algorithm for dual MV energy X-ray digital radiography. Applied Radiation and Isotopes. – 2016. – Vol. 114. – P. 188–195.
- [6] Клименов В. А., Осипов С. П., Темник А. К. // Идентификация вещества объекта контроля методом дуальных энергий. Дефектоскопия. – 2013. – № 11. – С. 40–50.
- [7] Осипов С. П., Темник А. К., Чахлов С. В. // Влияние физических факторов на качество идентификации веществ объектов контроля высокоэнергетическим методом дуальных энергий. Дефектоскопия. – 2014. – № 8 – С. 69–77.

## КОММУНИКАЦИОННЫЙ СИМУЛЯТОР БЕТАТРОНА

Чжун Ян, Чахлов Сергей Владимирович, Ван Яньчжао  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[yan.tchzhun@yandex.ru](mailto:yan.tchzhun@yandex.ru)

Успешное применение бетатронов в досмотровых системах [1] делает актуальной проблему создания специализированного оборудования, облегчающего их сервисное обслуживание. Так как доступ к бетатрону, работающему в реальной системе, по многим причинам затруднен, а свободного бетатрона у пользователя нет из-за высокой стоимости. Поэтому нам нужно создать устройство для проверки управляющего бетатроном программного обеспечения досмотровой системы. По назначению этого

устройства, назовем его коммуникационный симулятор бетатрона. Функции создаваемого устройства должны повторять как можно больше функций бетатрона.

С учетом функций бетатрона [2,3], мы должны:

- Моделировать рабочее состояние бетатрона с помощью сигнальных ламп, управляемых микропроцессором: состояние Ready – свечение зеленой лампы, состояние Countdown – свечение желтой лампы, состояния Standby и Radiation On – свечение красной лампы.
- Моделировать при свечении красной лампы ток инжекции в диапазоне 0-12В и сигнал обратной связи  $\pm 5В$ .
- Моделировать сигнал дозы, и на выходе получать напряжение в диапазоне 0,1-5В с малым шумом.

Мы спроектировали все электронные схемы, выполняющие заданные функции и соединили все схемы в одну и собрали печатную плату. Проведена проверка готовой печатной платы. Результаты проверки показали, что плата выполняет все заданные функции и может применяться для отладки управляющего бетатроном программного обеспечения досмотровой системы.

Список литературы:

- [1] Chakhlov S. V., Kasyanov S. V., Kasyanov V. A., Osipov S. P., Stein M. M., Stein A. M., Sun Xiaoming. // *Betatron Application in Mobile and Relocatable Inspection Systems for Freight Transport Control*. 2016. *J. Phys.: Conf. Ser.* 671. С. 5.
- [2] Москалев В.А., Чахлов В.Л., Бетатроны: монография. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – С. 267.
- [3] В.А. Москалев, Г.И. Сергеев. Индукционный ускоритель электронов - бетатрон: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 330.
- [4] Hu Bin, Hu Song. *Electronics Engineer Essentials – Component Application Collection*. Beijing: Posts & Telecom Press. 2012. – С. 798.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ БЕТАТРОННОГО ТОМОГРАФА**

*Кайралапов Данияр Уланович, Мамырбаев Талгат Аскарбекович, Чахлов Сергей Владимирович,  
Осипов Сергей Павлович*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
К.ф.-м.н, заведующий лабораторией РКНЛ РКД Чахлов Сергей Владимирович  
kairalapovd@gmail.com*

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к бетатронам средней энергии в связи с возникновением новых направлений их применения. Особо нужно отметить то, что не ослабевает интерес и к малогабаритным бетатронам с максимальной энергией рентгеновского излучения от 1 до 10 МэВ. Эти бетатроны производятся в Томском политехническом университете и применяются во многих отраслях науки и промышленности.

В последнее десятилетие наметилась тенденция применения компьютерной томографии (КТ) не только в качестве средства визуализации внутренней структуры объектов исследования (ОИ), но и в качестве мощного инструмента решения различных измерительных задач. К таким измерительным задачам относятся, например: оценка координат, линейных размеров, площадей, объемов и масс структурных фрагментов ОИ, пористости, распределения влажности и т. п. В частности, в индустрии строительных материалов КТ применяют для оценки однородности (по плотности, пористости) строительных материалов различного назначения. Томография позволяет оценить удельную поверхность зернового материала, коэффициент заполнения объема и удельное контактное число, это делает ее (КТ) незаменимым средством на стадии отработки технологий производства перспективных материалов, в том числе и пористых, для строительства, авиастроения и ракетостроения.

Наряду с капиллярными и различными реализациями оптических методов контроля особое место КТ приобретает в исследовании поверхностных и приповерхностных слоев, т. к. в результате комплексирования методов повышается степень доверия к результатам контроля. Томография позволяет обнаружить и оценить раскрытие трещин в разнообразных объектах, подвергшихся различного рода физическим воздействиям на ранней стадии развития трещин. Анализируемый метод становится важнейшим средством в научных исследованиях в теории уплотнения, массопереноса, разрушения и т.п.



Из изложенного выше материала следует, что особую значимость приобретают вопросы, связанные с разрешающей способностью систем КТ. Разрешающая способность характеризуется функциями рассеяния точки, линии и функцией передачи модуляции (ФПМ). Указанные функции определяются экспериментально в соответствии со стандартами по определению метрологических характеристик систем: standard E1441-11, standard E1570-11, standard ISO 15708-1, ISO 15708-2.

Пространственное разрешение томографа с конусным пучком измеряется с предварительной фильтрацией излучения (требования стандарта ASTM E1695-95). В качестве ОИ используется стальной цилиндр диаметром 50 мм. Цилиндр размещается в поле зрения системы КТ в центре ступени вращения. Трехмерные КТ-изображения восстанавливаются по необработанным проекционным данным.

Эксперименты проводились на системе micro-CT с конусным пучком высокоэнергетического рентгеновского излучения с максимальной энергией 4 МэВ. Система была разработана и реализована учеными из Томского политехнического университета. Основными компонентами системы являются: детектор – панель Hе2, малогабаритный электронный ускоритель – Betatron MIB 4 и стол вращения. Панель Hе2 (Перкин Элмер, США) имеет размер 2048x2048 пикселей. Размер пикселя детектора 200 мкм. Бетатрон (ТПУ, Россия) имеет фокусное пятно с размерами 0,3 мм по горизонтали и 3 мм по вертикали.

С целью повышения эффективной энергии излучение предварительно фильтровали медной пластиной толщиной 4 мм. На рис. 1 представлены распределения линейного коэффициента ослабления (ЛКО) излучения по центральной части изображения объекта без фильтрации и с фильтрацией.

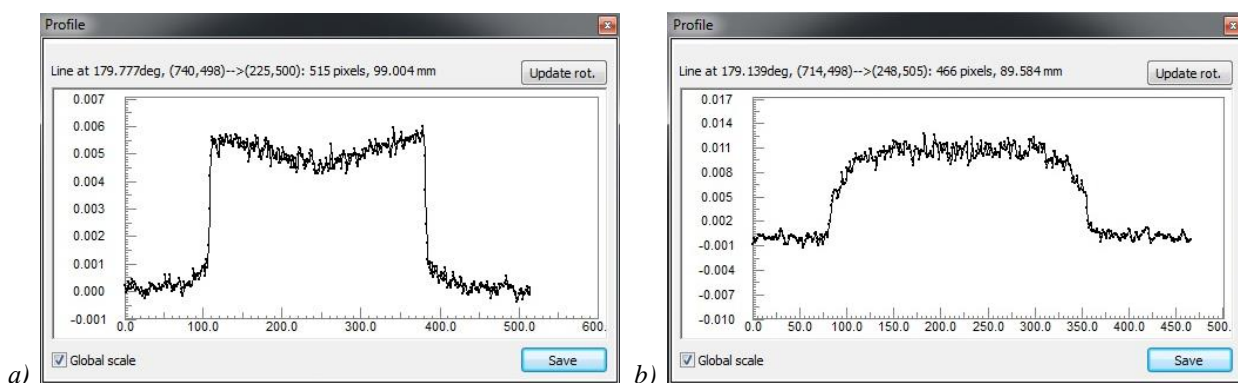
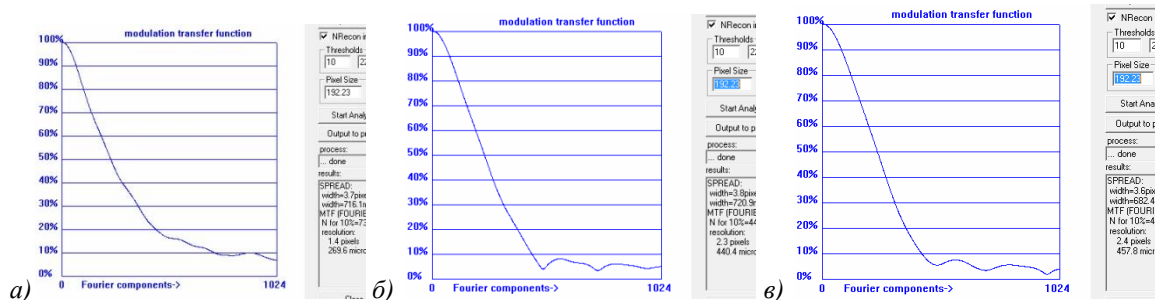


Рис. 1. Распределения ЛКО излучения: а) – без фильтрации; б) – с фильтрацией

Как видно из данных, приведённых на рис. 1, предварительная фильтрация излучения приводит к выравниванию значения ЛКО по сечению объекта и к увеличению однородности изображения.

Проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по оценке функции передачи модуляции высокоэнергетического компьютерного томографа Томского политехнического университета. ФПМ измеряли в плоскости XY, которые проходят через центр окружности (ось вращения является осью Z) с предварительной фильтрацией пучка. Методика измерения заключалась в следующем: в восстановленных трехмерных изображениях извлекался вспомогательный объем размером 1024 × 1024 пикселей, содержащий изображение цилиндра. На рис. 2 приведены оценки ФПМ, полученные с использованием программного обеспечения от Bruker micro CT.



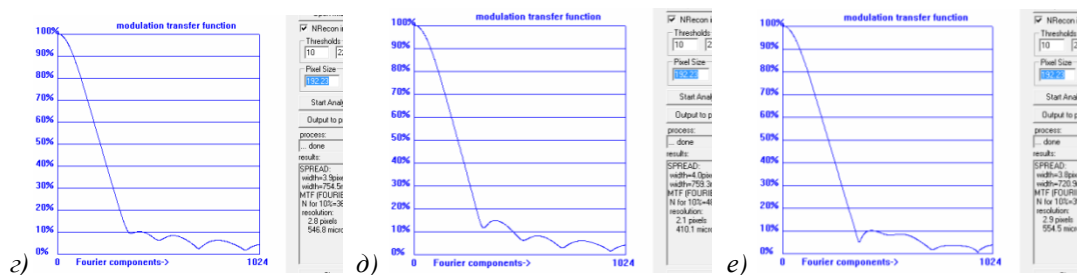


Рис. 2. ФПМ: а) – 1 МэВ; б) – 1,5 МэВ; в) – 2 МэВ; г) – 3 МэВ; д) – 3,5 МэВ; е) – 4 МэВ

Оценки ФПМ использовались для измерения раскрытия трещин в железобетонных изделиях, подвергшихся электроимпульсному воздействию. Наивысшее пространственное разрешение высокоэнергетической системы КТ с максимальной энергией 1 МэВ и предварительной фильтрацией излучения медной пластиной толщиной 4 мм составило 269,6 мкм.

## ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТА

*Зятков Денис Олегович, Юрченко Василий Иванович, Балашов Владимир Борисович*

*Томский политехнический университет*

*Юрченко Алексей Васильевич, д.т.н*

[zyatkov.88@mail.ru](mailto:zyatkov.88@mail.ru)

Достоверно установлено, что на основе магнитных жидкостей возможно создание новых композиционных сред, которые проявляют более заметную зависимость своих свойств от воздействия магнитных и электрических полей. Создание и исследование таких сред стало особенно актуальным в последнее время в контексте разработок так называемых «умных» материалов, способных контролируемо изменять свои характеристики в широком диапазоне в зависимости от внешних воздействий. Был предпринят ряд попыток создания подобного рода материалов путем введения в магнитную жидкость микро- и наночастиц различных материалов, имеющих разную микрогеометрию. В результате были получены среды с изменяющимися в магнитном поле реологическими, оптическими и магнитными свойствами [1, 2].

Настоящая работа имеет целью дальнейшее развитие исследований магнитных свойств композиционной магнитной жидкости в емкостной ячейке под воздействием слабых магнитных полей. При воздействии внешнего магнитного поля микрочастицы, находящиеся в магнитной жидкости ориентируются и объединяются в цепочечные структуры, выстроенные вдоль магнитного поля. Вследствие значительного различия свойств наполнения в магнитной жидкости, происходящие в магнитном поле процессы структурообразования, приводят к значимому изменению макроскопических свойств такого композита.

Исследование процессов микроструктурирования магнитных суспензий в слабых магнитных полях с применением частиц разной дисперсности и высокой магнитной проницаемостью слабо изучено. Актуальность исследования может быть обусловлена практическим применением его результатов для создания датчиков слабых магнитных полей.

Как правило, в связи с применением магнитных жидкостей их исследуют в сильных магнитных полях ( $B = 10^{-3} - 10^3$  Тл). Исследование механизма структурирования магнитных частиц в жидкой матрице под действием слабого магнитного поля ( $B = 10^{-6} - 10^{-9}$  Тл) и создание модельных композиционных магнитных сред для чувствительного элемента емкостного датчика магнитных полей представляет несомненный научный интерес. Важность решаемых задач связана с поиском перспективных магнитных веществ, восприимчивых к слабому магнитному полю. Поэтому исследование влияния магнитных частиц различной формы и размерности, входящих в состав магнитных жидкостей, на процессы формирования цепочечных структур под действием магнитного поля является актуальной задачей [3, 4].

В экспериментальных исследованиях применялась магнитная жидкость на основе органических масел, содержащая наночастицы железа, карбонильного железа и микрочастицы нанокристаллического сплава. Для изучения влияния магнитной жидкости на электрические параметры ячейки она подвергалась воздействию внешнего магнитного поля. Измерения емкости ячейки проводились при действии магнитного поля параллельно и перпендикулярно измерительному электрическому полю. Магнитное поле создавалось постоянным магнитом. Для определения силы магнитного поля (магнитной индукции) магнита,

действующего на измерительную ячейку, использовали микротесламетр МТ-10. Для этого показания микротесламетра МТ-10 устанавливали на ноль и подносили магнит, по измерительной линейке определяли расстояние от магнита до микротесламетра МТ-10 и фиксировали силу магнитного поля действующего на микротесламетр МТ-10.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможности детектировании слабого магнитного поля создаваемого магнитом. Изменение емкости конденсатора с магнитной жидкостью обусловлено протекающими в них процессами структурообразования и размерами частиц в жидком носителе, разной вязкости. Варьируя такими параметрами как: размер и конфигурация частиц, жидкий носитель, магнитная проницаемость частиц, можно увеличить чувствительность емкостного датчика с магнитной жидкостью к индукции магнитного поля.

Список литературы:

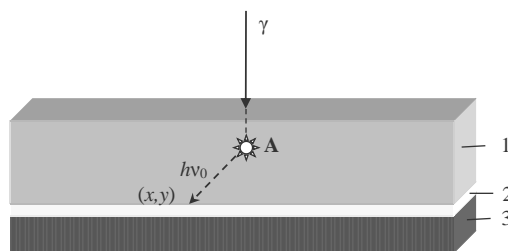
- [1] Блум, Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О // *Магнитные жидкости*. Рига:Изд-во Зинатне. 1989. 387 с.
- [2] Смерек Ю. Л. // *Вестник СГУ*. 2001. – Вып. 28. –С. 184 – 187.
- [3] Зятьков Д. О., Юрченко А. В., Балашов В. Б., Юрченко В. И. // *Ползуновский Вестник*. 2015. – Вып. 3. – С. 161–164.
- [4] Zubarev A. Yu., Iskakova L. Yu. // *JETP*. 1995. 80(5) с. 857-866.

## **ОЦЕНКА СОБСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ ТОЧКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ПАНЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Осинов Сергей Павлович, Осинов Олег Сергеевич, Чинь Ван Бак  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Осинов Сергей Павлович  
[osip1809@rambler.ru](mailto:osip1809@rambler.ru)*

Под пространственным разрешением (ПР) систем цифровой радиографии (СЦР) понимается способность различать мелкие близкорасположенные объекты [1]. Оценка ПР для СЦР является сложной задачей. Одним из подходов к решению которой является предварительное построение функции рассеяния точки (ФРТ) [2] с последующей оценкой ПР. Под ФРТ понимается распределение яркости изображения для моно-направленного точечного источника при перпендикулярном падении излучения на фронтальную поверхность детектора. Оценка ПР находится в результате анализа суммы ФРТ для двух излучающих точек. Под ПР будем понимать минимальное расстояние между центрами изображений излучающих точек при их надёжном разделении по радиографическому изображению ОК. В СЦР широко применяются панельные детекторы (ПД).

На рис. 1 приведена типичная схема ПД, состоящего из монокристаллических или поликристаллических сцинтилляционных экранов (СЭ) – 1, переходного слоя – 2 и матрицы фотоприёмников (ФП) – 3. Специфической особенностью ПД на основе СЭ является отсутствие обособленности элементарных чувствительных объёмов (ЭЦО) по световому и ионизирующему излучению [3], что существенно влияет на ПР. Под ЭЦО понимается объём СЭ, соответствующий одной точке радиографического изображения. Рассмотрим подход к оценке собственной ФРТ сцинтилляционных экранов.



*Рис. 1. Структура панельного детектора*

Пусть пучок излучения падает на СЭ в точке с координатами  $(0,0)$ ,  $\bar{E}$  – средняя энергия зарегистрированного фотона [4],  $\lambda$  – линейный коэффициент ослабления (ЛКО) материалом СЭ собственного излучения,  $h, \Delta$  – толщины СЭ и промежуточного слоя,  $\mu(\bar{E}), \mu_e(\bar{E})$  – ЛКО фотонов и электронов с энергией  $\bar{E}$ , тогда формула для оценки ФРТ  $f(x)$  с учётом переноса энергии вторичными фотонами и трансформации её в световую энергию для точек  $(x,0)$  удалённых от периферии СЭ, имеет вид

$$f(x) = \int_0^h \int_0^{2\pi R_c(\bar{E})} \int_0^{\bar{E}} \frac{\bar{E}\mu(\bar{E})\mu_e(\bar{E}) e^{-\mu(\bar{E})l - \mu_e(\bar{E})r - \lambda\sqrt{(h+\Delta-l)^2 + (x-r\cos\varphi)^2 + (r\sin\varphi)^2}}{2((h+\Delta-l)^2 + (x-r\cos\varphi)^2 + (r\sin\varphi)^2)} dr d\varphi dl. \quad (1)$$

где  $(r,\varphi)$  – координаты точки, излучающей свет, в цилиндрической системе координат, связанной с линией распространения первичного рентгеновского излучения;  $R_c(\bar{E})$ . Связь  $\bar{E}$  с параметрами СЭ и с максимальной энергией рентгеновского излучения  $E_0$  описывается формулами из [4].

ЛКО электронного излучения  $\mu_e(\bar{E})$  оценивается с помощью выражения [5]

$$\mu_e(\bar{E}) \approx 15,2 \frac{Z_{sc}}{A_{sc}} \bar{E}^{-1,485} \rho_{sc}, \quad (2)$$

где  $\rho_{sc}, Z_{sc}, A_{sc}$  – плотность, эффективный атомный номер и молярная масса материала СЭ.

Функция  $f(x)$  является симметричной и одномодальной. Поясним связь ФРТ и  $r_g$ . Для этого рассмотрим функцию  $g(x,c) = f(x) + f(x+c)$ , здесь  $c$  – расстояние между двумя излучающими точками. При возрастании параметра  $c$  функция  $g(x,c)$  из унимодальной функции превращается в бимодальную функцию. На рис. 2.a проиллюстрировано изменение функции  $g(x,c)$  при вариации параметра  $c$  от  $r_0$  до  $5r_0$ . Здесь  $r_0$  – полуширина ФРТ на полувысоте. Функция рассеяния точки рассчитывалась для СЭ из  $\text{CdWO}_4$  толщиной 0,3 мм,  $E_0=250$  кэВ. Для надёжного различения излучающих точек на практике задают некоторое значение уровня локального минимума функции  $g(x,c)$  относительно максимумов, например, 70%. Для этого уровня и результатов расчёта, приведённых на рис. 2, практическое разрешение близко к  $2r_0=15,4$  мкм. Наличие шумов существенно осложняет оценку разрешения. Это подтверждают приведённые на рис. 2.b зависимости  $g(x,c)$  с равномерно распределённым аддитивным шумом на уровне 5% от максимума.

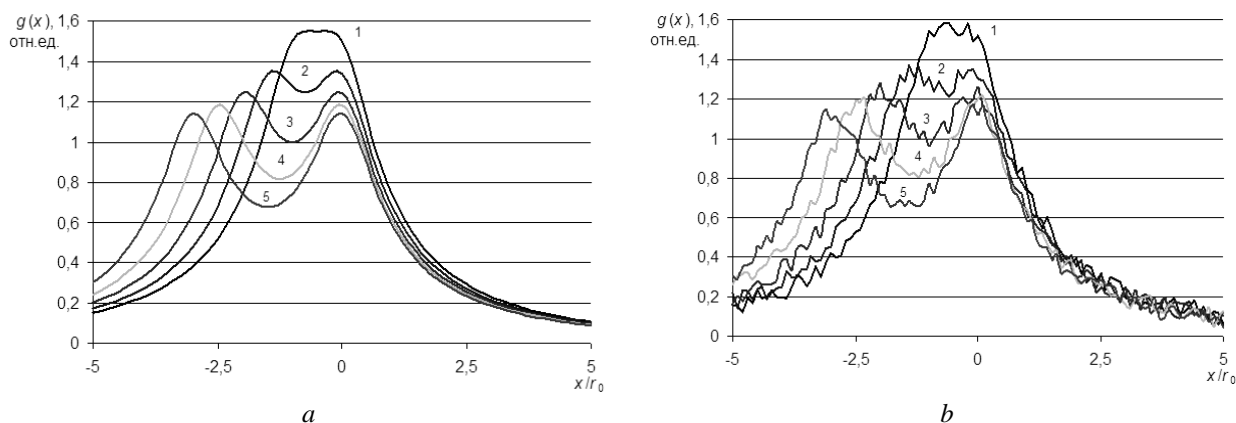


Рис. 2 –  $g(x, c)$ , а – без шума; б – с шумом: 1 –  $c/r_0=1$ ; 2 –  $c/r_0=1,5$ ; 3 –  $c/r_0=2$ ; 4 –  $c/r_0=2,5$ ; 5 –  $c/r_0=3$

В докладе представлен подход к оценке собственной функции рассеяния точки и собственного геометрического разрешения сцинтилляционного экрана панельного детектора рентгеновского излучения.

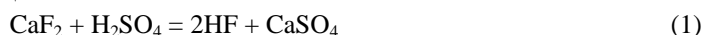
#### Список литературы:

- [1] Goldman L. W. // *Journal of nuclear medicine technology*. – 2007. Vol. 35. № 4. P. 213.
- [2] Watson S. A. // *Particle Accelerator Conference, Proceedings of the 1993. IEEE*. 1993. P. 2447.
- [3] Yaffe M. J., Rowlands J. A. // *Physics in Medicine and Biology*. 1997. Vol. 42. № 1. P. 1.
- [4] Zav'yalkin F. M., Osipov S. P. // *Soviet Atomic Energy*. 1985. Vol. 59. № 4. P. 842.
- [5] Mahajan C. S. // *Science Research Reporter*. 2012. Vol. 2. № 2. P. 135.

## МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ВОДОРАСТВОРИМОГО СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ В НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ

*Матвиенко Владимир Владиславович, Русина Ольга Николаевна*  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Федорчук Юрий Митрофанович, д.т.н.  
[vvm32@tpu.ru](mailto:vvm32@tpu.ru)

В настоящее время в промышленности существует довольно много химических технологий, в которых в качестве побочных продуктов образуются сульфаткальциевые отходы, которые после соответствующей переработки обладают вяжущими свойствами [1]. Сульфаткальциевые отходы образуются в технологии получения фтороводорода по реакции 1



Согласно технологической и экономической целесообразности данный процесс проводят с избытком концентрированной серной кислоты в температурном интервале (150-220) °С, поэтому в твердых отходах содержатся следующие химические соединения:  $\text{CaSO}_4$  водорастворимый,  $\text{CaSO}_4$  водонерастворимый, остаточные количества  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{SO}_3\text{F})_2$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Целевым продуктом для получения строительной продукции является  $\text{CaSO}_4$  водорастворимый [2].

Прочность строительных изделий (марочность) определяется количеством водорастворимой формы сульфата кальция (ВСК) в композитах. Требования, предъявляемые любому виду вяжущего, - обеспечить прочность строительных изделий, не ниже представленных в технических условиях. Заданную марочность ангидритового вяжущего (АВ) обеспечивают путем введения во фторангидрит определенных количеств серной кислоты и ее нейтрализацию кальций содержащей щелочью, в результате чего образуются дополнительные количества ВСК. Конечным продуктом АВ будет являться гипсовый камень в виде различной строительной продукции (стеновой материал, штукатурка и пр.).

Контроль марочности техногенного ангидрита (ТА) ранее определяли на лабораторном стенде путем испытаний на прочность (изгибу и сжатию) затворенных водой образцов в виде балочек размером (160x40x40) мм или кубиков размером (40x40x40) мм, выдержанных на воздухе 24 часа с момента контакта ангидрита с водой. Такая длительная процедура анализа вызывает сомнения в качестве образующегося ТА и получаемого АВ в непрерывном процессе его получения.

Сотрудники технологической лаборатории каф. ЭБЖ ИНК ТПУ предложили и испытали в лабораторных условиях экспресс-методику определения водорастворимого сульфата кальция в отходах фтороводородного производства сублиматного завода ОАО «СХК». Были отобраны 3 пробы фторангидрита.

Суть эксперимента заключается в следующем. ТА после измельчения, нейтрализации и затворения водой имеет срок окончания схватывания около 24 часов; у техногенного ангидритового вяжущего (ТАВ) – это техногенный ангидрит, модифицированный 1,5 % масс. сульфата калия – конец схватывания наступает после 6 часов [3]. После получения затворенных образцов ТА и ТАВ и проведения пробоподготовки – выдержки на воздухе на протяжении двадцати четырех и шести часов и измельчения проб, образцы, полученные из ТАВ и ТА анализируют на дериватографе SDTQ 600. Наличие эндотермического эффекта свыше 100 °С с одновременной убылью массы навески указывает на диссоциацию кристаллогидратов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . На основании полученных дериватограмм путем несложных расчетов по реакции 2 определяют количество водорастворимого сульфата кальция в образце, потерявшем кристаллогидратную воду.



Количество ВСК, определенное по потере массы после дегидратации гипсового камня, полученного из ТАВ составляют соответственно для 1, 2 и 3 проб, % масс.: 15,9; 17,2; 21,6. Потери массы после дегидратации гипсового камня, полученного из ТА, составляют соответственно для 1, 2 и 3 проб, % масс.: 16,35; 17,6; 22,14. Сводная дериватограмма дегидратации (рис. 1) образцов гипсового камня, полученного из ТА, который использовали в качестве эталона, и ТАВ отражает идентичность процессов диссоциации кристаллогидратов сульфата кальция.

Для подтверждения корреляции прочности образцов ТАВ на сжатие от содержания ВСК было подготовлено 3 партии техногенного ангидрита (ТА), по 6 кубиков ТАВ, размерами (40\*40\*40 мм), согласно ГОСТ 310. Время твердения кубиков – 7 суток. Результат анализа определения предела прочности на сжатие ВСК: 1 – 10,833 МПа, 2 – 11,54 МПа, 3 – 13,178 МПа. Зависимость прочности на сжатие ТАВ (рис.2) от содержания водорастворимого сульфата кальция представлена образцами ТАВ (6 часов) и ТА (24 часа).

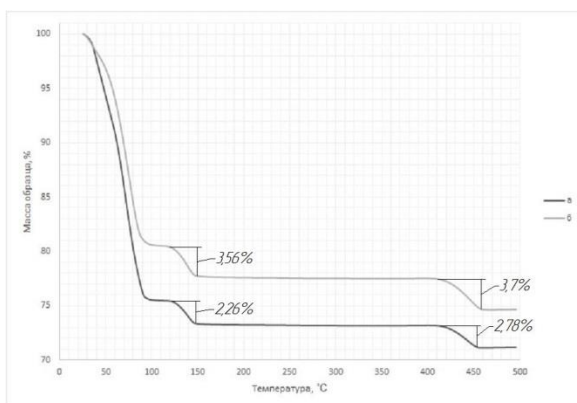


Рис. 1 Дериватограмма гипсовых образцов  
(а – из ТАВ, б – из ТА)

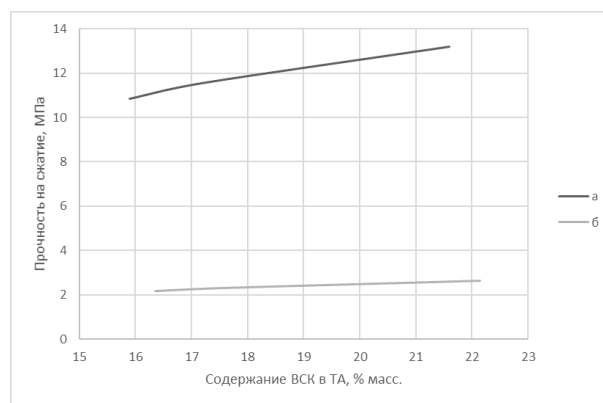


Рис. 2. Влияние ВСК на прочность сжатия  
гипсовых образцов (а – ТАВ, б – ТА)

На (рис.2) отражено влияние прочности от содержания ВСК в исходном фторангидрите. Для обеспечения необходимой прочности требуется марочность ТАВ - не ниже 10 МПа, которая обеспечивается наличием ВСК не ниже 15 % масс.

Выводы.

1. Получены результаты, подтверждающие корреляцию количества водорастворимого сульфата кальция и прочности строительных материалов и изделий.

2. За счет термогравиметрического анализа ангидритового вяжущего удалось определить количество водорастворимого сульфата кальция за 6 часов после выхода его из печи, что позволит корректировать марочность техногенного ангидритового вяжущего соответствующими способами, не дожидаясь 24 часов, 7 и 28 суток.

Список литературы.

- [1] Гипсовые материалы и изделия (производство и применение Справочник Под общей ред. А.В.Ферронской. – М.: Издательство АСВ, 2004-488 с.
- [2] Федорчук, Ю.М. Техногенный ангидрит, его свойства, применение / Ю.М. Федорчук. Томск: ТГУ, 2003. – 108 с.
- [3] Бондаренко С. А. Модифицированное фторангидритовое вяжущее и строительные материалы на его основе // Дис.. канд. техн. наук. – Челябинск: Челябинский гос. ун-т, 2008. 146 с.

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ

Мусоров Илья Сергеевич<sup>1</sup>

Торгаев Станислав Николаевич<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет

<sup>3</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

Евтушенко Геннадий Сергеевич, д.т.н., профессор

E-mail musorov@yandex.ru

Оптические методы визуального контроля находят широкое применение в различных областях науки и техники. Одним из методов такого контроля являются активные оптические системы на основе усилителей яркости на парах металлов, в частности на парах бромида меди [X]. Временное разрешение таких систем определяется частотой следования импульсов излучения (усиления) активной среды. На сегодняшний день максимальная частота следования импульсов излучения активных сред на парах бромида меди составляет 700 кГц [X]. Однако такая частота следования была получена для газоразрядной трубки (ГРТ) малого диаметра, работающей в режиме генератора (лазера), что недопустимо с точки зрения применения ее в качестве усилителя яркости. Также в ходе экспериментальных и теоретических

исследований было показано, что повышение частот следования импульсов излучения возможно при реализации накачки в режиме пониженного энергоклада в разряд [X].

Данная работа посвящена разработке высокочастотного источника накачки усилителя яркости на парах бромида меди, обеспечивающего режим пониженного энергоклада в разряд. Понижение вводимой мощности в источнике достигается за счет уменьшения длительности импульса накачки. Так, по полувысоте длительность выходного импульса не превышает 60 нс, при частоте следования импульсов до 1.1 МГц. Источник накачки основан на базе модуляторной лампы ГМИ-27Б включенной по схеме с общей сеткой, что позволяет снизить паразитные эффекты при переключении. Система управления построена с использованием многоразрядного микроконтроллера STM32F407 и обеспечивает плавную регулировку частоты и длительности выходных импульсов.

С использованием разработанного источника накачки были выполнены тестовые эксперименты работы активной среды на парах бромида меди. При этом активная среда работала в режиме генератора (при наличии резонатора). Экспериментальные диаграммы на различных частотах представлены на рис. 1.

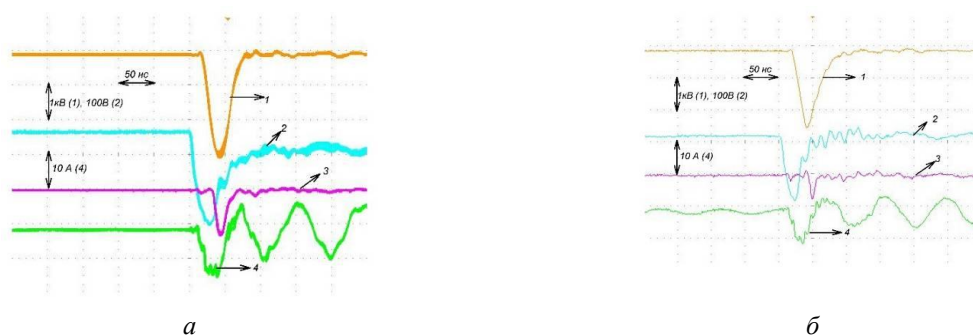


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на аноде модуляторной лампы (1), напряжения на транзисторе (2) импульса излучения усилителя яркости (3) и тока через ГРТ (4) при частотах следования импульсов накачки: а – 200 кГц; б – 420 кГц.

Экспериментальные осциллограммы показывают, что использование разработанного источника позволяет обеспечить работу усилителя яркости с высокой частотой следования импульсов излучения в режиме пониженного энергоклада в разряд. В частности, длительность импульса накачки (по полувысоте) не превышает 50 нс, при сравнительно малой амплитуде тока через ГРТ – не более 15 А. В ходе проведения экспериментов было получено излучение активной среды на парах бромида меди при работе в режиме сверхсветимости на частоте 200 кГц.

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

Список публикаций:

- [1] Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyarov D.V. // *Review of Scientific Instruments*. 2014. Vol. 85. Issue 3. Article number 033111. p. 1-5.
- [2] Nekhoroshev V.O., Fedorov V.F., Evtushenko G.S., Torgaev S.N. Copper bromide vapour laser with a pulse repetition rate up to 700 kHz // *Quantum Electronics*. - 2012 - Vol. 42 - №. 10 - p. 877-879.
- [3] Boichenko A.M., Evtushenko G.S., Nekhoroshev V.O., Shiyarov D.V., Torgaev S.N. CuBr-Ne-HBr laser with a high repetition frequency of the lasing pulses at a reduced energy deposition in the discharge // *Physics of Wave Phenomena*. - 2015 - Vol. 23. - Issue 1. - p. 1-13.
- [4] 15. Evtushenko G.S., Torgaev S.N., Trigub M.V., Shiyarov D.V., Evtushenko T.G., Kulagin A.E. // *Optics Communications*. 2017. Vol. 383. p. 148-152.

## УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

*Петухов Тимофей Дмитриевич Геннадий Сергеевич Евтушенко,  
Станислав Николаевич Торгаев, Евгений Николаевич Тельминов*

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Евтушенко Геннадий Сергеевич

smileedition@gmail.com

В связи с развитием лазеров на парах щелочных металлов с диодной накачкой перспективно рассмотреть возможность применения такого типа лазеров в усилителях яркости изображения для неразрушающего контроля изделий.

В данной работе рассматривается механизм получения генерации в ячейке с парами натрия при продольной накачке лазером на красителе, меньшей длиной волны, чем переход из основного состояния в уровень  $D_2$ , что моделирует накачку лазерными диодами. Приводится расчет уширения линии излучения.

### 1. Схема эксперимента

Упрощенная схема переходов в спектре натрия и схема эксперимента представлены на Рис. 1, 2, соответственно. В работе использована ячейка с парами натрия, с длиной подогреваемой зоны 10.5 см и диаметром 2.6 см. Температура внешней стенки ячейки составляла 235-235 °С, давление буферного газа – гелия при рабочей температуре достигает 500 Торр (исходное давление 300 Торр). Накачка красителя Пиромитен 597 осуществлялась второй гармоникой Nd-YAG-лазера (532 нм).

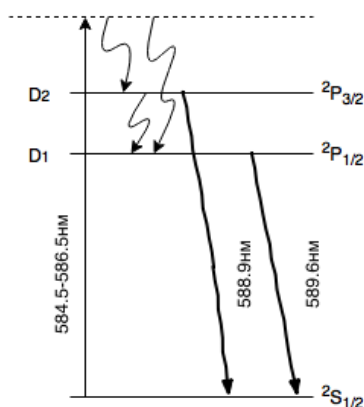


Рис. 1 Схема рабочих переходов натрия

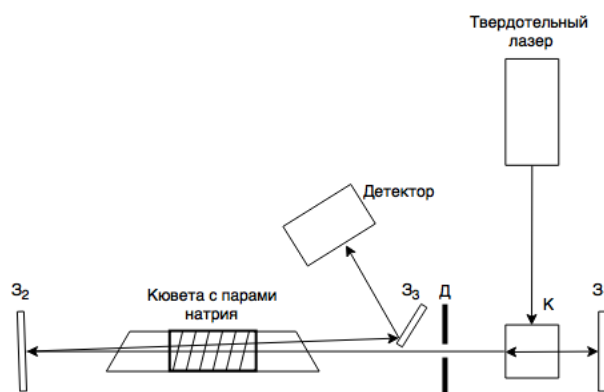


Рис. 2 Схема эксперимента

### 2. Результаты эксперимента

Излучения на линиях  $D_2$  и  $D_1$  натрия регистрировалось в основном на краю пятна прошедшего излучения накачки. Наилучшее регистрируемое соотношение интенсивностей линий накачки и линий натрия при различных энергиях накачки составило 1:1 при одном проходе излучения.

Регистрируемое двупроходное излучение характеризуется отношением интенсивности линии накачки к линиям натрия как 1:2 (Рис.3) Регистрируется излучение на обеих линиях  $D_2$  и  $D_1$  натрия.



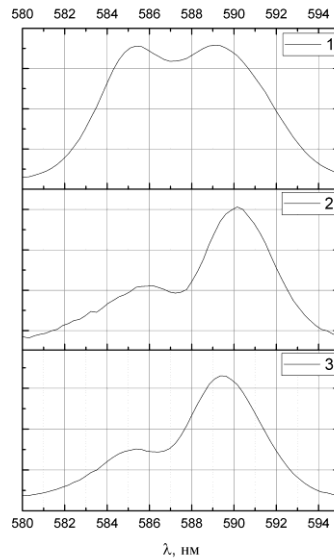


Рис. 3 – однопроходовое излучение, 2,3 – двухпроходовое излучение. Энергия импульса накачки 4.5 мДж.

Временные характеристики однопроходового излучения, полученные при различных температурах зарегистрированы полупроводниковым детектором (Thorlabs DET10A) представлены на Рис.4.

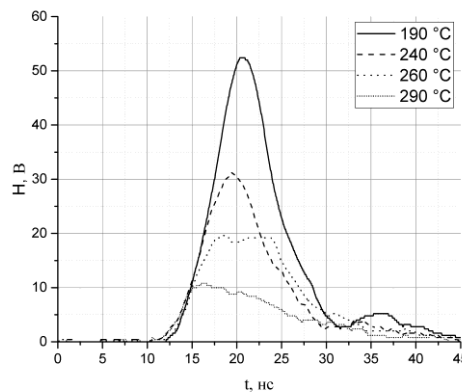


Рис. 4 Временные характеристики однопроходового излучения

Увеличение температуры – увеличение концентрации атомов натрия ведет к появлению спонтанного излучения на D-линиях при температурах 190-240°C. Затем при температуре 260°C отчетливо различается второй максимум что соответствует появлению усиленного спонтанного излучения на D-линиях. Дальнейшее увеличение температуры приводит к наибольшему поглощению как излучения накачки, так и собственного излучения среды.

### 3. Расчет полуширины линии излучения

Ниже приведен расчет полуширины линии излучения D<sub>1</sub> (589.6 нм). При расчете ширины линии излучения необходимо учесть, что среда находится под достаточно высоким давлением, а, следовательно, необходимо учитывать не только Доплеровское (тепловое) уширение линии, но и столкновительное. Получение результирующего уширения линии излучения возможно при использовании функции свертки (функцию Фойгта):

$$S(\lambda) = \frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_D \cdot \pi^2} \cdot \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-z^2}}{\left( \left( \frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_D} \cdot \sqrt{\ln(2)} \right)^2 + \left( \frac{c}{\lambda} - \nu_0 \right) \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{\ln(2)} - z}{\Delta\nu_D} \right)^2} dz}{\left( \frac{\Delta\nu_L}{\Delta\nu_D} \cdot \sqrt{\ln(2)} \right)^2 + \left( \frac{c}{\lambda} - \nu_0 \right) \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{\ln(2)} - z}{\Delta\nu_D}}$$

Результаты расчета контура линии D<sub>1</sub> приведены на Рис. 5. Результирующее значение уширения линии излучения по полувысоте составляет  $\Delta\lambda = 2.9 \cdot 10^{-12}$  м.

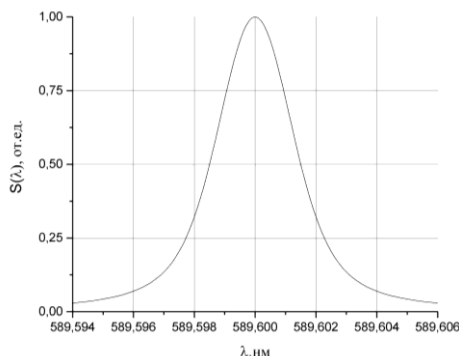


Рис.5 Контур линии  $D_1$  натрия

#### 4. Обобщение результатов и выводы

Результаты экспериментов показывают, что мы имеем дело с усилением спонтанного излучения на D-линиях натрия. Потому как наблюдается нелинейная зависимость интенсивности излучения на D-линиях от интенсивности накачки и укорочение фронта импульса, при появлении излучения на линиях натрия. Пороговая плотность мощности накачки при которой наблюдается регистрация ASE-излучения на D-линиях равна 2-3 МВт/см<sup>2</sup>, что соотносится с данными других авторов [1]. Для дальнейших оценок перспективности и возможности усилительных характеристик активных сред на парах щелочных металлов необходимо провести ряд экспериментов по измерению однопроходowego усиления среды и ширины спектра излучения (и поглощения) на  $D_1$  и  $D_2$  линиях.

Рассчитанная полуширина линии излучения 2.5 пм, оказывается одного порядка с полуширинами атомных линий на самограниченных переходах меди и других металлов, используемых в активных оптических системах (лазерном проекционном микроскопе и лазерном мониторе) [2].

Авторы выражают благодарность Суханову В.Б., Солодовой Т.А. и Сокоикову В.Г. за помощь при подготовке экспериментов и обсуждение результатов.

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

Список литературы:

- [1] Markov, R.V., Plekhanov, A.I. & Shalagin, A.M. 2001, "Population inversion on transitions to the ground state of atoms upon nonresonance absorption of laser radiation", *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, vol. 93, no. 5, pp. 1028-1034.
- [2] Evtushenko G.S. From a metal vapor laser projection microscope to a laser monitor (by the 50 year-anniversary of metal vapor lasers). // *Proc. of International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers (AMPL-2015) Tomsk, Russian Federation, September, December 15, 2015, Eds. Victor F. Tarasenko and Andrey M. Kabanov Proc. of SPIE, Volume 9810. pp. 98101F1-98101F-9.*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЕТАТРОНА МИБ-7,5/4

*Затонов Иван Андреевич*

*Штейн Михаил Михайлович*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Научный руководитель: Штейн Михаил Михайлович

E-mail [ivan.zatonov@yandex.ru](mailto:ivan.zatonov@yandex.ru)

Основной проблемой при увеличении частоты циклов ускорения бетатрона является его перегрев. Как показали многочисленные предыдущие исследования, наибольшая температура имеет место в центральной части электромагнита бетатрона, где расположены магнитные шунты, обмотки смещения и контрактора а также ускорительная трубка. Особенности конструкции бетатрона затрудняют эффективный отвод тепла от центра электромагнита путем вентиляции или другими известными способами охлаждения. Отвод тепла осуществляется, в основном, за счет теплопроводности, что требует высокого градиента температур и, следовательно, приводит к перегреву центра электромагнита.

Для оценки возможности повышения частоты бетатрона МИБ-7,5/4, который сейчас эксплуатируется на частоте 300 Гц, были сняты температуры в нескольких точках центральной части электромагнита. Была поставлена задача определить величины установившейся температуры при работе бетатрона в циклическом

режиме «работа -пауза». Так как при работе бетатрона происходит его нагрев, а во время паузы охлаждение, то при анализе теплового режима цикл правильнее назвать «нагрев-охлаждение».

Температура измерялась в четырех точках. Один термодатчик был наклеен прямо на провод обмотки смещения. Второй располагался на поверхности центрального магнитного шунта на радиусе, примерно равном половине радиуса самого шунта. Для установки в это место в немагнитных прокладках была сделана соответствующая прорезь. Еще один датчик был размещен на внутренней поверхности баллона трубки в зазоре между ней и шунтами. Четвертый термодатчик был прикреплен к выводу анода ускорительной трубки.

Датчиками температуры служили тонкопленочные платиновые сопротивления M222 Pt1000 со следующими параметрами: размеры 2,3x2,1 мм, номинальное сопротивление 1000 Ом при 0оС, температурный коэффициент сопротивления 3,85x10<sup>-3</sup> К<sup>-1</sup>, класс допуска А, диапазон измеряемых температур -50...300 оС. Зависимость сопротивления датчика от его температуры, имеет вид

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (1)$$

,где:  $R_0$  - сопротивление термодатчика при 0°С;  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления;  $T$  - температура в месте установки датчика.

Абсолютная температура определяется не только выделяемой мощностью, но и температурой окружающей среды. Более точно тепловые свойства самого объекта характеризует температура перегрева:

$$\theta = T - T_0 \quad (12)$$

, где  $T_0$  - некоторая начальная температура.

Экспериментальные исследования проводились только для одного циклического режима работы бетатрона: «30 минут нагрев- 30 минут охлаждение». Этот цикл был выбран потому, что он является одним из пунктов приемо-сдаточных испытаний.

Эксперимент на каждой из частот длился по 150 минут. Таким образом, в ходе эксперимента были сняты данные для трех процедур нагрева с чередованием между ними двух процедур охлаждения. Такое время измерений достаточно, потому что на третьем цикле процессы нагрева и охлаждения можно считать практически установившимися.

Аппроксимация температурных циклов производилась для обмотки смещения и магнитных шунтов. В первую очередь была поставлена задача определения возможности построения дополнительных теоретически-рассчитанных циклов ( $t > 150$  мин) при режиме работы «30 минут нагрев-30 минут охлаждение» на основе имеющихся экспериментальных данных.

В работе [1] подробно рассмотрено математическое описание циклических тепловых режимов и предлагается делать это описание в виде одной или в более сложных случаях суммой нескольких экспонент. Для обмотки смещения нужны минимум две экспоненты, которые условно можно назвать быстрой и медленной. Для шунта удовлетворительную точность может дать и одна экспонента.

Основываясь на этой рекомендации, предлагается следующее аналитическое описание температуры для обмотки смещения (3.5):

$$\begin{aligned} T_h(t) &= a * [1 - \exp(-b * t)] + c * [1 - \exp(-d * (t + S_{hi}))], 0 \leq t \leq t_h \\ T_c(t) &= a * \exp(-b * t) + c * \exp(-f * (t + S_{ci})), 0 \leq t \leq t_c \end{aligned} \quad (3)$$

, где  $a, b$ - коэффициенты аппроксимации быстрой экспоненты;  $c, d, f$ - коэффициенты аппроксимации медленной экспоненты;  $T_h(t)$ - температура во время этапа нагрева;  $0 \leq t \leq t_h$  - длительность этапа нагрева;  $T_c(t)$ - температура во время этапа охлаждения;  $0 \leq t \leq t_c$  -длительность этапа охлаждения;  $S_{hi}$  - температурное смещение при нагреве на  $i$ -том цикле;  $S_{ci}$  - температурное смещение при охлаждении на  $i$ -том цикле. В формулах (3) время  $t$  всегда отсчитывается от начала этапа.

Формулы, описывающие температурные циклы для центральных магнитных шунтов, отличается отсутствием второй экспоненты.

Рассчитав коэффициенты аппроксимации при помощи программ математического моделирования, были получены теоретические температурные циклы при времени  $t$  больше 150 минут, а также рассчитаны

другие циклы работы бетатрона: «45 минут нагрев – 15 минут охлаждение»; «15 минут нагрев – 15 минут охлаждения».

Таким образом, используя формулы (3) стало возможным произведения расчета теоретических параметров. При наличии экспериментальных данных температур перегрева на двух частотах, возможно произвести максимальную частоту бетатрона МИБ-7,5/4, при которой будет обеспечена его достаточно длительная надежная работа. Полученные данные позволяют более глубоко исследовать температурные режимы бетатрона, в частности, определить температуры при других временных циклах «нагрев-охлаждение» и, возможно, оптимизировать эти циклы с целью уменьшения максимальной температуры.

Список литературы:

[1] Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. *Тепловые режимы электронной аппаратуры. Учебное пособие для студентов высших технических заведений. «Энергия», 1971. С 248.*

## **ВИХРЕТОКОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ**

*Белянков Василий Юрьевич*

*Гольдштейн Александр Ефремович*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*Гольдштейн Александр Ефремович*

*vasyatpu@gmail.com*

Легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) используются в компоновке буровой колонны и применяются при глубоких, сверхглубоких, горизонтальных и наклонных бурильных работах. ЛБТ согласно ГОСТ 23786-79 и в соответствии с ISO 15546-2011 классифицируются по конструкции, виду прочности и термостойкости. Изготавливаются из сплава алюминия Д16Т способом прямого гидравлического горячего прессования. Выбор материала и метода изготовления обеспечивают трубе качества, которые оптимизируют буровые работы, при этом увеличивая износостойкость и эффективность всей колонны. Преимуществами этих труб являются небольшой вес, высокий коэффициент плавучести в буровом растворе, коррозионная стойкость в агрессивных средах (сероводород и углекислый газ), более высокая по сравнению со стальными бурильными трубами гибкость, облегчающая вписываемость труб в сильно искривленные участки ствола, виброгасящие свойства, немагнитность материала, что требуется для проведения инклинометрии скважин.

В процессе эксплуатации бурильных труб вследствие механического и коррозионно-механического изнашивания происходит уменьшение толщины стенки и, как следствие, потеря прочностных характеристик труб. Для ЛБТ труб этот процесс значительно ускоряется при работе в твердых породах и наличии щелочной и кислотной среды.

Для своевременного определения опасного утонения стенки и обеспечения безаварийной работы очень важен периодический эксплуатационный контроль толщины стенки бурильных труб. В настоящее время в соответствии с нормативными документами контроль толщины стенки ЛБТ труб производится с использованием акустического метода контроля, имеющего известные недостатки, связанные с высокой трудоемкостью и низкой производительностью контроля.

В настоящей работе предлагается техническая реализация вихретокового метода контроля толщины стенки ЛБТ труб, который может рассматриваться как альтернативный метод, свободный от указанных недостатков.

Наибольшее применение для решения задачи вихретоковой толщинометрии нашли накладные вихретоковые преобразователи (ВТП), достоинствами которых являются их универсальность, возможность контроля объектов плоской, цилиндрической, и сложной форм с односторонним доступом к объекту контроля, локальность, позволяющая обеспечить высокую разрешающую способность и точность определения зоны дефекта при сканировании поверхности объекта контроля.

Сложность решения задачи измерения толщины стенки электропроводящих труб с использованием накладного ВТП обусловлена возможным существенным изменением в реальных условиях контроля толщины стенки зазора между ВТП и поверхностью контролируемой трубы, а также удельной электрической проводимости материала трубы и существенным влиянием этих факторов на информативные параметры сигнала ВТП.

Фактически, задача измерения толщины стенки электропроводящих труб заключается в нахождении функциональной зависимости информативных параметров сигнала накладного ВТП от измеряемого параметра трубы - толщины стенки  $t$  с отстройкой от влияния на результаты измерения изменений в широких диапазонах зазора между ВТП и поверхностью контролируемой трубы  $h$  и удельной электрической проводимости материала трубы  $\sigma$ .

Наиболее эффективным способом отстройки от влияния на результаты вихретокового контроля одновременно нескольких влияющих параметров является использование многочастотного возбуждения вихревых токов.

На рисунке 1 показана структурная схема предлагаемого вихретокового толщиномера, реализующего двухчастотный метод контроля. Толщиномер содержит два генератора 1 и 2 гармонических сигналов частот  $f_1$  и  $f_2$ , схему синхронизации 3, сумматор 4, ВТП с возбуждающей 5, измерительной 6 и компенсационной 7 обмотками, вычитающее устройство 8, амплитудно-фазовые детекторы 9 - 12, интегрирующие дискретизаторы 13 - 16 вычислительный блок 17 и устройство индикации 18.

Особенностью предлагаемого толщиномера является то, что в объекте контроля осуществляется возбуждение вихревых токов двух синхронизированных частот. Такое возбуждение дает возможность осуществить качественное разделение сигналов ВТП, обусловленных каждой в отдельности частотной составляющей вихревых токов. Ранее эффективность такого решения была показана на примере его использования в вихретоковом дефектоскопе с разночастотным магнитным полем.

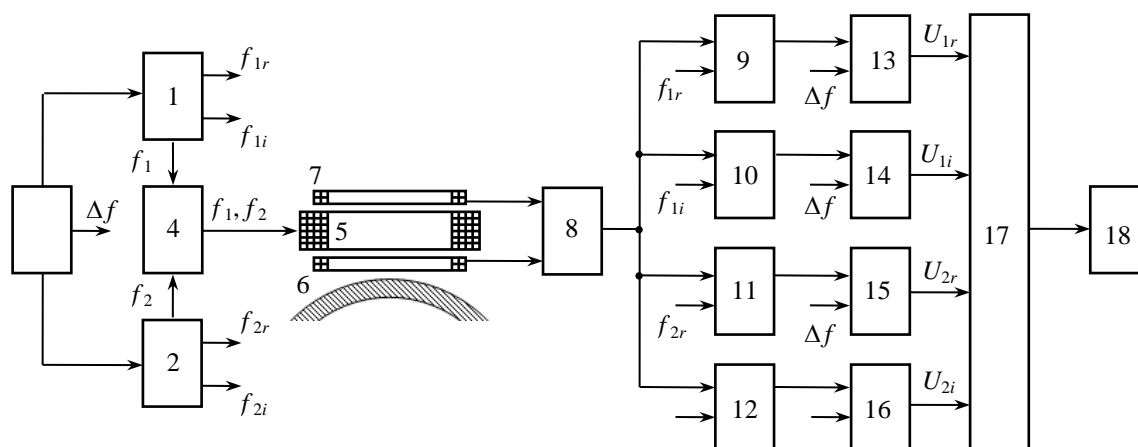


Рис. 1. – Структурная схема двухчастотного вихретокового толщиномера

Результаты испытаний опытного образца толщиномера показали, что в указанном диапазоне изменений влияющих параметров абсолютная погрешность измерения толщины стенки не превышает (0,2...0,3) мм. Без использования отстройки от мешающих факторов (например, от изменений электропроводности при изменении температуры в указанном диапазоне), погрешность измерения возрастает на порядок.

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Данн Денис Дмитриевич, Фурса Татьяна Викторовна, Петров Максим Вячеславович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Фурса Татьяна Викторовна

E-mail: [dddann@tpu.ru](mailto:dddann@tpu.ru)

Армированные бетонные конструкции часто эксплуатируются в условиях высоких изгибных нагрузок, что приводит к образованию трещин, которые являются главной причиной разрушения таких материалов. Поэтому определение процессов начала трещинообразования является важной задачей, в настоящее время для ее решения разрабатываются методы акустической эмиссии [1,2], также для этих целей может быть

использован метод неразрушающего контроля на основе явления механоэлектрических преобразований [3], который разрабатывается в Томском политехническом университете.

Исследования были выполнены с помощью программно-аппаратного комплекса, позволяющего производить импульсное механическое возбуждение изделий и регистрацию электрического отклика. Комплекс состоит из выносного измерительного зонда, платы ввода-вывода данных и ноутбука. Импульсное механическое возбуждение изделий производили электромеханическим ударным устройством с нормированной силой удара. Для регистрации электрического сигнала использовался дифференциальный электрический датчик, позволяющий существенно повысить соотношение сигнал-помеха. Сигналы регистрировались с помощью многофункциональной платы ввода-вывода, позволяющей осуществлять оцифровку временной реализации электрического сигнала.

Для исследования были использованы бетонные балки размером  $100 \times 100 \times 400$  мм армированные стальной и стеклопластиковой арматурой. Исследуемые образцы нагружались в прессе в условиях четырехточечного изгиба до разрушения. К исследуемому образцу с помощью жгута закреплялся измерительный зонд, что позволяло производить регистрацию электрического сигнала при ударном воздействии в процессе увеличения нагрузки.

В процессе нагружения наблюдается значительное уширение спектра, в котором практически отсутствует явно выраженный пик, а наблюдается большое количество близких по величине спектральных составляющих. Изменение спектра электрического отклика связано с процессами взаимодействия акустических волн, формирующихся в образцах в результате ударного воздействия, с трещинами.

Для количественной оценки изменения формы амплитудно-частотных характеристик электрических сигналов был использован корреляционный анализ. С помощью программы в среде программирования LabVIEW осуществлялось последовательное смещение спектров сигналов, зарегистрированных на различных этапах нагружения со спектром сигнала, зарегистрированного до нагружения, рассчитывался выборочный коэффициент корреляции Пирсона и определялся максимальный коэффициент взаимной корреляции двух сравниваемых спектров и величина смещения (по частоте), при котором наблюдается максимальный коэффициент корреляции.

На рисунке 1 приведены зависимости максимального коэффициента корреляции и смещение по частоте, при котором он наблюдается, от прикладываемой внешней нагрузки.

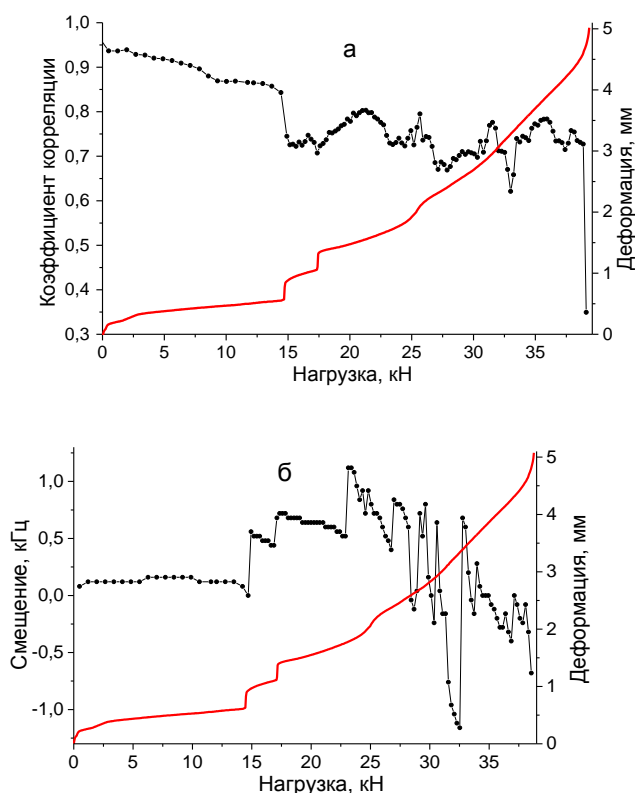


Рис. 1. Изменение максимального коэффициента взаимной корреляции спектра сигнала в условиях изгиба с исходным спектром (а) и смещения, при котором он наблюдается (б) для бетонной балки, армированной стеклопластиковой арматурой

На деформационной кривой представленной на рисунках 1а и 1б имеются участки резко изменяющегося смещения по деформации при неизменной нагрузке, они соответствуют образованию трещин.

Как видно из рисунков, в моменты появления трещин наблюдается скачкообразное изменение максимального коэффициента корреляции и величины смещения (по частоте), при котором он наблюдается. Эти два параметра могут быть использованы в качестве диагностических критериев для оценки начала процессов трещинообразования в условиях действия изгибных нагрузок.

Проведенными исследованиями показано, что по параметрам электрического сигнала на упругое ударное возбуждение можно оценивать процессы трещинообразования в армированном бетоне в условиях воздействия изгибных нагрузок.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №16-19-10119).

Список литературы:

- [1] Aggelis DG, Mpalaskas AC, Matikas TE // *Cem Concr Res.* 2013. Vol.48. P. 1.
- [2] Ohno K., Ohtsu M. // *Constr. Build. Mater.* 2010. Vol. 24. P. 2339.
- [3] Фурса Т.В., Данн Д.Д. // *Дефектоскопия.* 2011. № 5. С. 39.

## THE MONITORING SYSTEM OF SOLAR CELLS PARAMETERS BASED ON SOC

*Yan Yuhao*

*Undergraduate, College of physics Jilin University, Jilin, China*

*E-mail:429376468@qq.com*

**Abstract.** This article shows the monitoring system based on SOC, which is to be used in testing of solar cell parameters.

### 1. Introduction

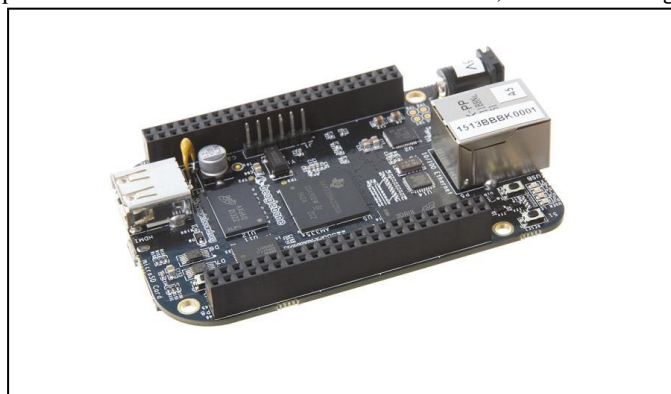
Nowadays, lack of energy and pollution are gradually increasing, in such situations, solar energy is becoming an important research topic to solve this problem. Therefore, improving the methods of measuring of solar cells is a key point in the research and manufacture of solar cells. Moreover, under the trend of the development System on Chip (SOC), measuring using a minicomputer has a brightening future

### 2. Beaglebone Black description

Many makers who work with electronics love microcontroller platforms like the Arduino, but as the complexity increases in their projects, sometimes an 8-bit microcontroller doesn't have the power or capabilities to do what they need it to do. For example, if you want to use a camera and computer vision algorithms to detect dirty dishes in your sink, it might be a good idea to explore your options with embedded Linux development boards. These boards are generally more powerful and more capable than their 8-bit cousins and are sometimes the perfect solution for projects that are too complex for our beloved Arduino.

Not only that, but as the price of embedded Linux platforms drops, the community of support around them grows, which makes them much more accessible to novice and intermediate makers than ever before.

The BeagleBone (Figure.1) is an embedded Linux development board that's aimed at hackers and tinkerers. It's a smaller, more barebone version of their BeagleBoard. Both are open source hardware and use Texas Instruments' processors with an ARM Cortex-A series core, which are designed for lowpower mobile devices.



*Fig.1 The BeagleBone Black*

### 3. System designing

Typically used for the measurement of current-voltage characteristics of solar cell parameters (Figure. 2). Added electronic load on the solar cell, if solar cell is short-circuited (load resistance is zero), the excess separated by a p-n junction, the generated charge carriers will be able to circulate through the short circuit, creating the highest possible value of the current - short-circuit current  $I_{sc}$ . In this case there is no accumulation of excess charge from the p-n transition occurs. The potential barrier will have the same height as the absence of optical radiation. Emf (Photoelectromotive force) will be zero. If the circuit of solar cell is open (infinite load resistance), all separated by a p-n junction, the charge carriers are collected at the p-n junction and compensate potential barrier, creating a photoelectromotive force equal to the voltage of idling  $V_{oc}$ . With electronic control of the load resistance from the ground up to the limit, current-voltage characteristics of solar cell is obtained.

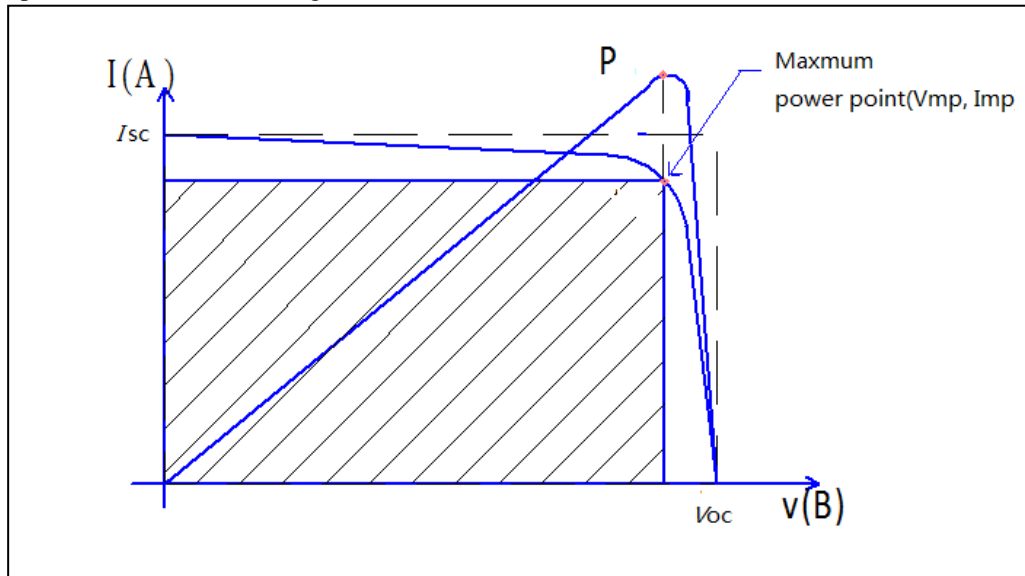


Fig. 2. Current-voltage characteristics of the solar cell

With the help of ADC, read the current and voltage became available.

ADC

To setup ADC, simply import the module, and call setup:

```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC

ADC.setup()
```

Then, to read the analog values on P9\_40, simply read them:

```
value = ADC.read("P9_40")
```

The values returned from read are in the range of 0 - 1.0. You can get the voltage by doing the following:

```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC

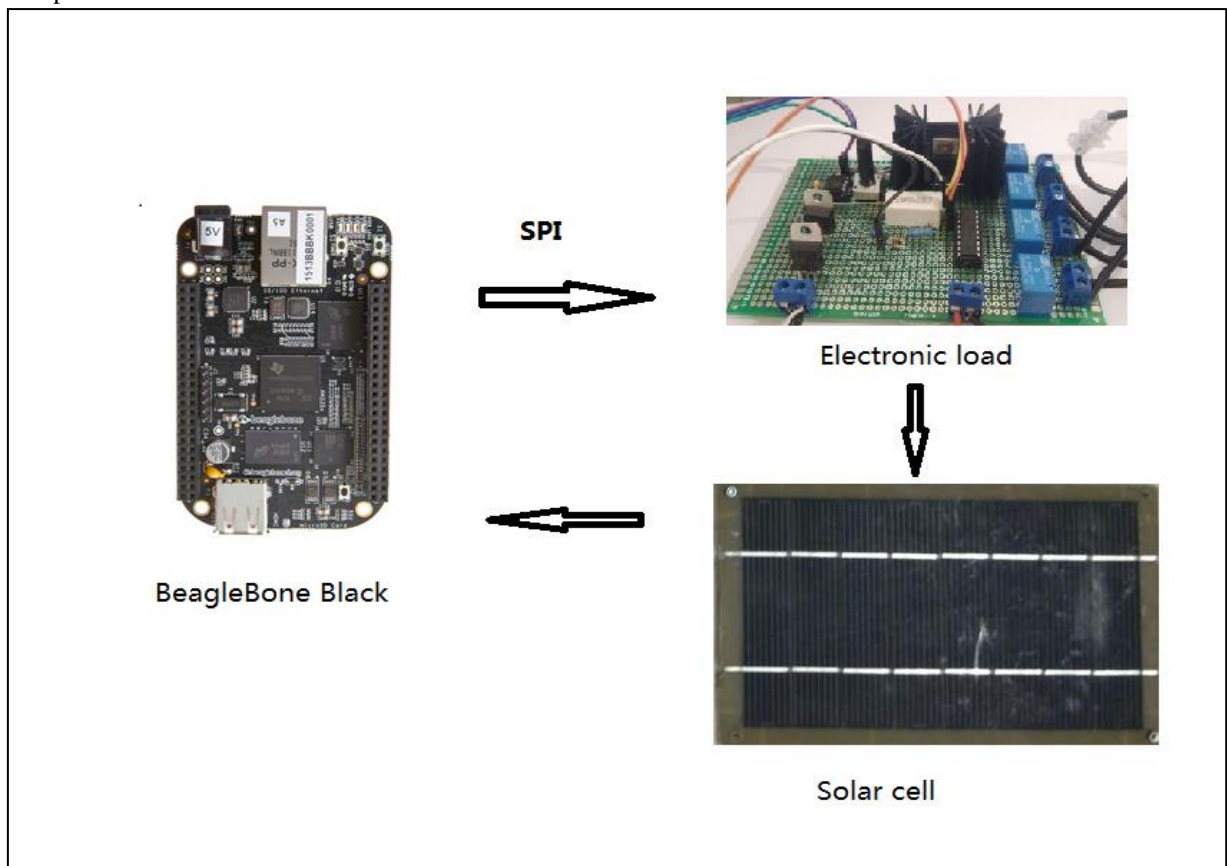
ADC.setup()
value = ADC.read("P9_40")
voltage = value * 1.8 #1.8V
```

Thus, the measurement consists of two parts:

Read the voltage and current on solar cell: Beaglebone black there is 7 ADC connectors available on Beaglebone Black as to simultaneously measure multiple parameters possible.



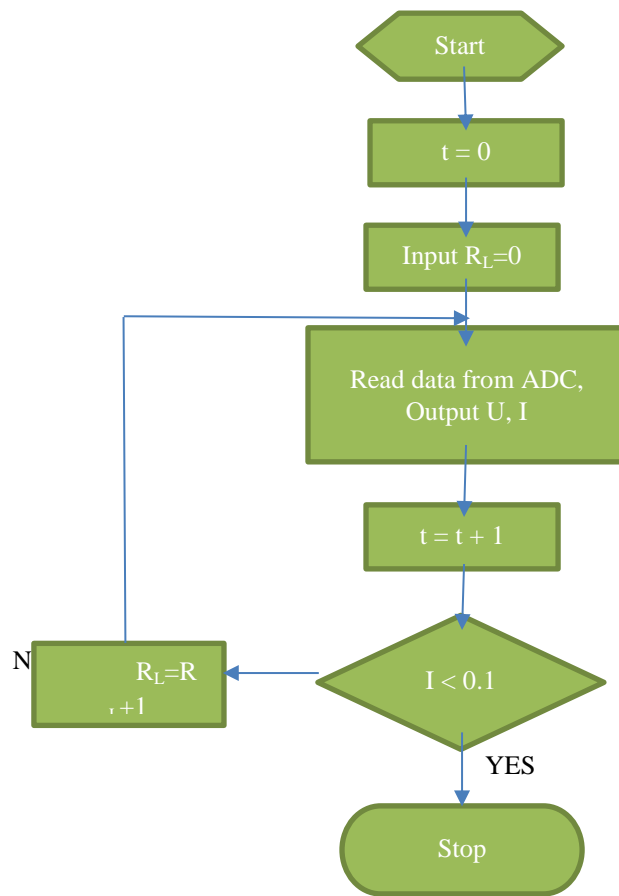
Regulation of the value of electronic load: type in the program cycle, which increase the value of e-load from the ground, when the current value of solar cell less than 0.1 (mean solar cell circuit open), the measurement is completed.



*Fig. 3. Diagram of the measurement parameters*

Launching the program, Beaglebone Black will record the current data and the voltage of the solar cell when the load change, with the findings to build a voltage-current characteristic and obtain the necessary parameters.

Measuring algorithm



#### 4. Results and conclusions

Launching the program, Beaglebone Black will record the current data and the voltage of the solar cell when the load change, with the findings to build a voltage-current characteristic and obtain the necessary parameters.

These days, a typical microcontroller-based board costs around \$20, while the BeagleBone Black retails for \$45 at the time of press. Other than a more powerful processor, what are you getting for the extra money?

There's a lot of buzz around Raspberry Pi, and while it's quite similar to the BeagleBone, there are certainly a few differences. For one, the Raspberry Pi is meant as a low-cost computer to encourage the younger generation to learn about how computers work and how to program them. Because of that, the hardware, software, and documentation are geared towards that objective. On the other hand, the BeagleBone is aimed more broadly at people interested in embedded Linux development boards and therefore has more options for connecting hardware and has a more powerful processor.

#### References

- [1] Matt Richardson // *Getting Started With BeagleBone*. – Maker Media, Inc. 2013. –3 c.
- [2] Antonio Luque, Steven Hegedus // *Handbook of Photovoltaic Science*

## КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТВЭЛОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ

Чинь Ван Бак, С.П. Осипов, А.В. Батрагин  
Томский политехнический университет  
Осипов Сергей Павлович, к.т.н  
[vanbac1008@gmail.com](mailto:vanbac1008@gmail.com)

Рентгеновские вычислительные томографы могут использоваться как на стадии тотального выходного контроля готовых изделий, так и в технологическом процессе с целью оперативного внесения возмущающих воздействий для корректировки параметров технологического процесса с целью поддержания качества ТВЭЛ на заданном уровне.

Система РВТ может решать ряд задач, характерных для испытываемого объекта контроля. К указанным задачам относятся:

1. измерение длины среднего (активного) слоя объекта контроля (погрешность не более 1 мм);
2. длину «холостых» концов, под которой понимается расстояние от торца объекта до начала среднего слоя (погрешность не более 1 мм);
4. обнаружение частиц активного материала с условным диаметром 0,1 мм в «холостой» части изделия с доверительной вероятностью 95 %;
5. оценка неоднородности распределения солей урана в среднем слое по коэффициенту  $K_T$  (относительная погрешность не более 5 % при площади усреднения 50 мм<sup>2</sup>);
6. обнаружение скоплений (1×1 мм<sup>2</sup>) частиц урана с доверительной вероятностью не менее 95% и измерение координат скоплений частиц урана в среднем слое;
7. измерение толщины оболочки (погрешность не более 0,03 мм);
8. измерение толщины среднего слоя (погрешность не более 0,05 мм).

На первом этапе определена схема получения исходной информации для РВТ, то есть схема сканирования. Схема сканирования существенно влияет на производительность и качество получаемых трехмерных изображений внутренней структуры.

Разработана Общая методика расчета параметров схемы сканирования и Продемонстрирована возможность применения предложенной выше методики сравнения схем сканирования для цилиндрического объекта массовой толщиной 4 г/см<sup>2</sup>, эффективный атомный номер  $Z_{eff} \approx 15$ . Длина объекта 1300 мм. Поперечный размер единичного детектора 0,1×0,1 мм<sup>2</sup>. Угол  $\theta = 40^\circ, 60^\circ, 80^\circ$   $E_{max} = 250$  кэВ.

Проведена экспериментальная проверка возможности контроля ТВЭЛ методом рентгеновской вычислительной томографии, включающая имитатор с крупными включениями и имитатор с мелкими включениями.

В качестве имитатора ТВЭЛ был взят полый цилиндр диаметром 25 мм из алюминиевого сплава с толщиной стенки 2 мм. В качестве матрицы использовали каменную поваренную соль крупного помола с насыпной плотностью 1,6 г/см<sup>3</sup>. Частицы тяжелого металла имитировали свинцовой дробью диаметром около 2 мм. Длина заполненной части цилиндра около 100 мм.

Для более реалистичной модели был разработан тестовый образец с более мелкими свинцовыми включениями. Основная часть включений в среднем слое имеет размеры от 0,3 до 1 мм. Для оценки возможности решения задачи 4, то есть обнаружения частиц активного материала с условным диаметром 0,1 мм в «холостой» части изделия с доверительной вероятностью 95 %, были помещены в холостой части имитатора ТВЭЛ несколько зерен из свинца условным диаметром около 0,1 мм. Для сопоставления размеров зерен в холостой части имитатора ввели дробинку с формой близкой к сфере диаметром 2 мм.

В результате теоретических и экспериментальных исследований сделан ряд выводов, касающихся сформулированных выше задач.

Список литературы

1. Кузелев, Н.Р., Косарев, Л.И., Юмашев, В.М., Штань, А.С. Исследование применения радиационной компьютерной томографии при контроле качества виброуплотненных ТВЭЛов // Атомная энергия. – 1987. – Т. 62. – № 3. – С. 22–26.
2. Жуков, Ю.А., Карлов, Ю.К., Косых, В.П., Потапников, А.К., Обидин, Ю.В., Чащин, С.Б. Компьютерная томография в задачах контроля сварных соединений ТВЭЛ // Автометрия. – 1997. – № 4. – С. 43.
3. Косарев, Л.И., Кузелев, Н.Р., Штань, А.С., Юмашев, В.М., Дворецкий, В.Г., Жителев, В.А. Опыт применения методов и аппаратуры радиационной интроскопии и томографии при обработке технологии

*изготовления топливных элементов АЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2006. – Т. 72. – № 1. – С. 32–35.*

*4. Gras C., Stanley S.J. Post-irradiation examination of a fuel pin using a microscopic X-ray system: Measurement of carbon deposition and pin metrology // Annals of Nuclear Energy. – 2008. – Vol. 35. – № 5. – P. 829–837.*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ НА НАНОСЕНСОРАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

*Нгуен Данг Куанг, Авдеева Диана Константиновна, Иванов Максим Леонидович,  
Наталинова Наталья Михайловна, Нгуен Данг Куанг,*

*Рыбалка Сергей Анатольевич, Турушев Никита Владимирович*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Авдеева Диана Константиновна

[nvtur90@mail.ru](mailto:nvtur90@mail.ru)

В текущем столетии ритм жизни человека значительно превышает ритм прошлого века. Количество информации, которую воспринимает и обрабатывает человек, объем выполняемой умственной и физической работы, неблагоприятная окружающая среда, эмоциональные переживания – все эти факторы создают значительную нагрузку на нервную систему человека и организма в целом. Подобные нагрузки приводят к возникновению периодических или затяжных стрессовых воздействий на нервную систему, перерастающих в, негативно сказывающиеся на работе мозга, хронические явления [1].

Хронический стресс, вызванный эмоциональной и физической нагрузками, негативно влияет на такие системы организма, как сердечно-сосудистая и эндокринная системы, желудочный-кишечный тракт, репродуктивные органы, опорно-двигательный аппарат и др. Ухудшение работы данных систем под воздействием стресса значительно увеличивает риск развития осложнений у людей, страдающих от хронических заболеваний (астма, диабет и др.), а так же появление патологий у здоровых людей [2]. Кроме того, эмоциональная нагрузка в ситуации, вызывающей продолжительные стрессы или сильный эмоциональный отклик, может привести к развитию у человека депрессии, фобий, паранойи [3] и психосоматические расстройства, вызванные соматизацией эмоций от пережитого негативного опыта [4]. По этой причине исследование психологических проблем, связанных с психоэмоциональным состоянием человека, является одним из направлений, развиваемых в медицине и диагностике.

Одним из факторов, затрудняющих анализ психоэмоционального состояния человека, является подавление негативных воспоминаний и сопутствующих эмоций, что может привести к последующему формированию комплексов или появлению хронического стресса на фоне непережитых должным образом эмоций. Данное подавление особенно опасно тем, что абсолютно никак не проявляется для окружающих и не осознается самим человеком. Таким образом, человек остается подвержен угнетению комплексами и невыраженными эмоциями, не понимая этого и не имея возможности, получить соответствующую помощь. Одним из решений данной проблемы является наблюдение за подсознательной реакцией организма на физиологическом уровне, а именно исследование изменения психофизиологического состояния человека.

Психофизиологическое состояние человека может быть оценено группой методик, широко применяемых в диагностической медицине: электрокардиография, электроэнцефалография, определение кожно-гальванической реакции, регистрация мышечного тремора, электромиография, электросомнография, плетизмография, измерение изменения грудного дыхания и т.д. Большинство из перечисленных методов относятся к электрофизиологическим методам диагностики.

Устройства для оценки психоэмоционального состояния представляют собой комплексы, исследующие несколько электрофизиологических показателей человека, описанных ранее. В разрабатываемом устройстве было использовано три основных диагностических электрофизиологических методики: электрокардиография, электроэнцефалография и измерение кожно-гальванической реакции. Измерение каждого электрофизиологического показателя проводилось при помощи биполярных отведений. Биполярное отведение выбиралось для минимизации возникновения артефактов. Так как целью исследования была разработка оптимального устройства для исследования психоэмоционального состояния

человека, необходимо было минимизировать количество отведений, чтобы уменьшить фактор влияния на эмоциональное состояние человека, вызванный наложением электродов, и уменьшить количество параллельно обрабатываемой информации. По этой причине, всего при исследовании использовалось три отведения – по одному на каждый вид исследования.

Разрабатываемое устройство представляет собой аппаратно-программный комплекс (АПК) для проведения электрофизиологических исследований. В состав комплекса входят: 7 Ag/AgCl наносенсоров, измерительный блок, подводящие провода и ноутбук. Наносенсоры являются пористыми керамическими структурами, содержащими наночастицы серебра, и обладают хорошими метрологическими параметрами: разность электродных потенциалов на постоянном токе – не более 2,0 мВ; дрейф напряжения на постоянном токе не превышает 0.005 мкВ/с; напряжение собственного шума в полосе частот от 0 до 10 кГц не превышает 200 нВ. Кроме этого электроды не поляризуются под воздействием постоянного тока и характеризуются высокой помехоустойчивостью, что позволяет реализовать аппаратную часть измерительного блока без использования фильтров во входной цепи [5].

Отсутствие фильтрующих входных цепей позволяет получать неискаженную фильтрами информацию. Благодаря тому, что в АПК используются высокостабильные малощумящие помехоустойчивые наносенсоры, АПК способен измерять сигналы уровнем от 0,3 мкВ в диапазоне частот от 0 до 10000 Гц. Частота дискретизации сигнала 32000 Гц позволяет регистрировать микропотенциалы длительностью от 0.3 мс. Использование широкого частотного диапазона при исследовании отличает прибор от существующих приборов, в которых во избежание мышечных и высокочастотных помех производится ограничение сигнала от 0.5 до 30 Гц. АПК позволяет получить максимум информации об электрофизиологических процессах, протекающих в пациенте без необходимости проникновения в организм и исследовать большинство частотных характеристик электрической активности мозга.

Дальнейшие исследования и доработка устройства будут направлены на создание полноценной базы шаблонов соответствия электрической активности мозга, сердца и кожно-гальванической реакции определенным видам эмоций и стрессового состояния. Это позволит в будущем лучше распознавать психологические триггеры, влияющие на здоровье человека и характеризующие подавленные эмоциональные переживания человека.

Список литературы:

- [1] *Karlson N.R. Physiology of behavior. - 11 изд. - Boston: Pearson, 2013*
- [2] *Stress effects on the body // American Psychological Association URL: <http://www.apa.org/helpcenter/stress-body.aspx> (дата обращения: 10.01.2017)*
- [3] *van Praag H.M. Can stress cause depression? // World J Biol Psychiatry. - 2005. - №6. - С. 5-22*
- [4] *Roy Abraham Kallivayalil R.A., Punnoose V.P. Understanding and managing somatoform disorders: Making sense of non-sense // Indian J Psychiatry. - 2010. - №52. - С. 240-245*
- [5] *Иванов М.Л. Разработка и исследование электрокардиографического аппаратно-программного комплекса на наносенсорах для регистрации микропотенциалов сердца в реальном времени без усреднения и фильтрации: дис. ... канд. тех. наук: 05.11.17. - Томск, 2015. - 258 с.*

## **УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ ИНСУЛИНА**

*Арышева Г.В., Аверкиев А.А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30*

*[arysheva@tpu.ru](mailto:arysheva@tpu.ru), [andyparkens@gmail.com](mailto:andyparkens@gmail.com)*

Системы с ультразвуковыми распылителями заменили во многих индустриях и исследовательских приложениях обычные распылители, ингаляторы и др., а также сделали возможными многие распылительные процессы, в том числе в медицине (усовершенствование процессов распыления медицинских препаратов).

Озабоченность проблемами окружающей среды, недопустимыми количествами промышленных отходов, а также побочными эффектами применения различных медицинских препаратов для пациентов заставила производителей использовать системы с ультразвуковой распылительной головкой, как технологию, которая более точна, контролируема, экологически чистая и безвредная для пациентов.

В работе произведен сравнительный анализ нескольких видов ультразвуковых распылительных приборов жидкости (их устройство и принцип работ) с целью создания собственного ультразвукового распылителя жидкостей, в частности - инсулина, условий его использования для людей, страдающих сахарным диабетом.

Разработка устройства направлена на уменьшение проблем, связанных с постоянным приемом инсулина, а именно – повышение эффективности лечения больных диабетом (возможно ускорение лечения), замена болезненного способа введения инсулина (через инъекции) прибором, через которое и будет поставляться лекарство - инсулин.

В настоящее время «Ультразвуковой распылитель инсулина» является одной из новейших идей в области медицинских технологий. Существуют опыты по внедрению ингалятора инсулина, однако апробация идет уже довольно долго и широкого применения не осуществлено. Принцип работы ультразвукового распылителя кардинально отличается от возможных аналогов, которых крайне мало.

В итоге, ультразвуковой распылитель инсулина лучше всего воспроизвести на базе технологии ультразвуковой распылительной головки. В конструкции будут использованы пьезоэлектрические элементы. Основными факторами при создании являются: размер капель распыления, диапазон рабочей частоты устройства, количество потребляемой мощности и размер прибора, вид используемого инсулина и его количество, выделяемое при атомизации.

## **РАЗРАБОТКА НЕИНВАЗИВНОГО ГЛЮКМЕТРА**

*М.Мезенцева, Е. Юрченко, А.Юрченко*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, проспект Ленина, дом 30*

В настоящее время сахарный диабет занимает третье место среди причин высокой инвалидности и смертности больных после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Несмотря на прогресс в медицине количество больных сахарным диабетом непрерывно растет. Каждые 12—15 лет число больных диабетом в среднем удваивается. В 2010 г. количество больных СД превышало 230 млн человек, и это люди которые самостоятельно обратились к врачу (регистрируемая распространенность). Основная масса больных СД типа 2 остается неучтенной, поскольку вследствие невыраженных жалоб или их отсутствия больные не посещают врача. По данным выборочных эпидемиологических исследований, проведенных в развитых странах мира, на одного обратившегося к врачу больного приходится 3—4 человека, не подозревающих о наличии у них СД. Аналогичные результаты получены и в отношении распространенности сосудистых осложнений при СД типов 1 и 2.

Регулярное измерение уровня глюкозы в крови требуется при всех типах сахарного диабета. Так, интенсивная инсулинотерапия при сахарном диабете 1 типа подразумевает определение уровня глюкозы в крови 5–6 раз в сутки. Традиционная инсулинотерапия при диабете 1 типа — 2–3 раза в неделю. При инсулинонезависимом гестационном сахарном диабете проводить измерение рекомендуется не реже 3 раз в сутки. Регулярность измерения глюкозы при наличии инсулинотерапии у людей с СД 2 индивидуальна. Проведение вышеперечисленных измерений для определения уровня глюкозы доступно человеку в домашних условиях и играет важную роль в оценке эффективности проводимой терапии. В силу того что полученные показатели имеют значение только в момент измерения (под воздействием ряда факторов показатель глюкозы в крови может меняться), для наиболее точной оценки результативности проводимых терапевтических мер.

Задача обеспечить не только быстрое, но и высокоточное определение глюкозы, на сегодняшний день вполне решаема, в то же время измерение таким путем требует больших затрат, так как тест-полоски необходимые больному ежедневно будут стоить около \$ 183.00 в год, т.е. ежегодные расходы пациентов с диабетом, которые требуют нескольких измерений за день (пожилые люди и дети и т.д.) будут гораздо выше.

В последние годы получили развитие поиски замены инвазивной технологии не-инвазивной без нарушения целостности кожи. Неинвазивные методы измерения концентрации глюкозы в крови, основанные на использовании отличия ее оптических и химических свойств и корреляционной связи уровня глюкозы с различными показателями жизнедеятельности человека.

Во всех неинвазивных оптико-электронных приборах используется источник широкополосного импульсного излучения с дальнейшим анализом поглощения света на определенной длине волны за счет узкополосных интерференционных фильтров и отдельных фотоприемников. Недостатком данного метода является разброс чувствительности фотоприемников, а потом необходимы перед каждым измерением проводить калибровку прибора.

Предложен прибор, который позволит измерять содержание глюкозы в крови за счет прохождения света через палец (мочку уха).

Он состоит из специальной клипсы на палец, на концах которой расположены светодиод и фотоприемник. Оба устройства необходимо закрыть для того, чтобы на них не попадало внешнее освещение. Для этого они покрыты непрозрачными крышками, состоящими из дихлорэтан.

Используется светодиод типа BIR VM 1331 с такими параметрами: длина волны — 940 нм, ток потребления — 50 мА при напряжении 1,25 - 1,5 В, мощность излучения при  $I = 50$  мА составляет около 2 мВт/см<sup>2</sup>. Угол наблюдения — 300.

В качестве фотоприемника применен фотодиод типа ВРТ ВР 0331, имеющий параметры: длина волны  $\lambda = 940$  нм, ток потребления —  $I = 0,35$  мА при напряжении  $U = 5$  В, темновой ток составляет 100 нА, а мощность  $E = 0,5$  мВт/см<sup>2</sup>.

Регистратором служит микроконтроллер АТmega8 который работает на основе Ардуино, а все значения выводятся на жидкокристаллический дисплей типа LCD 1620. Для того, чтобы питал светодиод, мультиметр необходимо немного переделать. Электропитанием служит батарейка типа АА (лучше аккумулятор) на 1,5 В. Схема клипсы показаны на рисунке 3.

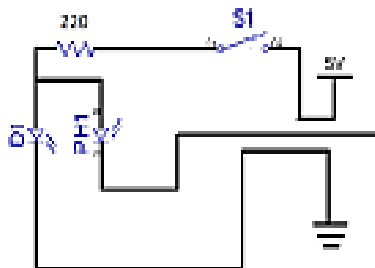


Рис. 1 Клипса для измерения глюкозы

Для калибровки прибора необходимо иметь стандартный глюкометр с полосками. Сначала измеряют значение концентрации по показателям стандартного глюкометра в сравнении со значениями напряжения на выходе фотоприемника.

## ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

*Нешина Елена Геннадьевна, Мехтиева Али Джаваниширович, Алькина Алия Даулетхановна*

*Томский политехнический университет*

*Юрченко Алексей Васильевич, доктор технических наук, профессор*

*[niipp@inbox.ru](mailto:niipp@inbox.ru)*

Целью нашей работы является разработка волоконно-оптического датчика (ВОД) с улучшенными метрологическими и эксплуатационными характеристиками, упрощенной конструкции и возможностью его последующего внедрения на горных предприятиях. Одним из перспективных направлений внедрения ВОД является использования в качестве датчиков информационно-измерительных систем нового поколения, для измерения давления в пневматической системы горных машин. Точный контроль параметров давления является важным моментом в обеспечении нормативных требований безопасности в условиях взрывоопасного производства и обеспечение искробезопасной цепи является обязательным требованием.

Актуальность использования ВОД для контроля технического состояния горных машин угольных шахт Карагандинского угольного бассейна, очень высока, так как при проведении горных работ в опасных условиях сверхкатегоричных шахт опасных по внезапному взрыву угольной пыли и газа метана, требуются надежные информационно – измерительные системы измерения, контроля и мониторинга (ИИСКМ) состояния горных выработок и оборудования с повышенными требованиями к искро - и взрывоопасности. Пренебрегая этими условиями можно создать условия возникновения серьезных аварий со значительными человеческими жертвами.

В ходе проведения анализа созданных систем контроля было выявлено, что в Казахстане подобные датчики не применяются, хотя российские ученые проводят исследования в этой области. Учеными из Кузбасского государственного технического университета Гуменным А. С., Дырдиным В. В., Яниной Т. И. было разработано Устройство непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород. Изобретение относится к горному делу, в частности к устройствам для непрерывного контроля напряженного состояния и степени удароопасности краевых зон массива горных пород в подземных выработках. Техническим результатом является повышение точности, оперативности и надежности работы устройства. Устройство непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород содержит источник светового сигнала, оптические датчики напряжений, волоконно-оптические кабели и блок индикации, регистрации и сигнализации.

Для создания информационно-измерительной системы на основе ВОД проведены исследования, которые направлены на поиск конструктивного исполнения датчика давления горной массы на элементы крепи, адаптированного к шахтам конкретно Карагандинского угольного бассейна. Необходимо определить воздействие со стороны массива пород, которые могут создать опасность внезапного обрушения свода, а также установить движение, деформацию и разрушение пород. Работа датчиков направлена на измерение в зоне опорного давления, так как при вскрытии массива давление, приходящее на стенки выработки гораздо выше, чем в нетронутом массиве, так как нарушается равновесие напряжений. Изменение в характере напряжений проявляется следующим образом, образуются области с низким значением механических напряжений в кровле и почве выработки и увеличиваются в боковых стенках, при этом в кровле преобладают растягивающие напряжения. Модель ВОД для исследования на механические воздействия представлена на рисунке 1.

Вокруг контура горной выработки образуются естественные трещины, высокая концентрация избыточной энергии которых приводит к разрушению контура и образованию открытых трещин. Для моделирования процесса воздействия горного давления на элементы крепи и определение параметров данного воздействия используем программу, основанную на методе конечных-элементов ANSYSSTATICSTRUCTURAL. В качестве объекта исследования будет рассмотрен волоконно-оптический датчик, разработанный нами для измерения горного давления породы на конструктивные элементы крепи. В качестве измерительного элемента используем оптическое волокно диаметром 9 микрон, расположенного на двух демпферах, которые представляют собой две резиновые прокладки. Горное давление передается на два стальных стержня, расположенных на расстоянии 4 мм друг от друга. В дальнейшем количество точек контакта будет увеличено до нескольких десятков, так как для контроля давления горных пород массива две точки явно недостаточно. Также можно будет изменить расстояние между резиновыми прокладками. Источником оптического излучения принят с длиной волны тестового диапазона 1310нм, 1550нм, 1625нм. Для моделирования давления на стальные стержни и передача его оптическому волокну использованы возможности программного продукта ANSYS, с помощью которого был проведен эксперимент. ANSYS позволяет рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки.



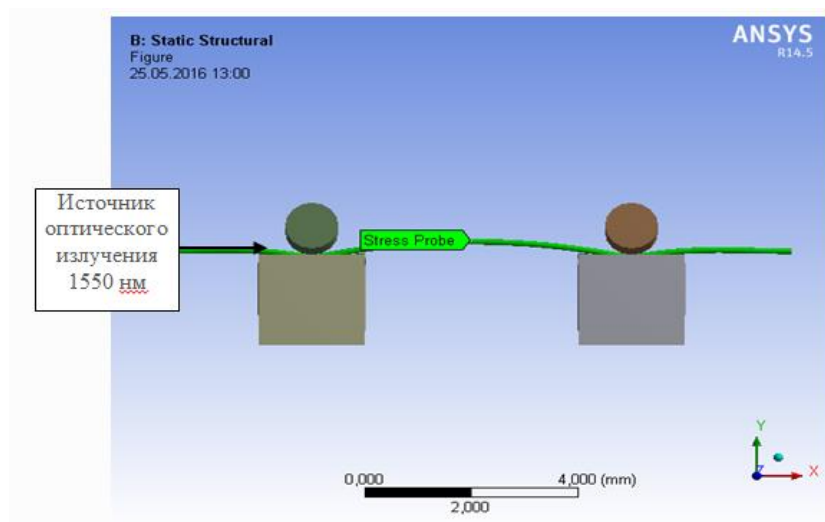


Рис.1. Модель ВОД для исследования на механические воздействия

Исследования показали, что смоделированный нами ВОД имеет незначительную нелинейность при приложенном давлении на стальные стержни от 1 до 10 МПа сохраняется стабильная линейность характеристик, соответственно есть возможность использование в качестве измерительного органа со стороны массива горных пород для контроля внезапного обрушения свода выработки.

Список публикаций:

- [1] Liu, All Fiber Optic Coal Mine Safety Monitoring System, (invited) SC3. SC3.2 IEE Explorer, Asia Optical Fiber Communication and Optoelectronic Exposition & Conference (AOE) 2008.
- [2] Мехтиев А.Д., Нешина Е.Г., Биличенко А.П. Исследование температурных воздействий на оптический кабель. Сборник XIX Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», г. Красноярск, 2016. – С. 101-106.
- [3] Соколов А.Н., Яцеев В.А. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы // Измерительная техника. LightWave. – 2006. – № 4.

## МЕТОД КОНТРОЛЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРИТОВОЙ КЕРАМИКИ

*Петрова Анна Борисовна*

*Мальшиев Андрей Владимирович*

*Томский политехнический университет*

*Суржиков Анатолий Петрович, д.ф.-м.н.*

*[abk9@tpu.ru](mailto:abk9@tpu.ru)*

Ферриты являются неметаллическими твердыми магнитными материалами, представляющими собой химические соединения оксида железа с оксидами переходных металлов, таких как титан, цинк, марганец, литий. Так, наряду с высокими электромагнитными параметрами, преимуществом ферритов является достаточно простая технология их изготовления, позволяющая получать материалы с различными заданными параметрами. Наибольшее распространение ферриты нашли в области радиотехники, электроники и автоматики, они применяются для изготовления сердечников бытовой и специальной радиоэлектронной аппаратуры, сердечников для телевизионной аппаратуры и импульсных трансформаторов, преобразователей постоянного напряжения, для магнитного экранирования и поглощения радиопомех и др.

Одним из важных параметров, позволяющих оценить ферритовую керамику, является магнитная проницаемость, исследование которой позволяет проследить за общими закономерностями преобразования дефектности материала. Актуальность данной тематики подтверждается публикационной активностью научных групп, занимающихся данным вопросом [1-3]. В литературе имеются сведения о различных методах, позволяющих осуществлять измерения магнитной проницаемости [4]. К ним относятся: мостовые методы измерения магнитных характеристик; индукционный метод с использованием дифференциального трансформатора; метод, основанный на измерении отношения двух напряжений, пропорциональных индукции и напряженности полям [5, 6]. Большое распространение получил косвенный метод, заключающийся в измерении индуктивности образца с намагничивающей обмоткой с последующим расчетом магнитной проницаемости образца. Цель данной работы заключалась в исследовании магнитной

проницаемости литий-цинковой ферритовой керамики, подвергшейся радиационно-термическому спеканию на ускорителе ЭЛВ-6 (ИЯФ СО РАН) при температурах 1050 °С и 1100 °С.

В качестве исходных реагентов для синтеза образцов служили промышленные порошки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ . Смесь порошков подвергалась механоактивации в планетарной мельнице АГО-2С с использованием стальных размольных стаканов и шаров в течении 60 минут при комнатной температуре в режиме максимальной энергонапряженности (g-фактор 60). Весовое соотношение материала и шаров составляло 1:10. Как показано в работе [7] механическая активация исходных реагентов обеспечивает более высокую гомогенность литиевых ферритов. Образцы формовались холодным односторонним прессованием в виде таблеток диаметром 15 мм и толщиной 2 мм на гидравлическом прессе ПГр-10 при постоянном давлении 200 МПа в течение 3 минут. Для измерения магнитных характеристик образцы прессовались при аналогичном давлении и времени в форме тороидов с размерами: диаметр внешний 21.3 мм, внутренний 16.3 мм, высота 2.4 мм.

Радиационно-термическое спекание образцов проводилось на ускорителе электронов ЭЛВ-6 в Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) при температурах 1100 °С и 1050 °С.

Удельное электрическое сопротивление образцов было определено двухэлектродным методом, при котором на торцевых гранях образца термическим испарением в вакууме были изготовлены омические контакты, через которые пропускали постоянный электрический ток при температуре 25 °С. Величина удельного сопротивления была определена по формуле (1) [8]:

$$\rho_{dc} = U \cdot S / (I \cdot d) \quad (1)$$

где  $U$  – приложенное напряжение, В;  $I$  – ток через образец, А;  $S$  – площадь электродов,  $\text{см}^2$ ;  $d$  – толщина образца, см.

Плотность спеченных образцов определялась методом гидростатического взвешивания с использованием аналитических весов Shimadzu AUW-220D. Расчет плотности производился по формуле (2):

$$\rho_k = \rho_{ж} \cdot m_c / (m_n \cdot m_b) \quad (2)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность дистиллированной воды,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $m_c$  – масса сухого образца, г;  $m_n$  – масса образца, насыщенного дистиллированной водой, г;  $m_b$  – масса образца, погруженного в дистиллированную воду, г.

По методике, представленной в работе [9], были определены открытая пористость образцов  $\Theta$ . На сканирующем электронном микроскопе были получены снимки микроструктуры образцов ферритовой керамики с облученной и с необработанной стороны, после чего, методом секущих, был рассчитан средний размер зерен в образцах  $D_{cp}$  (таблица 1).

Удельная намагниченность  $\sigma_s$  была рассчитана по формуле (3):

$$\sigma_s = M_s / \rho_t \quad (3)$$

где  $\rho_t$  – теоретическая (рентгеновская) плотность,  $4,85 \text{ г}/\text{см}^3$ . Значения намагниченности насыщения  $M_s$  измерялись с использованием импульсного магнитометра Н-04.

Область когерентного рассеяния (ОКР) и параметры решетки образцов обоих типов были определены при помощи рентгеноструктурного анализа. Температура Кюри для образцов ферритовой керамики была определена термомагнитометрическим методом, описанным в работе [10].

Для определения магнитной проницаемости  $\mu$  были использованы образцы в форме тороидов. Обмотка, состоящая из 30-35 витков, была выполнена из медного провода в лаковой изоляции. Измерения индуктивности  $L$  (измеритель LCR-819) проведены при комнатной температуре. Значения магнитной проницаемости образцов рассчитывались по формуле (4) [5]:

$$\mu = 10^9 \cdot L / [2 \cdot \ln(D/d) \cdot h \cdot N^2] \quad (4)$$

где  $D$  – внешний диаметр тороидального сердечника, см;  $d$  – внутренний диаметр тороидального сердечника, см;  $h$  – высота тороидального сердечника, см;  $N$  – число витков.

Таблица 1 – Магнитные, электрические и структурные параметры литий-цинковой ферритовой керамики

Обра- зец	$T_{сп}$ , °С	$\mu$	$\rho_{dc}$ , Ом·см	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Theta$ , %	$D_{cp}$ , мкм	$\sigma_s$ , Гс·см <sup>3</sup> ·г <sup>-1</sup>	О.К.Р., нм	Параметр решетки, Å	$T_k$ , °С
1	1100	69,3	$2 \cdot 10^3$	4,15	13,2	2,5	67	148	8,3545	509
2	1050	49	$6,6 \cdot 10^3$	4,09	14,5	2,2	70,5	131	8,3593	508

Таким образом, в работе показана удовлетворительная применимость косвенного метода измерения магнитной проницаемости литий-цинковой ферритовой керамики. Как видно из таблицы, искомое значение магнитной проницаемости образцов первого типа, значительно выше, чем для образцов второго типа. Следовательно, для получения более высоких значений магнитной проницаемости образцов ферритовой керамики, спеченной радиационно-термическим способом, целесообразно применять более высокую температуру спекания. Также для образцов, полученных при более высокой температуре характерны более высокие значения плотности, низкая пористость и удельное сопротивление. При этом значения других магнитных и рентгеноструктурных параметров остаются практически неизменными.

Список публикаций:

- [1] Притулов А. М. и [др.] // *Перспективные материалы: научный журнал*. 1998. № 2. С. 62,
- [2] Susliaev V. I., Korovin E. Yu., Zhuravlev V. A. // *IJNT*. Vol. 12. № 3/4. P. 192.
- [3] Malyshev A. V., Lysenko E. N., Vlasov V. A., Nikolaeva S. A. // *Ceramics International*. 2016/ Vol. 42. № 14. С. 16180.
- [4] Шрамков Е. Г. // *Изд-во: М.: Высшая школа*. 1972. С. 397
- [5] Чечерников В. И. // *Изд-во: М.: МГУ им. Ломоносова*. 1969. С. 242.
- [6] Гадиев Т. А., Куркачева В. А., Гайнуллин Р. Н. // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 1. С. 30
- [7] Surzhikov A. P., Lysenko E. N., Vlasov V. A., Malyshev A. V., Nikolaev E. V. // *Russ.Phys.J.* 2013. № 56, P. 681
- [8] Еспенбетов Ж. Р., Мальшиев А. В. // *Не разрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность*, г. Томск, 23-27 мая 2016 г.: в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 1. 4 С.
- [9] Петрова А. Б. // *Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск, 3-8 октября 2016 г.: в 3 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 1. С. 163.*
- [10] Тойчбай Э., Астафьев А. Л., Лысенко Е. Н. // *Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 26-29 апреля 2016 г.: в 7 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 2. С. 38.*

### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА «ЭКГ-ЭКСПРЕСС»**

*Перчаткин Владимир Анатольевич<sup>1</sup>, Лежнина Инна Алексеевна<sup>2</sup>, Уваров Александр Андреевич<sup>2</sup>,  
Оверчук Кирилл Вячеславович<sup>2</sup>, Львова Анна Борисовна<sup>1</sup>  
Научно-исследовательский институт кардиологии  
Томский политехнический университет*

Статья описывает результаты тестирования приборов ЭКГ-Экспресс, ранее разработанных в Томском политехническом университете. Тестирование проводилось на базе НИИ Кардиологии г. Томска. Показано обоснование для использования таких приборов в медицинской парктике и ряд случаев удачного применения.

Для регистрации ЭКГ использовался персональный электрокардиограф «ЭКГ-Экспресс» - разработка ученых Томского политехнического университета (рис.1).

Устройство выполнено на базе емкостных датчиков ЭКГ. Емкостный датчик в отличие от стандартных металлических электродов использует емкостную проводимость плоского конденсатора, образованного с одной стороны металлической поверхностью датчика, а с другой стороны — поверхностью кожи человека. Между этими двумя слоями проводников находится слой диэлектрика с высокой диэлектрической постоянной, нанесенный на поверхность датчика. Биоэлектрический потенциал полученный таким образом далее поступает на аналоговую схему согласования, смонтированную на верхней поверхности датчика. Схема построена на высокоимпедансных усилителях и позволяет корректно «принять» потенциал электрода, усилить его по мощности и передать дальше в схему.

Ключевым преимуществом емкостных датчиков является их возможность снимать сигнал без предварительной подготовки кожи, за счет чего обеспечивается удобство применения по принципу «приложил и измерил». При этом качество сигнала сохраняется на высоком уровне, что позволяет проводить медицинскую диагностику. Недостатком датчика является высокая чувствительность к механическим колебаниям датчика. При этом изменяются параметры плоского конденсатора, образованного кожно-электродным контактом и появляются искажения сигнала. Этот недостаток компенсируется в приборах ЭКГ-Экспресс специально разработанной системой механического демпфирования.

Прибор удовлетворяет ряду основных требований:

1. Является персональным и мобильным для того, чтобы пациент мог воспользоваться им в любой жизненной ситуации.
2. Измерение происходит с поверхности грудной клетки, т.к. именно регистрация грудных отведений дает важную информацию для диагностики.
3. Все необходимое уже есть в составе прибора, пациенту не нужно задумываться о наложении электродов и других операциях. Максимально прост в применении, чтобы устройство могли использовать люди с разным уровнем технической грамотности по принципу одной кнопки, «нажал и забыл».
4. Измерение происходит одинаково качественно и стабильно на людях с разными индивидуальными особенностями: анатомией грудной клетки, плотностью волосяного покрова, загрязнениями и состоянием кожного покрова.



Рис. 1. Внешний вид «ЭКГ-Экспресс»

Прибор имеет анатомическую форму (его удобно держать в руке), электроды расположены на специальных амортизирующих ножках, которые упруго деформируются, принимая форму грудной клетки, что позволяет зафиксировать датчик в ровном расположении. Амортизирующие ножки завершаются силиконовыми накладками, с помощью которых достигается надежная фиксация прибора во время регистрации. Исключены все дополнительные операции такие, как обезжиривание кожи, нанесение электропроводящих гелей, крепление электродов.

За время проведения испытания прибора нами были отмечены интересные, с нашей точки зрения, наблюдения.

Пациент Т., 42 года. Находился в НИИ кардиологии на обследовании и лечении с диагнозом: ИБС. СН. ФК. Чрескожная баллонная ангиопластика со стентированием ствола ЛКА. На амбулаторном этапе предъявлял жалобы на боли в грудной клетке давящего характера. Самостоятельно использовал персональный электрокардиограф, благодаря которому удалось зарегистрировать изменения зубца Т [5]. Госпитализирован, обследован, выявлен постмиокардитический кардиосклероз.

Пациент У., 56 лет. Находился в НИИ кардиологии на обследовании и лечении с диагнозом: ИБС. ПИКС. Чрескожная баллонная ангиопластика со стентированием ПКА, ЗМЖА, ПНА. Желудочковая экстрасистолия (Lown IVa). Данному больному проводилось суточное мониторирование ЭКГ, по результатам которого было зарегистрировано 3249 ЖЭС, что составляет (3.7%) от общего количества QRS. Большинство – монотопные парные. Было принято решение о начале терапии кордароном [3]. На фоне терапии кордароном количество ЖЭС снизилось до 0,9% от общего числа комплексов QRS. Пациент выписан с улучшением. Для контроля терапии кордароном, на амбулаторном этапе пациент самостоятельно использовал персональный электрокардиограф. При анализе ЭКГ врач отметил удлинение интервала QT [5]. Дозировка кордарона была снижена.

Пациент К., 78 лет с диагнозом: ИБС. ПИКС. Пароксизмальная желудочковая тахикардия. Персистирующая форма ФП, тахисистолия. Данный пациент является стабильно тяжелым, так как имеет повреждение позвоночника и, поэтому постоянно находится дома. Возможность посещать амбулаторно-поликлинические учреждения и постоянно находиться под наблюдением врача отсутствует. Внезапно у этого пациента произошло ухудшение состояния. Применение персонального электрокардиографа позволило диагностировать начало пароксизма фибрилляции предсердий [5] и вызвать скорую медицинскую помощь, не дожидаясь дальнейшего развития негативной симптоматики.

Пациент М. наблюдался амбулаторно у терапевта по месту жительства. Был проконсультирован одним из сотрудников НИИ кардиологии. Предъявлял жалобы на приступы перебоев в работе сердца,

которые сопровождались легкой одышкой, слабостью, внезапно начинались, продолжались 3-5 минут и самостоятельно купировались. Данные эпизоды возникали несколько раз в месяц. Проведение суточного мониторирования ЭКГ в этом случае оказалось неинформативным [4, 6]. Пациент использовал персональный электрокардиограф, находясь в другом городе. Удалось установить вероятную причину описываемых приступов и зарегистрировать нарушение ритма – эпизоды частой желудочковой экстрасистолии (Lown II) [5].

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что персональный электрокардиограф «ЭКГ-Экспресс» может быть использован для:

Обнаружения непостоянных нарушений ритма сердца, которые не всегда удается зарегистрировать с помощью суточного мониторирования ЭКГ;

- Получения ценной информации для постановки диагноза (запись ЭКГ во время приступа);

- Для установления возможных эпизодов ишемии миокарда;

- Для контроля терапии препаратами, удлиняющими QT.

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

[1] Фогельсон Л. И. Клиническая электрокардиография. Москва : Медгиз, 1957. 459 с.

[2] 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease / Gilles Montalescot (Chairperson) (France), Udo Sechtem (Chairperson) (Germany), Stephan Achenbach (Germany), Felicita Andreotti (Italy) et al. // *European Heart Journal*. 2013. V. 34. P. 2949–3003.

[3] Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению нарушений ритма и проводимости сердца : клин. рекомендации / сост. С. П. Голицын (руководитель), Е. С. Кропачева, Е. Б. Майков и др. Москва, 2013. 104 с.

[4] Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике / к.м.н. В.Н. Колодятова (Москва), проф. О.О. Курпьянова (Москва), к.м.н. Е.В. Перова (Москва), проф. Г.В. Рябыкина (Москва) и др. // *Российский кардиологический журнал*. 2014. Т. 106. № 2. С. 6-71.

[5] Ярцев С. С. Электрокардиография: практическое руководство-справочник для врачей. Москва : РУДН, 2014. 227 с.

[6] Аксельрод А. С., Чомахидзе П. Ш., Сыркин А. Л. Холтеровское мониторирование ЭКГ: возможности, трудности, ошибки. М : ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. 192 с.

## ТОНАЛЬНЫЙ АУДИОМЕТР

Капул Анна Аркадьевна<sup>1</sup>

Зубова Екатерина Игоревна<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: kapulanya@yandex.ru

Аудиометрия – процедура проверки остроты слуха. Выполняется она при помощи электроакустического прибора – аудиометра. На сегодняшний день аудиометрия широко используется для оценки состояния слуха пациентов в поликлиниках, амбулаториях, медпунктах, МСЧ, приемных отделениях больниц и госпиталей, сурдокабинетах и сурдоцентрах. Актуальность разработки аудиометров обоснована высокой заболеваемостью слухового анализатора как у людей старшего поколения, так и детей. Диагностика – первый и самый ответственный этап процесса восстановления здоровья человека, поскольку на ранней стадии заболевания наиболее вероятен успех терапии.

В работе [1] показано, что существует множество субъективных и объективных методик для измерения остроты слуха. При этом тональная аудиометрия является базовым методом, который обязательно реализуется в комплексных приборах для аудиологических исследований. Поэтому данная работа посвящена разработке тонального аудиометра. Тональная аудиометрия позволяет оценить пороги восприятия звука в диапазоне частот от 125 Гц до 8 кГц, построить аудиограмму и при необходимости настроить слуховой аппарат на каждой из октавных частот [2,3].

Основным управляющим элементом разрабатываемого прибора является микроконтроллер STM32F407VGT6, с помощью которого реализуется связь аудиометра с компьютером, генерируется синусоидальный сигнал, осуществляется управление величиной сопротивления цифрового резистора, а также реализуется управление правым и левым каналом наушников MDR-ZX310. Также в структурной

схеме прибора присутствуют кнопка отклика пациента, блок программирования, генератор белого шума и костный осциллятор.

Для микроконтроллера STM32F407VGT6 была написана программа, которая содержит настройку внешних прерываний, таймеров, настройку ЦАП, прерываний USART, интерфейса SPI.

Двухсторонняя связь микроконтроллера с компьютером позволяет им обмениваться данными: на микроконтроллер с ПК поступает информация о частоте и уровне сигнала, а с ПК на микроконтроллер – информация о нажатии кнопки пациентом. Интерфейс программы написан на языке C++ в среде программирования Visual Studio. С помощью него аудиолог может выставлять амплитуду и частоту сигнала, указывать, какое ухо будет проверяться. По результатам исследования можно получить аудиограммы, рассчитать средний слуховой порог

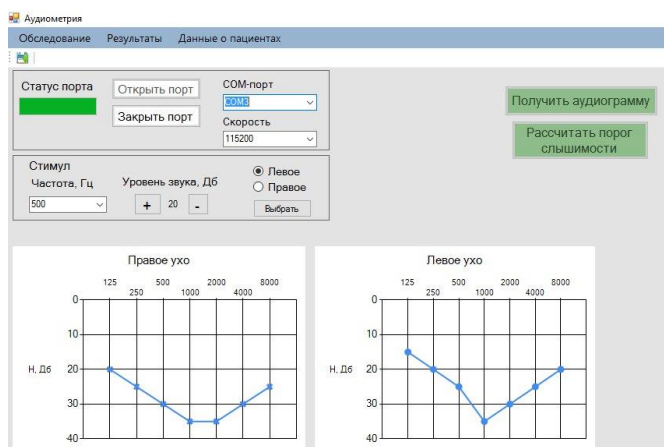


Рис. 1. Внешний вид программы для управления аудиометром

На основе разработанного макета аудиометра были проведены исследования, подтверждающие корректное изменение частоты и уровня сигнала в соответствии с программой микроконтроллера.

Список публикаций:

- [1] – Капул А.А. Аудиометр. Приборостроение и информационные технологии: ПИТ - 2016: тезисы докладов IX ежегодной студенческой научно-практической конференции, посвященной дню образования ОНИИП, г. Омск, 8 декабря 2016 г. / Правительство Ом. обл., Ом. науч.-исслед. ин-т приборостроения, Ом. авиац. колледж им. Н. Е. Жуковского; [отв. ред. С. В. Кривальцевич]. - Омск: ОНИИП, 2017. – С. 54-55.
- [2] – Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии. – М.: ДМК Пресс, 2003. - 360 с.
- [3] – ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012. Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 1. Тональная пороговая аудиометрия по воздушной и костной проводимости. – М.: Стандартинформ, 2014. – 31 с.

## УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

Почуфаров Антон Олегович<sup>1</sup>

Мусоров Илья Сергеевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Торгаев Станислав Николаевич, к.ф.-м.н., доцент

E-mail [pochufarov.ant@mail.ru](mailto:pochufarov.ant@mail.ru)

Система менеджмента качества в Национальном исследовательском Томском политехническом университете регламентирует производить замеры основных показателей микроклимата в учебных и лабораторных помещениях минимум два раза в сутки. Основными показателями микроклимата является температура и влажность. Эти показатели сильно влияют на работоспособность и образовательный процесс. Поэтому во многих офисных зданиях и учебных аудиториях устанавливают кондиционеры для нормализации температуры и влажности в помещениях. Но такие меры могут и навредить, нежели помочь. Для контроля за климатом внутри помещения, используются специальные устройства. Это делается и потому, что сбор данных вручную очень трудоёмкий и не ресурсоэффективный способ.

Данная работа посвящается разработке подобного устройства на основе микроконтроллера STM32F100RB. К микроконтроллеру будет подключён датчик температуры и влажности DHT11 с цифровым выходом, для сбора данных, а для связи с другими подобными устройствами, и таким образом возможного формирования целой сети, радиомодуль nRF24L01. Датчик подключается по интерфейсу «Single-wire», что позволяет не занимать большое количество выходов микроконтроллера. Радиомодуль поддерживает подключение по SPI, который является не сложным в реализации.

Для отображения полученных данных была написана программа на компьютере в программе Visual Studio 2015. Программа позволяет не только считывать и отображать полученные данные в приемлемом для пользователя виде, а именно в таблице, но и запускать процесс сбора данных. Также имеется возможность сохранять полученные данные в файл с расширением «.txt». Окно программы представлено на рисунке 1.

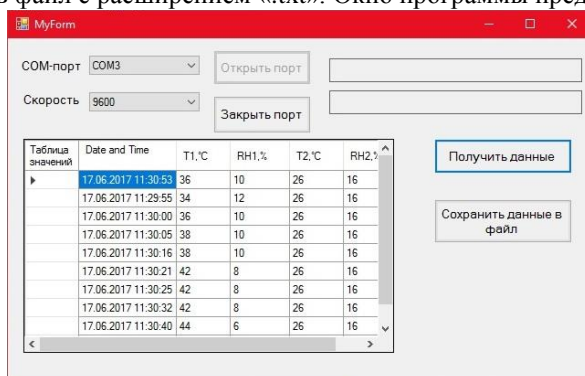


Рис. 1 Интерфейс программы ПК

Для тестирования данного устройства были проведены небольшие эксперименты по увеличению показателя температуры и влажности воздуха вокруг одного из датчиков. Как показали эти эксперименты, датчик хорошо подходит для измерения параметров микроклимата в учебных и офисных, а радиомодуль позволяет получать данные из соседних аудиторий или дальних углов больших комнат. Недостатком такого устройства можно считать погрешность измерений и малый радиус передачи данных. Погрешность измерений составляет 5%, а дальность работы радиомодуля всего 10 метров. Возможно увеличение дальности передачи даны по радиоканалу с помощью оснащения радиомодуля антенной.

## МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕКУРСОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТИЕВЫХ ФЕРРИТОВ

*Яруллина Анна Рафаэлевна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*Лысенко Елена Николаевна, к.ф.-м.н*

*[ary1@tpu.com](mailto:ary1@tpu.com)*

Поскольку на свойства конечного продукта, полученного в результате проведения твердофазного синтеза ферритовых смесей, значительное влияние оказывает микроструктура частиц этой смеси для того чтобы добиться необходимой микроструктуры, а, следовательно, и свойств смеси прибегают к дополнительным технологическим операциям, например, к механической активации.

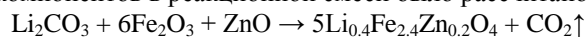
Механическая активация – это изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств материалов под действием механических сил при тонком измельчении. Количественно механическая активация равна изменению свободной энергии системы под действием механических сил [1].

В данной работе при микроструктурном анализе смеси  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{ZnO} - \text{Li}_2\text{CO}_3$  для получения литиевых ферритов был использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Измерение микроструктуры с помощью СЭМ заключалось в том, что при облучении поверхности образца пучком электронов возникает несколько видов вторичных излучений, сигналы от которых фиксировались соответствующими детекторами. После аналого-цифрового преобразования и усиления эти сигналы визуализировались посредством ПК [2].

**Методика эксперимента.** В качестве исходных реагентов служили оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , карбонат лития  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , оксид цинка  $\text{ZnO}$ . Порошки перед взвешиванием просушивались в сушильном шкафу в течение трёх часов при температуре  $200^\circ\text{C}$ .

Соотношение исходных компонентов в реакционной смеси было рассчитано по уравнению



Смешивание реагентов для того чтобы получить литий-цинковый феррит  $\text{Li}_{0,4}\text{Fe}_{2,4}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_4$  производилось в следующей пропорции

- $\text{Li}_2\text{CO}_3 = 6,63 \text{ вес.}\% = 3,182 \text{ г};$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 86,054 \text{ вес.}\% = 41,306 \text{ г};$
- $\text{ZnO} = 7,31 \text{ вес.}\% = 3,51 \text{ г}.$

Для получения гомогенной смеси исходных реагентов полученная смесь была пропущена через мелкое сито три раза.

Механическая активация смеси исходных реагентов проводилась в течение 60 минут. Для сравнения часть смеси не подвергалась механоактивации. Механоактивация была произведена в мельнице – активатора планетарного фрикционного типа АГО-2С с использованием размольных стаканов и шаров из нержавеющей стали. Весовое соотношение порошка и шаров в стакане составляло 1:10. Для формирования образцов в виде таблеток методом одностороннего холодного прессования был использован лабораторный настольный гидравлический пресс ПГР-10

Исследование микроструктуры порошков методом СЭМ было проведено при помощи сканирующего электронного микроскопа ТМ-3000 фирмы HITACHI (Япония).

Далее представлены изображения микроструктуры исследуемых порошков, полученных методом СЭМ (рис.1, рис.2).

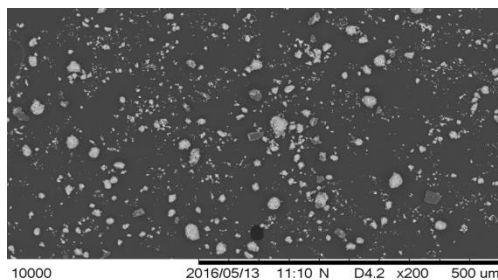


Рис.1. Микрофотография частиц исходной смеси реагентов  $Li_{0.4}Fe_{2.4}Zn_{0.2}O_4$

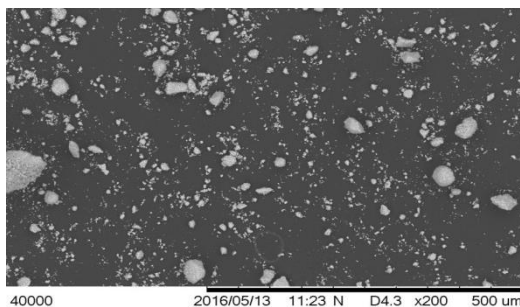


Рис.2. Микрофотография частиц исходной смеси  $Li_{0.4}Fe_{2.4}Zn_{0.2}O_4$  при механоактивации в течение 60 мин

Из представленных изображений видно, что исследуемые порошки содержат как отдельные частицы, так и их прочные агломераты произвольной формы. Самопроизвольная агрегация частиц возникает из-за того, что частицы обладают большим избытком поверхностной свободной энергии.

Изучение дисперсного состава исследуемых порошков методом СЭМ заключалось в определении размеров частиц по микрофотографиям. В результате получили, что средний размер частиц исходной смеси составил 1,96 мкм, в то время как при механоактивации этот параметр уменьшился до 1,645 мкм. Также при проведении механоактивации уменьшается и средний размер агломератов, который для исходной смеси составил 9,436, а для механоактивированной - 9,116. Следовательно, можно сделать вывод, что дисперсность реакционной смеси увеличивается при проведении механоактивации, но при этом происходит агрегация частиц, которая связана с избытком поверхностной свободной энергии, которая в свою очередь появляется в связи с проведением механической активации.

Список публикаций:

[1] Биленко Л. Ф. Новый справочник химика и технолога. Механическая активация при диспергировании твердых материалов. Сущность механической активации материалов и области ее использования. [Электронный ресурс] – Режим

доступа: [http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/09\\_protsesty\\_i\\_apparaty\\_khimicheskikh\\_tekhnologiy\\_chast\\_1/5252](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/09_protsesty_i_apparaty_khimicheskikh_tekhnologiy_chast_1/5252) – свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 25.04.2016).

[2] Нагорнов Ю. С. Способы исследования поверхности методами атомно-силовой и электронной микроскопии. Учебное пособие / Нагорнов Ю. С., Ясников И. С., Тюрков М. Н. – Тольятти: ТГУ. – 2012. – 58 с



**Научное издание**

**Sibtest 2017: Сборник тезисов**

Всероссийской молодежной научной школы по инновациям в  
неразрушающем контроле SibTest

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка: И.А.Лежнина