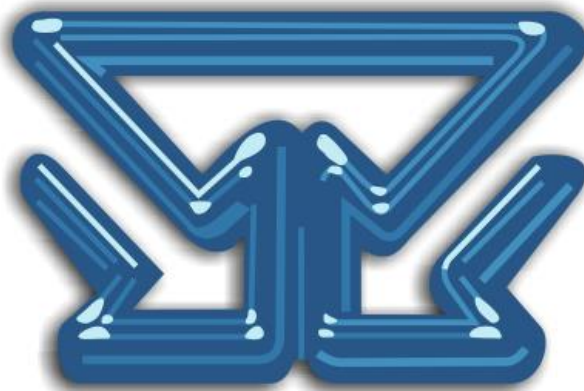


SIBTEST-2017



**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ ПО  
ИННОВАЦИЯМ В  
НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

# **SIBTEST 2017**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

**Новосибирск  
2017**

УДК 621.391.08(063)

ББК 32.965.07

**Sibtest 2017:** Сборник тезисов IV международной конференции по инновациям в неразрушающем контроле SibTest (27–30 июня 2017г.) / под ред. А.В. Юрченко; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во ТПУ, 2017.–124 с.

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

УДК621.391.08(063)

ББК 32.965.07

*При поддержке РФФИ*

*№ 17-08-20247*

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Степанов Александр Вячеславович, Усачев Евгений Юрьевич, Косарина Екатерина Ивановна*  
ООО «Диагностика-М»  
[stepanov\\_a@x-ray.ru](mailto:stepanov_a@x-ray.ru)

В радиационном неразрушающем контроле проблема замены дорогостоящей радиографической пленки и перехода на другие методы визуализации изображения является постоянной. В некоторых отраслях промышленности она решена успешно. Однако при контроле ответственных изделий, каковыми являются объекты авиационной и космической техники, первоочередным является качество объектов контроля, поэтому по-прежнему используют радиографическую техническую пленку, причем регламентированы нормативными документами классы пленочных систем – С1÷С4. Переход от радиографического метода к другому, использующему тот или иной преобразователь, возможен лишь при условии гарантированного обнаружения недопустимых дефектов в изделии.

Работа, выполненная совместно с ФГУП «ВМAM», ООО «Диагностика-М», ООО «АКС», НИИИИ «Спектр» была направлена на разработку методических рекомендаций дефектоскопистам выполняющих неразрушающий контроль деталей авиационной техники в заводских лабораториях и условиях эксплуатации. Основной задачей при разработке методических рекомендаций, было достижение существенного увеличения производительности и снижения материалоемкости при сохранении существующих требований к чувствительности контроля.

Необходимость увеличения производительности вызвана тем, что при изготовлении сварных соединений и паяных соединений из сплавов АМг2М, АМг3М, АМг6, АК8л, ОТ4, ПТ7М и нержавеющей сталей 09Х18Н10Т, 12Х18Н10Т возникает большое количество дефектов и до 70% деталей идет на доработку. По этой причине объем контроля сильно увеличивается, а качество снижается. Результаты практической отработки методических рекомендаций позволили определить наиболее эффективные схемы просвечивания, режимы контроля, последовательность расшифровки полученных данных и обеспечить выявление внутренних дефектов, уточнение координат дефектов, полноту выборки и оценку качества исправления дефектов.

Применение методов неразрушающего контроля в эксплуатации осложняется затрудненным доступом к элементам конструкции. Дополнительно, на эффективность применения, влияют внешние факторы, в том числе климатические. В ряде случаев применение рентгеновского метода становится невозможным по причине отсутствия двустороннего доступа к объекту контроля. В данном случае возможно применение систем работающих на основе регистрации обратно рассеянного рентгеновского излучения.

Необходимость разработки и внедрения аппаратуры, работающей с применением обратно рассеянного рентгеновского излучения и рекомендаций по ее применению вызвана тем, что конструкции новых российских самолетов, изготовлены с применением большого количества полимерных композиционных материалов с вставками сотового наполнителя. Сотовый наполнитель применяется на нижней и верхней панелях крыла, фюзеляже, оперении, деталях механизации. Разная пространственная ориентация сотового наполнителя, требование выявления влаги независимо от агрегатного состояния и типа покрытий (ЛКП) делают невозможным применение других методов НК.

При отработке методического материала были проведены, исследования по определению влияния внешних факторов на результаты контроля. Исследовали влияние таких факторов как низкая температура, различное агрегатное состояние выявляемой воды, кривизна и наклон поверхности, а также влияние различных покрытий.

В результате экспериментальной работы было установлено: применение установок использующих обратно рассеянное рентгеновское излучение позволяет эффективно выявлять влагу в деталях с сотовым наполнителем из различных полимерных композиционных материалов, агрегатное состояние влаги в сотовом

заполнителе не влияет на возможность ее выявления, наклон и кривизна поверхности не вносят значительных искажений в результаты контроля, метод позволяет выявлять малое количество (менее 1мм) влаги, расположенной как в сотовом заполнителе, так и за его пределами.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

*Ашихин Денис Сергеевич, Беркутов Игорь Владимирович, Яковлев Юрий Олегович  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики  
Федоров Алексей Владимирович, д.т.н.  
[ashikhinds@mail.ru](mailto:ashikhinds@mail.ru)*

В настоящее время процесс сварки трением с перемешиванием (СТП) широко внедряется в нашей стране и за рубежом в таких отраслях промышленности, как авиастроение, судостроение, машиностроение и др. СТП – способ получения неразъемного соединения, заключающийся в механическом перемешивании материала, приводимого в пластичное состояние без плавления специальным инструментом. К преимуществам СТП относятся: отсутствие необходимости лишних затрат материала, защитного газа, флюса и т.п. Кроме того, прочность получаемого сварного соединения соответствует или превосходит прочность основного металла.

Как и при других видах сварки, при СТП могут образовываться дефекты, такие как каналы, непровары и др. В связи с этим, актуальным является решение вопроса контроля качества соединений, выполненных СТП. Снижение себестоимости сварного изделия и уменьшение количества операций в технологическом процессе выполнения соединения возможно за счет внедрения оперативных методов контроля качества. Одним из направлений решения данного вопроса является применение пассивного бесконтактного теплового метода контроля в процессе сварки [1-4].

В докладе представлены результаты проведения оперативного теплового контроля соединений, выполненных СТП, тонкостенных пластин из алюминиевого сплава. Получены и проанализированы термограммы бездефектного и дефектных образцов. Выполнение сварного соединения осуществлялось при одном режиме сварки, с использованием одного сварочного инструмента. Дефектные образцы были получены путем изменения толщин, неправильной сборки и удалением части материала свариваемых кромок.

Список литературы:

- [1] Kryukov I., Schüddekopf S., Böhm S., Mund M., Kreling S., Dilger K. *Non-destructive online-testing method for friction stir welding using infrared thermography // 19th World Conference on Non-Destructive Testing. 2016.*
- [2] Serio L. M., Palumbo D., Galietti U., De Filippis L. A. C., Ludovico A. D. *Monitoring of the friction stir welding process by means of thermography // Nondestructive Testing and Evaluation. 2016. Vol. 31. Iss. 4. P. 371-383.*
- [3] Рубцов В. Е., Руденский Г. Е., Тарасов С. Ю., Колубаев Е. А., Гнусов С. Ф., Васильев П. А., Бакиев В. А. *Тепловизионный мониторинг качества сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием // Сварка и диагностика. 2015. № 1. С. 15–19.*
- [4] Левихина А. В., Руденский Г. Е. *Рекомендации по методике проведения теплового контроля соединений полученных сваркой трением с перемешиванием в процессе сварки // Современные проблемы науки и образования. 2013. №6. С. 11.*

## **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.  
[mvpr17@tpu.ru](mailto:mvpr17@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.

	Максимальный коэффициент корреляции	Смещение, кГц
--	-------------------------------------	---------------

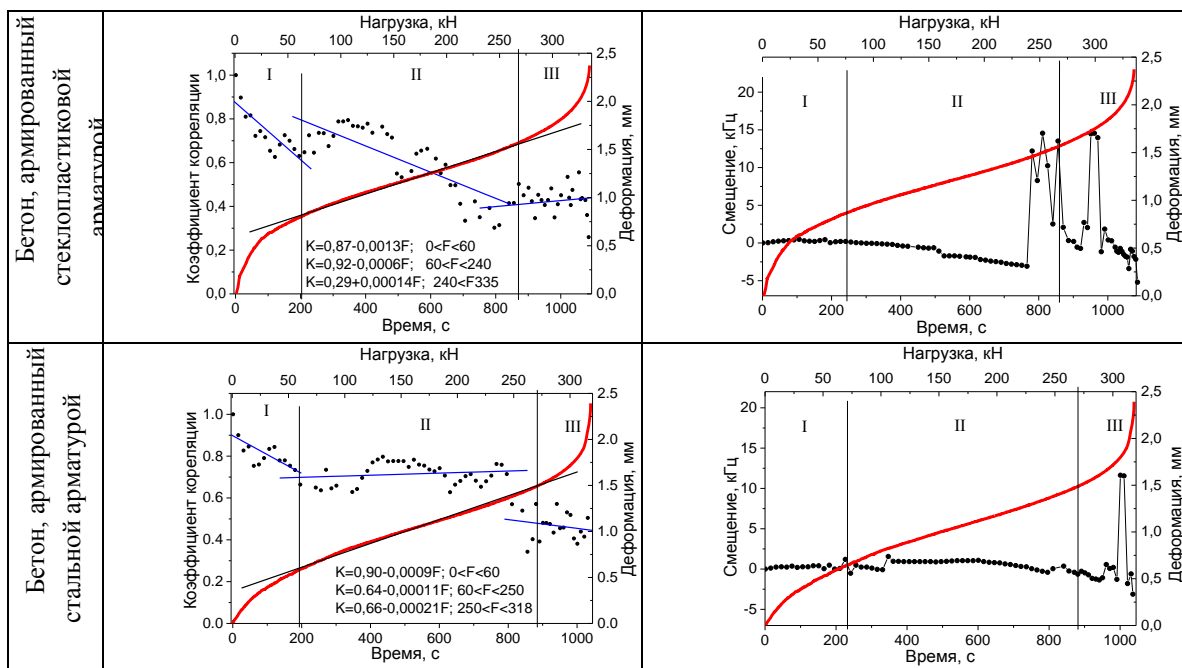


Рис.1 Зависимости параметров электрического отклика от внешней механической нагрузки

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.

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И НУЛЕВАЯ ЭНЕРГИЯ ЗДАНИЙ: РОЛЬ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

Алдошина Оксана Владимировна, Юрченко Алексей Васильевич

Томский политехнический университет

E-mail: [oxi80-07@mail.ru](mailto:oxi80-07@mail.ru)

В данной статье рассматриваются фасады зданий, имеющие солнечный потенциал для городских ландшафтов. В прошлом фасады не предоставляли интереса для размещения солнечных батарей, поскольку у них наблюдалась низкая выходная мощность из-за большого угла падения. Снижение затрат фотоэлектрических модулей позволяет переосмыслить роль «солнечных фасадов» для широкомасштабного использования данных модулей в городских условиях. С одной стороны, как и следовало ожидать, дальнейшее снижение стоимости фотоэлектрических панелей сделает его конкурентоспособными для

производства электроэнергии. Оптимальный наклон и ориентации, большая площадь стены будут способствовать развитию почти нулевой энергии зданий, которые производят в местном масштабе свой собственный спрос на энергию. С другой стороны, меньший, чем оптимальный наклон фотоэлектрических модулей будет способствовать лучшей корректировке между производством солнечной электроэнергии и распределением нагрузки

Площадь фасадов здания возрастает с увеличением его высоты. В качестве примера было использовано 4-х этажное здание (с занимаемой площадью 100 м<sup>2</sup>, каждый из четырех фасадов, как правило, имел площадь, эквивалентную крыше (каждый этаж высотой 2,5 м, следовательно каждый фасад будет 4 x 2,5 x 10 м<sup>2</sup>). Таким образом, общая площадь фасадов в четыре раза превышает площадь крыши. Безусловно, для более высоких зданий соотношение увеличится.

Тем не менее, солнечное излучение на фасадах, безусловно ниже, чем на горизонтальных или наклонных поверхностях. Потери при менее оптимальном наклоне зависят от местонахождения и ориентации фасада [5,6].

Принимая горизонтальную поверхность в качестве исходного, для случая Алматы (Караганда) и в течение одного года, на юге облицовка стены будет производить менее 30% (11%), в то время как восточные или западные фасады будут производить более половины из горизонтальной крыши. Север облицовки фасадов (по крайней мере, в Северном полушарии) будет использовать лишь диффузную инсоляцию и практически не имеет значения для производства фотоэлектрической энергии. В среднем, вертикальные поверхности будут производить меньше 50% (40%), чем горизонтальные. Интересно заметить, что большинство фасадов в хорошо освещенном городе, как Алматы получают больше солнечного излучения, чем горизонтальные поверхности зданий в Караганде. Тем не менее, фасады зданий на местах в более высоких широтах будут иметь более низкие относительные потери; выработка фотоэлектрической энергии фасада на южную сторону будет близка к выработке фотоэлектрической энергии крышей, и часто превышает его зимой.

Недавнее и резкое снижение стоимости фотоэлектрических модулей позволило переосмыслить роль их применения большими площадями с менее оптимальным наклоном для солнечного потенциала городского ландшафта.

Учитывая идеализированное четырехэтажное здание, можно определить, добавленный фотоэлектрический годовой потенциал, когда фасады принимаются во внимание. Мы можем наблюдать, что полное покрытие фасадов зданий утраивает фотоэлектрический потенциал оптимального наклона крыши, с уменьшением вкладов с южного фасада, восточного / западного фасада и северной стороны фасада.

Вертикальные фотоэлектрические фасады будут производить относительно большую мощность зимой и меньшую летом, и больше в ранние и поздние часы дня, когда солнце находится низко в небе. Как правило, здание будет иметь четыре, или, по крайней мере, два, открытых фасада с противоположными ориентациями и поэтому различные солнечные фасады здания будут производить максимальную мощность в разное время суток. Этот эффект приводит к увеличению пика производства мощности в течение дня, что позволяет лучше приспособиться к распределению нагрузки и тем самым значительно сэкономить электроэнергию в отношении хранения и / или резервного копирования ископаемого топлива на основе уменьшения мощности.

Полученные результаты подтверждают, что выработка фотоэлектрических фасадов требует более установленной мощности, но может уменьшить несоответствие между спросом и предложением на фотоэлектрическую электроэнергию.

В действительности, в зимний период, приблизительно на одну треть повышается установленная мощность, которая позволяет снизить несоответствие на 17%. Восточная и западная стороны фасада позволяют хорошо скорректировать распределение нагрузки в более ранние и более поздние часы дня, в то время как южная облицовка фасадов использует нижнее положение солнца в полдень для увеличения выработки энергии.

В летнее время, спрос на электроэнергию в городе Алматы под сильным влиянием потребностей кондиционирования воздуха, имеет высокую корреляцию с пиком инсоляции. Более того, чем выше положение солнца в небе в полдень, тем ближе оптимальная наклонность к горизонтали. Для фасадов требуется дополнительно + 46% установленной мощности за аналогичное сокращение несоответствия между спросом и предложением фотоэлектрической энергии. Интересно отметить, что, если оптимизированный летний комплекс был использован в зимнее время, что позволяет уменьшить несоответствие на 8%

Список литературы



- [1] A. Scognamiglio and H.N. Røstvik, *Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design, presented at 27th EU PVSEC, Frankfurt, Germany 2012*
- [2] G. Quesada, D. Rousse, Y. Dutil, M. Badache, S. Hallé, *A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, June 2012, c. 2820–2832*
- [3] A. Henemann, *BIPV: built-in solar energy, Renewable Energy Focus, 9 (14) (2008), c. 16–19*
- [4] G. Quesada, D. Rousse, Y. Dutil, M. Badache, S. Hallé, *A comprehensive review of solar facades. Transparent and translucent solar facades, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, June 2012, c. 2643–2651*
- [5] Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D., 2005. *PVGIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. International Journal of Sustainable Energy, c. 24, 2, 55-67*
- [6] C. Carneiro, E. Morello, C. Ratti, F. Golay *Solar radiation over the urban texture: LiDAR data and image processing techniques for environmental analysis at city scale, J. Lee, S. Zlatanova (Eds.), 3-D Geo-Information Sciences, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer, Berlin (2008), c. 319–340*
- [7] J. Hofierka1, M. Zlocha, *A New 3-D Solar Radiation Model for 3-D City Models, Transactions in GIS, Volume 16, Issue 5, c. 681–690*
- [8] P. Redweik, C. Catita, M.C. Brito, *Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape, Solar Energy, Volume 97, November 2015, c. 332–341*

## ИЗМЕРЕНИЯ СТРУКТУРЫ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОМОГРАФИЧЕСКИМ, ОПТИЧЕСКИМ И ВЕСОВЫМ МЕТОДАМИ

*Стучебров Сергей Геннадьевич, Батранин Андрей Викторович, Бондаренко Светлана Леонидовна, Смирнов Сергей Васильевич*

*Томский политехнический университет, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук*

[stuchebrov@tpu.ru](mailto:stuchebrov@tpu.ru)

Характеристики годичных колец являются биоиндикаторами как состояния окружающей среды, так и самого дерева. Существуют и разрабатываются новые методы измерения структуры древесины, позволяющие получать информацию об условиях произрастания деревьев и проводить ретроспективный анализ климатических изменений [1-4]. Одной из наиболее важных характеристик структуры дерева является плотность годичных колец (ПГК) и ее градации.

Методы измерения ПГК различаются по стоимости, степени трудоемкости и точности. Стандартным способом измерения ПГК является весовой метод, представляющий собой физическое послойное разделение колец в образцах древесины и измерение их массы и размеров. Этот метод имеет ряд недостатков, таких как сложность процесса точного определения границ колец и их разделения, ошибки при измерении массы, необходимость разрушать образцы, которые можно было бы использовать в дальнейших исследованиях [5].

Способы, которые позволяют сохранять образцы, используют рентгеновские проекционные или томографические методы измерений [6]. Проекционный метод не отличается высокой точностью, так как элементы внутренней структуры объекта исследования накладываются друг на друга, за счет чего информативность результатов съемки сильно снижается. Томографический метод является наиболее точным, но и более дорогостоящим, из-за чего его массовое применение затруднительно.

Оптический метод, основанный на анализе цвета и яркости цифрового фотоснимка высокого разрешения образца радиального среза дерева может быть эффективным для создания баз данных по исследуемой характеристике (ПГК). В данной работе рассматривается возможность применения такого метода, проводится анализ эффективности измерения интегральной яркости и яркости в цветовых каналах цифрового изображения годичного кольца и перевод данных в градации плотности. Результаты измерений сравниваются с результатами, полученными весовым и томографическим методами.

Список публикаций:

- [1] Силкин П. П. // *Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2010. 335 с.*
- [2] Andrzej S., Jaroslaw S. // *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty. 2016. № 59.*
- [3] Schweingruber F. H. // *Paul Haupt AG Bern. 1996.*
- [4] Ботыгин И. А., Волков Ю. В., Попов В. Н., Тартаковский В. А. // *Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2015. 185 с.*
- [5] Соколов П. А. // *Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА. 2007. 213 с.*
- [6] Stuchebrov S. G., Batranin A. V., Bondarenko S. L., Sapozhnikova V. A.



## ВОЗМОЖНОСТИ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА НА МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЯХ

*Петров Кирилл Владимирович, Муравьева Ольга Владимировна, Зорин Владимир Анатольевич, Габбасова  
Маргарита Александровна*

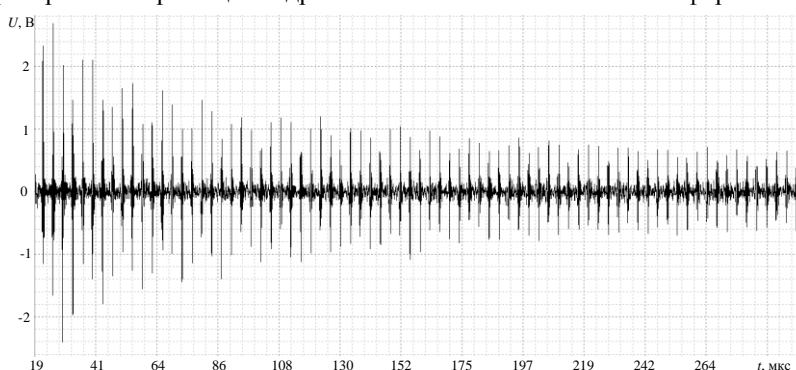
*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова*

*Муравьева Ольга Владимировна, д.т.н., профессор*

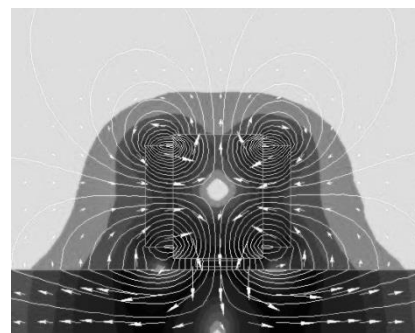
*pmkk@istu.ru*

Особенностью цилиндрических объектов малых диаметров является трудность реализации применительно к ним традиционно используемых контактных ультразвуковых (УЗ) методов, достоверность и воспроизводимость которых зависит от качества обработки поверхностей контролируемых объектов и их диаметра. Разработанный авторами бесконтактный электромагнитно-акустический (ЭМА) метод благодаря возможности получения серии многократных отражений по диаметрам объекта, насчитывающих десятки УЗ импульсов (*рис.1*), обеспечивает надежный контроль качества цилиндрических объектов, включающий дефектоскопию, оценку структуры, упругих модулей и анизотропии металла, возможность выявления отклонений по диаметру и эллиптичности сечения. Метод реализован с помощью проходных ЭМА-преобразователей объемных волн и накладных ЭМА-преобразователей рэлеевских волн со специализированными системами подмагничивания, обеспечивающих излучение-прием объемных волн в радиальных направлениях и рэлеевских волн - по периметру прутка.

Разработаны подходы к оптимизации параметров ЭМА-преобразователей с позиций достижения максимального значения требуемой компоненты напряженности магнитного поля при минимизации мешающей компоненты поля; минимизации массогабаритных размеров; выбора конструктивных зазоров между индуктором и объектом контроля и апертуры ЭМА-преобразователя (*рис. 2*). Разработана модель распространения акустических волн в цилиндрическом объекте при возбуждении проходным ЭМА-преобразователем, исследован акустический тракт зеркально-теневого метода на многократных отражениях в зависимости от местоположения дефекта, геометрических параметров объекта контроля, рабочей частоты преобразователя, формы зондирующего импульса, типа возбуждаемой волны. Подходы основаны на моделировании магнитных полей (*рис.3, а*), полей вихревых токов (*рис.3, б*) и акустических полей (*рис.3, в*) методом конечных элементов в программных средах Elcut и Comsol Multiphysics. Предложено использование методов корреляционного, спектрального и вероятностно-статистического анализа серии многократных отражений, позволивших обосновать новые информативные параметры при формировании браковочных критериев контроля цилиндрических объектов и повысить информативность разрабатываемых методов.



*Рис.1 Осциллограмма серии многократных отражений по диаметру прутка*



*Рис.2 Моделирование системы подмагничивания*

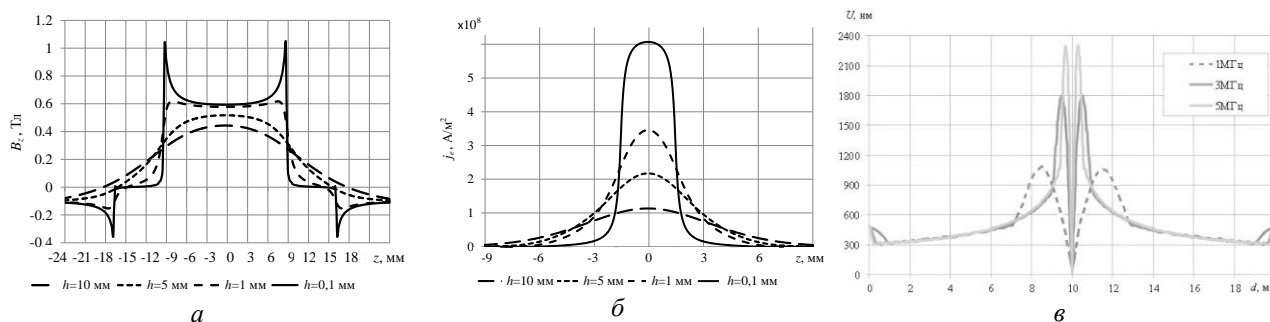


Рис. 3 Распределение осевой составляющей вектора магнитной индукции (а), распределение плотности вихревых токов под индуктором при различных зазорах  $h$  (б); эюры акустических смещений на разных частотах (в)

Разработанные ЭМА-технологии испытаны на прутках пружинно-рессорной стали диаметрами от 10 до 30 мм с различным качеством обработки поверхности для выявления различных дефектов и оценки структуры прутков. Разработанная технология контроля обладает следующими преимуществами: высокая реальная чувствительность к внутренним и поверхностным дефектам; реализация метода без иммерсионной жидкости и дополнительной подготовки поверхности с обеспечением достаточно высокой производительности контроля; высокая достоверность и воспроизводимость результатов контроля за счет отстройки от качества акустического контакта; отсутствие мертвой зоны; возможность использования методов для контроля прутков из различных металлов и сплавов.

Работа выполнена в рамках проекта № 15-19-00051 Российского научного фонда.

#### Список литературы:

- [1] Muravyev V.V., Muravyeva O.V., Kokorina E.N. // Russian Journal of Nondestructive testing. 2013. Vol. 49. № 1. pp. 15-25.
- [2] Муравьева О. В., Муравьев В.В., Кокорина Е.Н., Стерхов В.Д., Малютин Д.В. // Датчики и системы. 2013. № 2 (165). С. 2–9.
- [3] Муравьева О. В., Соков М.Ю. // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашиникова. 2016. №3. С. 46–50.
- [4] Murav'eva O. V., Murav'ev V. V., Gabbasova M. A. // Russian Journal of Nondestructive testing. 2013. Vol. 51. № 12. pp. 720-726.
- [5] Murav'eva O. V., Petrov K. V., Sokov M. Yu., Gabbasova M. A. // Russian Journal of Nondestructive testing. 2015. Vol. 51. № 7. pp. 400-406.
- [6] Murav'eva O. V., Murav'ev V. V., Gabbasova M. A., Buldakova I. V., Sokov M. Yu. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2016. Vol. 52. № 4. pp. 1–7.
- [7] Muravieva O. V., Muraviev V.V., Gabbasova M.A., Petrov K.V., Zorin V.A. // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1785. № 1. p. 03007.

## ПОСТРОЕНИЕ РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

Шутилов Сергей Эдуардович, Еремеев Александр Иванович, Якубов Владимир Петрович, Антипов Владимир Борисович

Томский государственный университет

[s.shipilov@gmail.com](mailto:s.shipilov@gmail.com)

В данной работе авторами предлагается решение задачи радиовидения с использованием отражательной решетки, каждый элемент которой может изменять коэффициент отражения под действием внешнего управляющего напряжения. Проведено исследование способности фокусировки плоской отражательной решеткой монохроматического излучения для решения задачи радиовидения. Разработан элемент решетки на основе волновода с управляемым коэффициентом отражения, сдвиг фазы при переключении составляет  $180^\circ$ .

В настоящее время системы радиовидения имеют множество перспективных приложений: контроль качества различных материалов, конструкций и сооружений, медицинская диагностика. Благодаря развитию вычислительных средств, стало возможно применение методов радиоволновой томографии, как средств дистанционного неразрушающего контроля и диагностики внутренней структуры, полупрозрачных для радиоизлучения сред и восстановления формы непрозрачных объектов. Задача радиовидения заключается в

пересчете данных полученных на основе разностороннего сканирования исследуемых объектов [1]. При построении антенных решеток механическое сканирование уверенно вытесняется электронным. Наряду с традиционными фазированными решетками все большее применение находят отражательные решетки с управляемой фазой коэффициента отражения элементов. Отражающие элементы обычно выполняются на основе ферритовых фазовращателей, микромеханических систем или полупроводниковых диодов (варикапов).

Коммутация фаз коэффициентов отражения элементов, составляющих решетку, позволяет имитировать зонную пластинку Френеля, обладающую свойством фокусировать исходящие от облучателя излучение в заданную точку пространства, при этом волны, пришедшие от двух соседних зон, будут противофазными. Если изменять геометрическое расположение зонных колец, становится возможным осуществлять электронное сканирование точки фокусировки в широком секторе углов [2]. Ввиду того, что для качественной фокусировки требуется большое количество элементов, ключевым фактором, определяющим возможность технической реализации отражающей решетки, является простота изготовления и стоимость отдельного элемента. Для моделирования и исследования потенциальных возможностей решетки диапазона 24 ГГц были выбраны варикапы 3А40В, монтируемые в волноводные секции. Схема волноводного элемента отражательной решетки (рис.1).

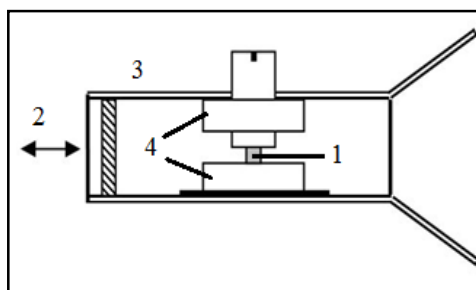
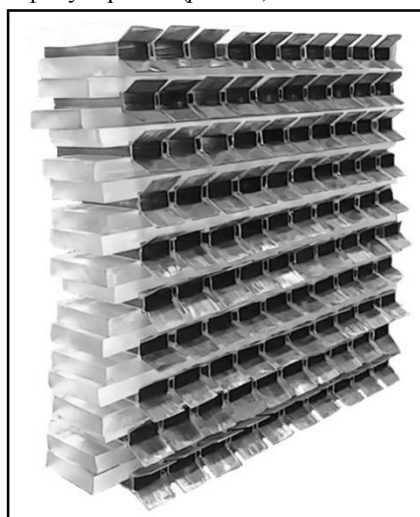
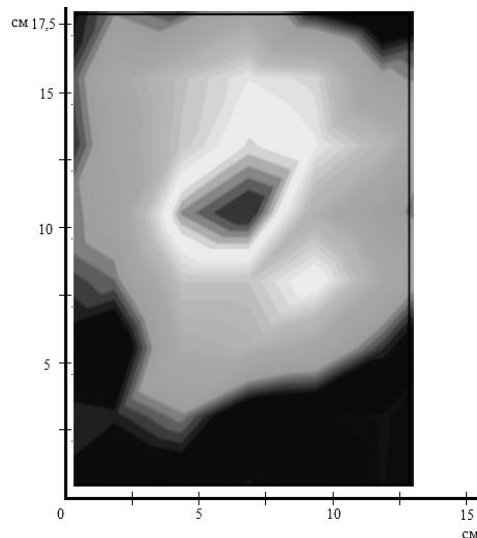


Рис.1. Структура волноводного элемента (1- варикап, 2- короткозамыкатель, 3- волновод, 4- трансформатор сопротивления)

Перед изготовлением экспериментального макета отражательной решетки, в среде «CST Microwave Studio» была просчитана численная модель решетки состоящей из этих элементов. Моделирование подтвердило возможность фокусировки монохроматического излучения решеткой из волноводных элементов. Была изготовлена решетка, состоящая из 100 элементов (рис.2а). С этой решеткой проводились экспериментальные исследования по фокусировке падающего на нее монохроматического излучения. Результат фокусировки (рис.2б).



а



б

Рис.2. Макет отражательной решетки из волноводных элементов и фокусировка излучения с ее помощью

Экспериментальные исследования отражательной решетки состоящей из 100 волноводных элементов, подтвердили возможность фокусировки падающего монохроматического излучения отражательной решеткой, состоящей из волноводных элементов. В настоящее время разрабатывается аппаратно-программный комплекс управления решеткой. Предлагаемый вариант создания отражательной томографической установки может служить российским аналогом разработок зарубежных стран. Предложенная авторами работы конструкция отражательной решетки способна обеспечивать высокую скорость фокусировки в заданную точку пространства.

Список публикаций:

[1] Якубов В. П., Шитлов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. *Радиоволновая томография: достижения и перспективы.* – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 280 с.

[2] Leon G., Herran L., Munoz M., Las-Heras F., Hao Y. *Progress In Electromagnetics Research.* 2014. V.54. P. 125.

## **ЭВОЛЮЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ В ИНСТИТУТЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Темник Анатолий Константинович, Чахлов Владимир Лукьянович, Штейн Михаил Михайлович, Чахлов  
Сергей Владимирович, Осипов Сергей Павлович, Удод Виктор Анатольевич.*

*Томский политехнический университет*

*E-mail [temnik\\_ak@mail.ru](mailto:temnik_ak@mail.ru)*

В начале пятидесятих годов прошлого века получило интенсивное развитие перспективное научное направление: создание радиометрических комплексов на базе циклических ускорителей тормозного излучения. В плане решения данной задачи коллективом учёных и конструкторов нашего университета были разработаны и изготовлены бетатроны на энергию от 2 до 35МэВ с техническими параметрами на уровне лучших зарубежных аналогов. На протяжении последующих лет шли интенсивные научные и экспериментальные исследования по модернизации конструктивных и технических параметров бетатронов, поиск оптимальных соотношений между максимальной энергией и интенсивностью тормозного излучения, частотой питающего напряжения и стабильностью интенсивности излучения. В настоящее время наиболее совершенны бетатроны на энергию 4 и 9МэВ.

Последующие исследования были направлены на определение оптимальных соотношений между такими параметрами как чувствительность, производительность, разрешающая способность различных бетатронных радиометрических установок при контроле материалов и изделий машиностроения, металлургии, строительства. Аналогичные установки нашли широкое применение при таможенном и пограничном контроле ручной клади и багажа с целью обнаружения взрывчатых веществ, наркотиков, оружия и других, запрещённых к перевозке на транспорте предметов. Ещё одной важной областью применения излучения бетатронов являются лучевая терапия, врачебная диагностика.

Для успешной конкуренции на мировом рынке аппаратно-программный комплекс должен включать в себя высокоэффективную систему детектирования и регистрации тормозного излучения, прошедшего через контролируемый объект. Не смотря на многообразие приборной реализации радиационных детекторов, основной принцип преобразования излучения в электрический сигнал остался неизменным: вначале сцинтиллятор преобразует интенсивность излучения в пропорциональный световой поток, а затем разнообразные фотоэлектрические преобразователи преобразуют его в электрический сигнал, который преобразуется в двухмерное полутоновое изображение внутренней структуры контролируемого объекта. Полученная первичная информация является исходным материалом для различных математических преобразований с целью повысить её достоверность и возможность определять такие параметры как координаты, линейные размеры, состав материалов, обнаруженных несанкционированных вложений. Анализ и обработка такого объёма информации в реальном масштабе времени стал возможным благодаря разработанной в ИНК универсальной программе ДИАДА, реализующей методы томографии, распознавания образов и дуальных энергий. Особо важна возможность определения эффективного атомного номера материалов вложений: это позволяет эффективно обнаруживать вещества, запрещённые к ввозу различными видами транспорта на территорию нашей страны.

Исходя из результатов, полученных сотрудниками института при разработке, изготовлении и опытной эксплуатации аппаратно-программных комплексов, а также высокой международной научной репутации, достигнут устойчивый спрос в сфере дефектоскопической и антитеррористической деятельности.

## 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.

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ НЕМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ИМПУЛЬСНЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ

Славинская Екатерина Андреевна, Савин Игорь Сергеевич  
 Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
 Терехин Иван Владимирович, к.т.н.  
*carpe\_igulum@mail.ru*

В работе рассматривается вопрос измерений удельной электропроводности внутренних слоев немагнитных проводящих объектов. Электропроводность является важной характеристикой немагнитного материала, по значению которой можно определять его химический состав, структуру, прочность и т.д. Задачи такого рода актуальны при проверке качества термообработки металлов, а также при контроле деталей и оборудования аэрокосмической отрасли, предприятий химического, нефтяного, энергетического и других отраслей машиностроения.

Основным методом контроля электропроводности является вихретоковый метод. К настоящему времени хорошо проработан и используется вихретоковый метод с гармоническим (полигармоническим) возбуждением. Как правило, устройство для вихретокового контроля электропроводности состоит из двух соосных обмоток - возбуждения и измерения. Обмотка возбуждения непрерывно создает электромагнитное поле возбуждения, которое индуцирует в объекте контроля вихревые токи. Результирующее электромагнитное поле фиксируется измерительной обмоткой. По воздействию поля вихревых токов на первичное электромагнитное поле определяют электрофизические параметры контролируемого объекта. Главным недостатком подобных устройств является то, что они контролируют только эквивалентную проводимость изделия, подразумеваемую неизменной по глубине контроля и ограниченной глубиной проникновения вихревых токов. Для задач, где важно распределение свойств по глубине объекта контроля, этого недостаточно. Для увеличения информативности контроля используют многочастотное возбуждение с последующей обработкой информации на разных частотах. Задача контроля электропроводности может решаться не только при непрерывном, но и при импульсном питании обмотки возбуждения, при этом информация об объекте контроля будет представлена в сигнале преобразователя иначе, нежели при гармоническом возбуждении. Изучение импульсного способа вихретокового контроля применительно к послыльному измерению электропроводности являлось задачей настоящей работы.

В работе проводилось моделирование импульсного вихретокового преобразователя накладного типа. В качестве объекта исследования была использована двухслойная пластина с удельной электрической проводимостью основания  $38 \text{ МСм/м}$  и  $T_{\text{осн}} \rightarrow \infty$  и покрытием толщиной  $T_{\text{п}} = 4 \text{ мм}$  и электропроводностью от 0 до  $500 \text{ МСм/м}$ . По результатам моделирования получены временные зависимости магнитного потока от электропроводности покрытия (рис.1).

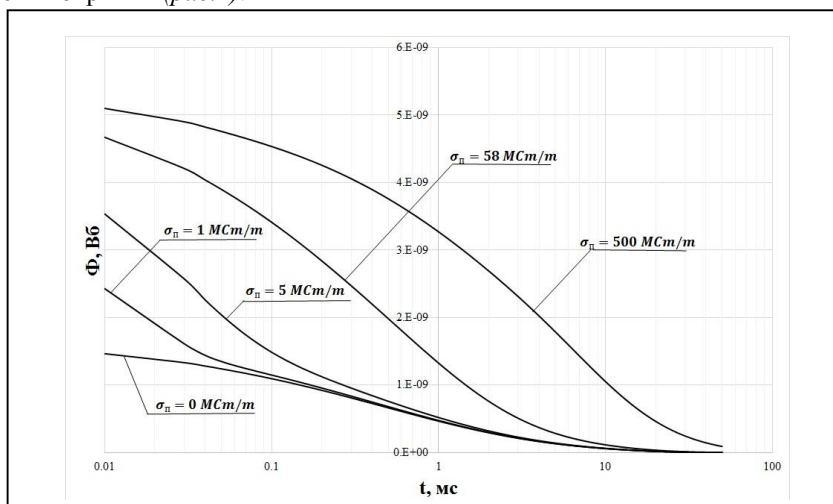


Рис.1. Зависимость магнитного потока от времени вихретокового переходного процесса

Если электропроводность покрытия много меньше электропроводности основания, переходные процессы в покрытии и основании можно независимо разделить. По мере увеличения электропроводности покрытия и приближения ее к электропроводности основания отдельный контроль основания и покрытия затрудняется. Когда электрическая проводимость покрытия много больше электропроводности основания, информацию о параметрах нижнего слоя выделить уже невозможно. Это связано с тем, что переходной процесс в основании становится вынужденным – вихревые токи определяются скоростью изменения магнитного потока в покрытии.

Наиболее сложный и часто встречающийся в задачах неразрушающего контроля случай - когда оба слоя контролируемого объекта имеют электропроводность одного порядка. Переходная зона между слоями отсутствует (*рис. 1*), а сам вихретоковый процесс в нижнем слое подвергается влиянию аналогичного процесса в покрытии.

При импульсном возбуждении информация, поступающая с течением времени от объекта контроля, имеет накопительный характер. Это означает, что в начале переходного процесса мы можем контролировать только близлежащие к катушке поверхностные слои объекта контроля, затем мы постепенно получаем информацию о более глубоко залегающих слоях. Информация о электропроводности поверхностных слоев объекта может быть получена из анализа параметров переходного процесса в его начале, а информация о свойствах удаленного слоя – путем математического разделения информации об объекте в среднем и о его поверхностных слоях.

В рамках данного исследования для оценки электропроводности нижнего слоя в объекте контроля с разбросом электрофизических свойств в пределах одного порядка была разработана методика. Ее суть заключается в оценке интеграла под кривой измеряемой величины от времени на нескольких временных интервалах. Начальный участок переходного процесса условно принимается за область влияния только поверхностного слоя, конечный временной участок содержит информацию обо всем объекте контроля. В значение интеграла за начальный участок вносится поправка на зависимость электрической проводимости основания от проводимости верхнего слоя. Затем полученная величина вычитается из интеграла за конечный временной интервал. Такой подход к измерению электропроводности был смоделирован для реальной задачи, имеющей прикладное значение: контроль температуры в металлургических агрегатах непрерывной разливки стали.

## **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 Ta 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].

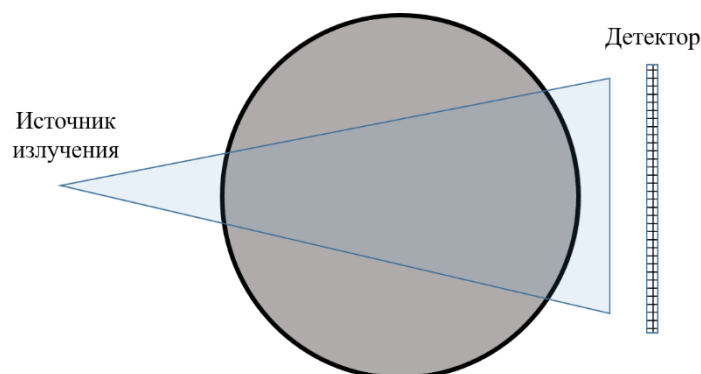


Рис.1. Схема томографического контроля труб (вид сверху)

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).

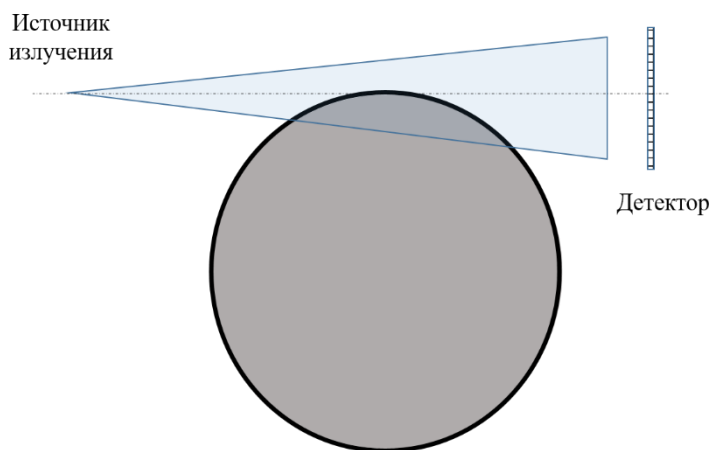
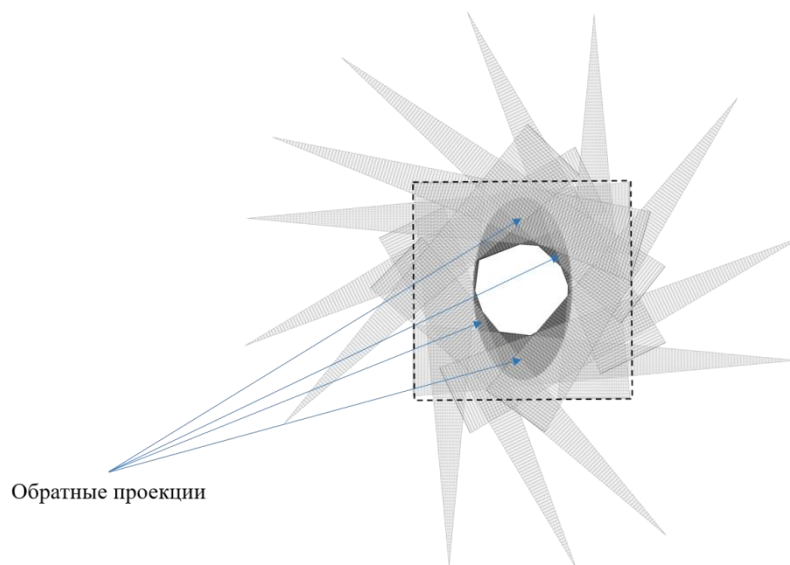


Рис.2. Контурная схема томографического контроля труб (вид сверху)

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).



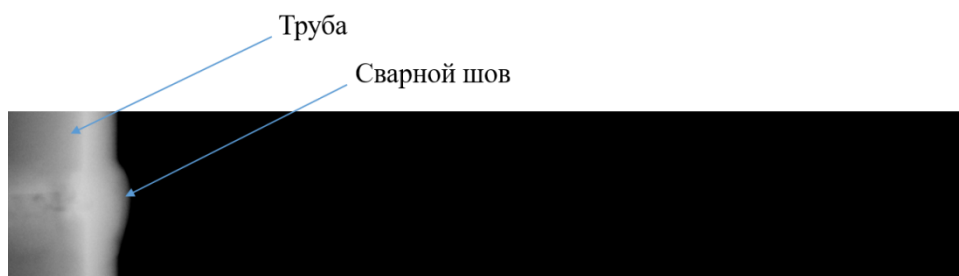
*Рис.3. Обратное проецирование вдоль точных траекторий пучка рентгеновских частиц*

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 плоскопанельный 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).

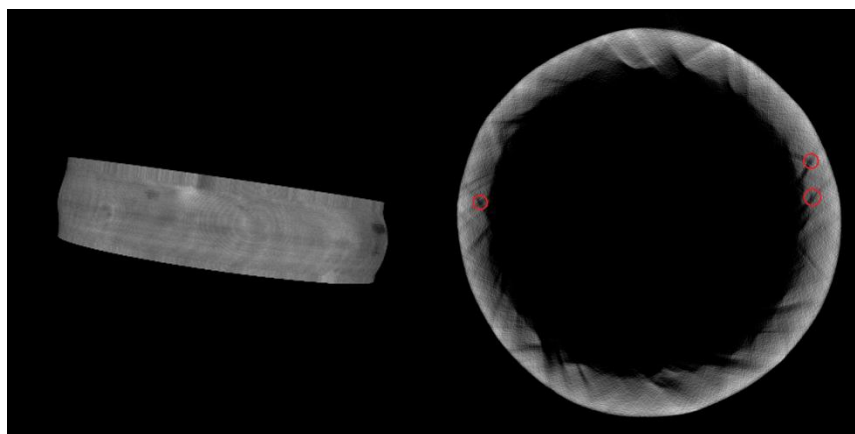


Рис.6. Результаты реконструкции: слева – трехмерная визуализация сварного шва, справа – одно из сечений

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.

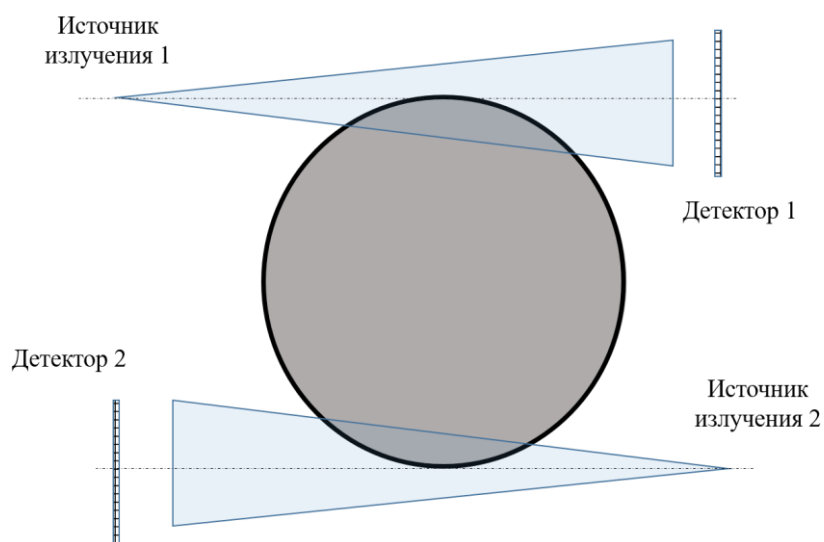


Рис.7. Предлагаемая схема томографического сканирования

#### 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].

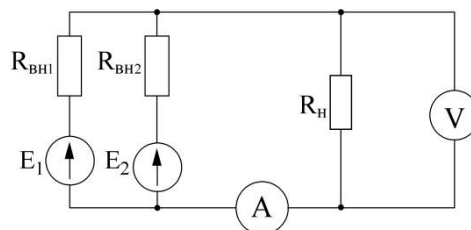


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

### 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.

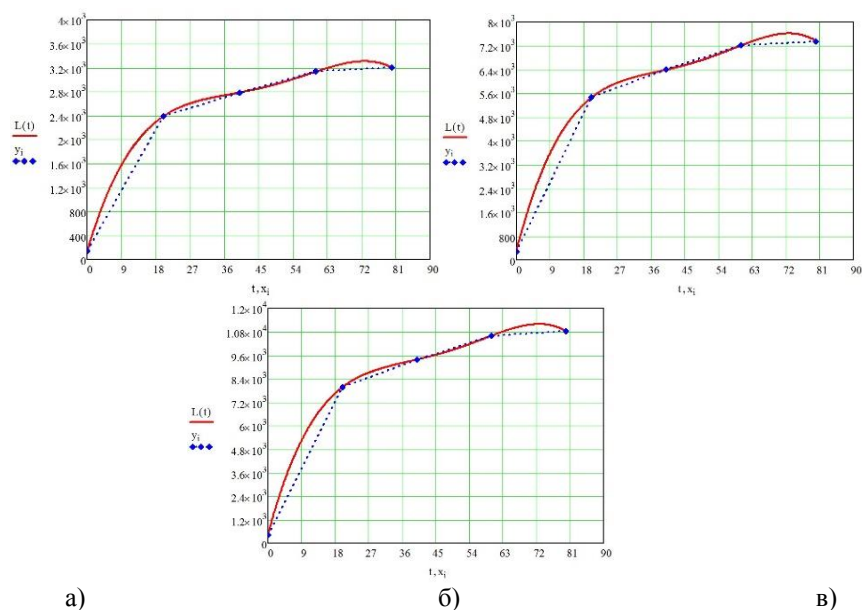


Рис.2. Зависимость термоЭДС от сопротивления нагрузки, при температурах 100 °С (а), 200 °С (б), 300 °С (в), сплошная линия – моделирование, пунктирная линия – экспериментальные данные.

### 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. Солдатов. – 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. Солдатов. – 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

Осипов 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 превалирующих 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 превалирующих 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.

## ЭКРАННЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК УРОВНЯ РАСПЛАВА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Савин Игорь Сергеевич, Славинская Екатерина Андреевна

Московский энергетический университет

На сегодняшний день в металлургии широко распространены вихретоковые датчики. Одно из типичных применений – измерение уровня расплава стали в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. В последнее время широкое распространение получили датчики встроенного типа. Такой датчик устанавливается напротив медной стенки кристаллизатора. Датчик измеряет уровень по температуре медной стенки, т.к. из-за экранирования медной стенкой сигнал от стали в 100 раз меньше сигнала от нагрева (изменения электропроводности) медной стенки кристаллизатора [1, 2].

У вихретоковых датчиков встроенного типа имеется существенный недостаток – погрешность от инерционности тепловых процессов в медной стенке, т.к. при изменении уровня металла температура стенки изменяется с запаздыванием. Чем больше толщина стенки, тем больше запаздывание в сигнале датчика. Кроме того дополнительное запаздывание появляется при разливке с использованием шлакообразующей смеси, которая добавляется в кристаллизатор и играет роль смазки между слитком и медной стенкой.

Для снижения этой погрешности необходимо выделять сигнал непосредственно от жидкой стали. Это возможно при экранной конструкции датчика. При этом обмотка возбуждения и обмотки измерения устанавливаются на противоположных стенках кристаллизатора. При такой конструкции соотношение «сигнал от стали/ сигнал от меди» возрастает в несколько десятков раз.

Для приблизительной оценки величин сигнала от металла и сигнала от нагрева медной стенки кристаллизатора был проведен лабораторный эксперимент с реальной гильзой кристаллизатора и имитатором уровня расплава из нержавеющей стали (брусочек с сечением равным внутреннему сечению гильзы кристаллизатора). В ходе эксперимента при разных частотах возбуждения были получены годографы от изменения уровня металла (перемещения имитатора внутри гильзы) и годографы от нагрева медной гильзы (гильза нагревалась электротехническим феном на 100°C). В результате чего было выявлено, что сигнал от металла убывает с ростом частоты, а сигнал от нагрева минимален при частоте 125-150 Гц. В этом диапазоне частот соотношение «сигнал от металла/сигнал от нагрева» максимально и равно 0.4.

В реальности температура медной стенки изменяется на 150-200°C. Кроме того в медной стенке присутствует температурный градиент как по высоте, так и по толщине. Лабораторный эксперимент этого не учитывает, в то время как оба этих градиента влияют на форму годографов от изменения температуры. Так же в лабораторном эксперименте невозможно получить годограф от реального изменения уровня, когда в гильзе присутствует и температурное распределение и металл. Для получения уточненных годографов было использовано междисциплинарное математическое моделирование методом конечных элементов в программе ANSYS Workbench 17.

В ходе моделирования были получены годографы от изменения уровня только металла (они совпали с экспериментальными годографами), годографы от перемещения температурного распределения в медной гильзе (они отличаются годографов полученных в лабораторном опыте из-за присутствия двух градиентов) и годограф от реального изменения уровня, когда присутствует и металл и соответствующее ему температурное распределение. Из результатов видно, что все годографы не линейны, из-за чего невозможно использовать амплитудно-фазовую отстройку для выделения сигнала только от стали и снижения сигнала от температуры.

В ходе моделирования и лабораторного эксперимента была показана возможность увеличения соотношения «сигнал от стали/сигнал от температуры» в 40 раз по сравнению с датчиком встроенного типа. Но сложность выделения сигнала только от стали заключается в нелинейности всех годографов. Для разработки алгоритма обработки сигнала экранного датчика необходимо дальнейшее проведение промышленного эксперимента на реальной машине непрерывного литья заготовок.

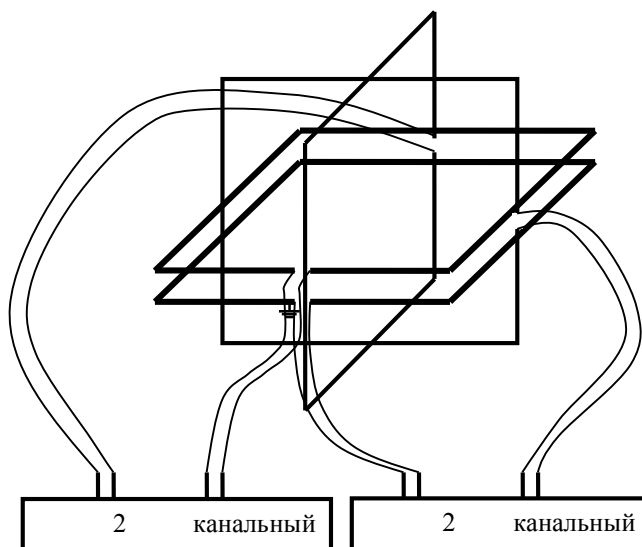
#### Список литературы:

- [1] Mörmann, J. Schmid, S. Spagnul. *Recent progress in fast and accurate meniscus level measurement for continuous casting machines Proc. 7th European Continuous Casting Conference (ECCC) 2011, 27 June — 1 July 2011, Dusseldorf.*
- [2] Терехин И.В. *Разработка вихретоковых средств контроля уровня жидкого металла в гильзовом кристаллизаторе при непрерывной разливке стали. автореф. дис., канд. техн. наук. М., 2008.*

## ТРЕХОСЕВАЯ ОРТОГОНАЛЬНАЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩАЯ КАТУШКА ДЛЯ ВИХРЕТОКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Суханов Дмитрий Яковлевич, Завьялова Ксения Владимировна, Гончарик Мария Александровна  
Томский государственный университет  
E-mail : [sdy@mail.tsu.ru](mailto:sdy@mail.tsu.ru)*

Вихретоковая дефектоскопия [1-5] нашла широкое применение в современной промышленности, но всё ещё актуальна проблема повышения динамического диапазона [6-8]. Трёхосевая катушка может являться чувствительным датчиком электропроводящих объектов и позволит обеспечить высокий динамический диапазон измерений. Предлагаемая трёхосевая катушка состоит из трёх независимых витков, расположенных в ортогональных плоскостях. Особенностью такой системы является, тот факт, что если одна из катушек начинает создавать переменное магнитное поле, то в других катушках это поле не будет создавать индукционного тока. Но если вблизи системы появится электропроводящий объект, то он вызовет возмущения поля и эти возмущения вызовут индукционные токи в соседних катушках.



*Рис.1. Моделируемая траектория сканирования с максимальным разбросом высот 15 см.*

По сути, трёхосевая катушка позволяет измерить три независимых сигнала с учётом всех комбинаций катушек и теоремы взаимности. Первый сигнал измеряется при работе X - ориентированной катушки на передачу, а Y - ориентированной катушки на приём. Второй сигнал измеряется при работе X - ориентированной катушки на передачу, а Z - ориентированной катушки на приём. Третий сигнал измеряется при работе Z - ориентированной катушки на передачу, а Y - ориентированной катушки на приём.

Для проверки применимости ортогональной трёхосевой катушки было проведено численное моделирование и эксперимент. В математической модели системы, её реакция на точечный объект рассчитывалась в виде скалярного произведения векторных потенциалов катушки-источника и катушки – приемника. Три квадратные катушки со стороной 6 см были размещены в ортогональных плоскостях. Исследуемый объект, в виде ступенчатого треугольника, располагался на дальности 5 см от центра системы катушек. Катушка была установлена на двухкоординатный механический сканер, который перемещал её на области 44 на 44 см с шагом 5 мм.

На рис. 2а представлен моделируемый тестовый объект. На рис 2б результат моделирования сигнала при измерениях между ортогонально ориентированными катушками с помощью формул (1-3). В результате численного моделирования и эксперимента можно заключить, что возможна визуализация контурного изображения объекта по измерениям трёхосевой катушки. Результаты эксперимента и численного моделирования хорошо согласуются, что подтверждает правильность выбранной математической модели трёхосевого магнитоиндукционного датчика.

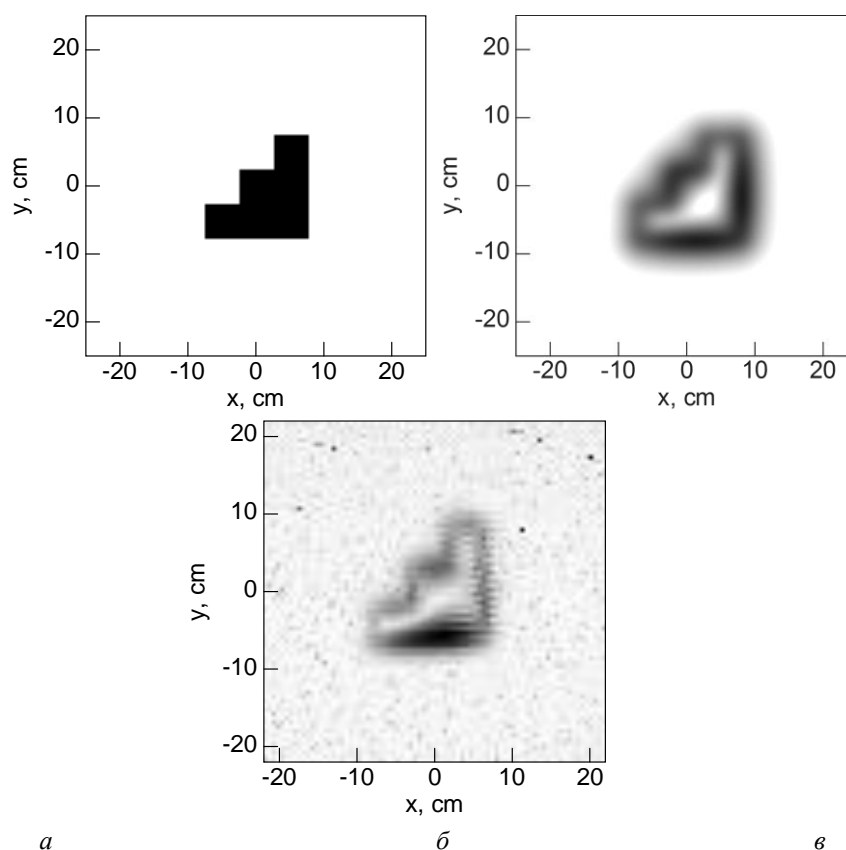


Рис 2. Заданная (а) форма тестового объекта и восстановление его контура по результатам численного моделирования (б) и изображение восстановленное по экспериментальным данным (в).

#### Список литературы:

- [1] Павлюченко В.В., Дорошевич Е.С. Неразрушающий контроль объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях // Дефектоскопия, - 2010. - № 11. - С. 29-40.
- [2] Лоскутов В.Е. Магнитный трубный дефектоскоп ДМТП. // Дефектоскопия. -2008.- № 4. С. 78-86.
- Никольский В.В. Теория электромагнитного поля. М. Высш. школа, -1961.- 372 с.
- [3] Javier O. Fava, Maria C. Ruch. Calculation and simulation of impedance diagrams of planar rectangular spiral coils for eddy current testing // NDT&E International 39, - 2006 - pp. 414–424.
- [4] T.P.Theodoulidis, E.E. Kriezis. Impedance evaluation of rectangular coils for eddy current testing of planar media // NDT&E International 35, - 2002 - pp. 407–414.
- [5] Li Shu, Huang Songling, Zhao Wei, Yu Peng. Study of pulse eddy current probes detecting cracks extending in all directions // Sensors and Actuators A 141, - 2008. - pp. 13–19.
- [6] Li Shu, Huang Songling, Zhao Wei. Development of differential probes in pulsed eddy current testing for noise suppression // Sensors and Actuators A 135 – 2007. – pp. 675–679.
- [7] R.J. Ditchburn, S.K. Burke. Planar rectangular spiral coils in eddy-current non-destructive inspection // NDT&E International 38. - 2005. - pp. 690–700.
- [8] Peng Xuan, Songling Huanb , Wei Zhaob. A new differential eddy current testing sensor used for detecting crack extension direction // NDT&E International 44, - 2011. - pp. 339–343.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ БЕТАТРОННОГО ТОМОГРАФА

Кайраларов 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  
kairalarovd@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.

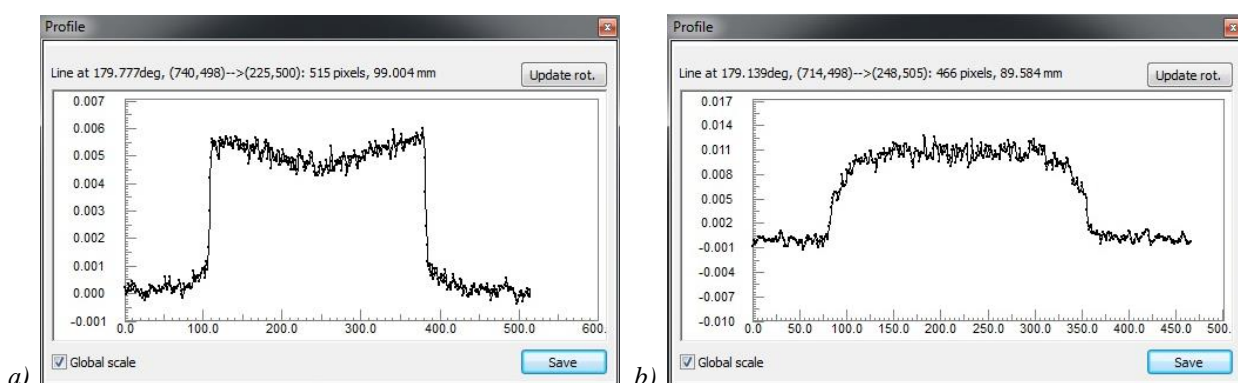


Рис. 1. Распределения ЛКО излучения: а) – без фильтрации; б) – с фильтрацией

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  $1024 \times 1024$  пикселей, содержащий изображение цилиндра. На рис. 2 приведены оценки ФПМ, полученные с использованием программного обеспечения от Bruker micro CT.

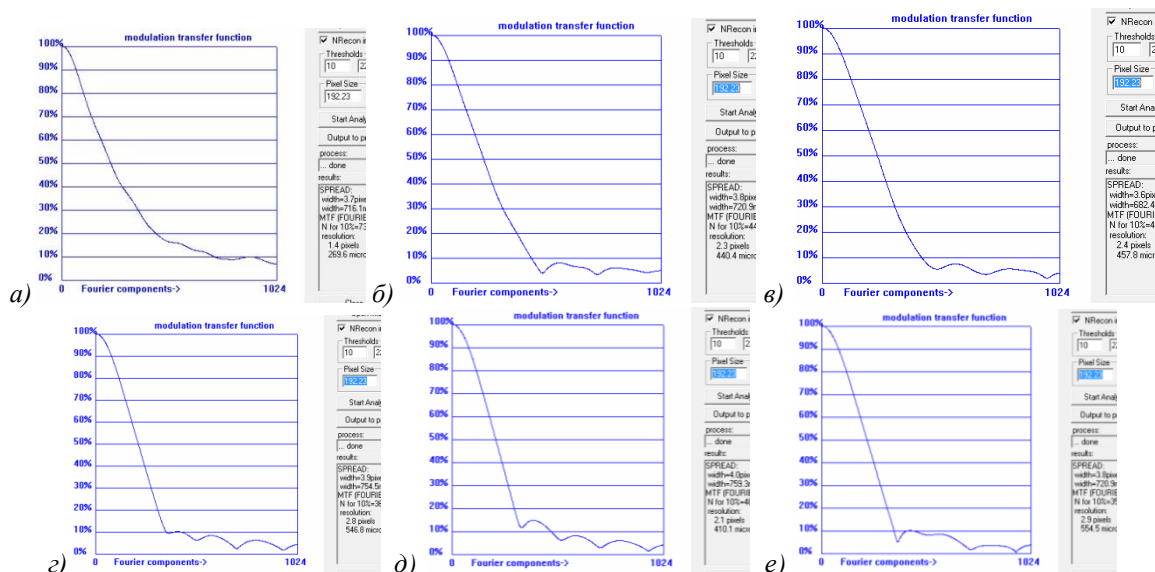


Рис. 2. ФПМ: а) – 1 МэВ; б) – 1,5 МэВ; в) – 2 МэВ; г) – 3 МэВ; д) – 3,5 МэВ; е) – 4 МэВ

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.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ НАГРУЗОК В СВАРНЫХ ШВАХ СО СТРУКТУРОЙ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА

Ильинский А.В.,<sup>1</sup> Котовщиков И.О.<sup>1</sup>, Костюхин А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Университет Информационных Технологий, Механики и Оптики, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург

проф. Федоров Алексей Владимирович

[allill003@mail.ru](mailto:allill003@mail.ru)

Известно, что сварные соединения корпусных изделий подвержены трещинообразованию под действием ударных нагрузок. Поэтому резко встает вопрос об обеспечении трещиностойкости сварных соединений. Одним из способов повышения трещиностойкости при ударном взаимодействии является использование метастабильного аустенита в качестве материала для изготовления сварного шва. В такого рода материале корень шва обеспечивает требуемую вязкость соединения, а в наплавке со структурой метастабильного аустенита при ударном нагружении протекает мартенситное превращение, приводящее к локальному увеличению твердости материала вблизи места нагружения за счет образования мартенсита деформации. Таким образом, механические характеристики сварного соединения напрямую будут зависеть от мартенситного превращения.

Однако остался открытым вопрос о проведении неразрушающего контроля сварного соединения изделия. Для контроля механических характеристик в настоящее время все большую популярность набирает метод динамического индентирования, который сочетает в себе достоинства стандартизированных методов определения механических характеристик материалов. В основе метода динамического индентирования



лежит непрерывная регистрация процесса ударного контактного взаимодействия индентора с исследуемым материалом, а именно регистрация текущей скорости движения индентора. Авторами был проведен эксперимент, в основу которого был положен контроль механических характеристик сварного шва вблизи ударного взаимодействия и на значительном удалении от ударного взаимодействия, а также анализ полученных значений.

Также был проведен контроль содержания ферритной фазы в исследуемых зонах для подтверждения полученных результатов методом динамического индентирования с помощью специального оборудования.

## ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТА

*Зятьков 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 микр- 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] Зятыков 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.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ МЕТОДОМ ИК ТЕРМОГРАФИИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СПЛАВА Тi - 45 мас. % Nb В КРУПНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СОСТОЯНИИ**

*Орлова Елена Сергеевна, Скрипняк Владимир Владимирович, Чулков Арсений Олегович, Козулин Александр Анатольевич*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный Исследовательский Томский Политехнический университет»*

*Белявская Ольга Андреевна*

[Orles24@mail.ru](mailto:Orles24@mail.ru)

Исследование является продолжением ранее проведенных в лаборатории физики наноструктурных биокomпозитов ИФПМ СО РАН исследований процесса деформирования и разрушения сплавов титана (BT1-0) и циркония (Э110) в различных структурных состояниях, анализу термографических характеристик, измеренных в процессе деформации образцов методом инфракрасной (ИК) термографии, результаты которых представлены на предыдущих конференциях SibTest [1]. Выбор материалов исследования определяется интересом к биоинертным металлам и сплавам, отвечающим требованиям совместимости с костной тканью по биомеханическим и биохимическим свойствам, предъявляемым к материалам для создания костных имплантатов (ортопедических, челюстно-лицевых, дентальных). Повышение прочностных характеристик биоинертных металлов и сплавов на их основе, наблюдаемое при создании в объеме материала ультрамелкозернистого состояния (УМЗ) вследствие использования методов интенсивной пластической деформации, связано с особенностями получаемой структуры. Исследование механизмов разрушения наноструктурированных сплавов с помощью структурно-чувствительных методов представляет значительный интерес [2, 3].

Работа посвящена анализу особенностей процесса деформирования и разрушения с визуализацией методом ИК термографии образцов в различных структурных состояниях сплава состава: Ti -45 мас. % Nb. Перевод УМЗ состояния в крупнокристаллическое состояние (КК) выполняли отжигом образцов в среде аргона, используя несколько температурных режимов. Механические испытания выполнены по схеме одноосного растяжения плоских образцов с постоянной скоростью деформации  $0,01 \text{ с}^{-1}$  на сервогидравлическом стенде Instron VHS 40/50-20. Эволюцию температурного поля образцов в ходе растяжения фиксировали измерительной тепловизионной системой FLIR SC 7700M, модифицированной для исследования быстропротекающих тепловых процессов.

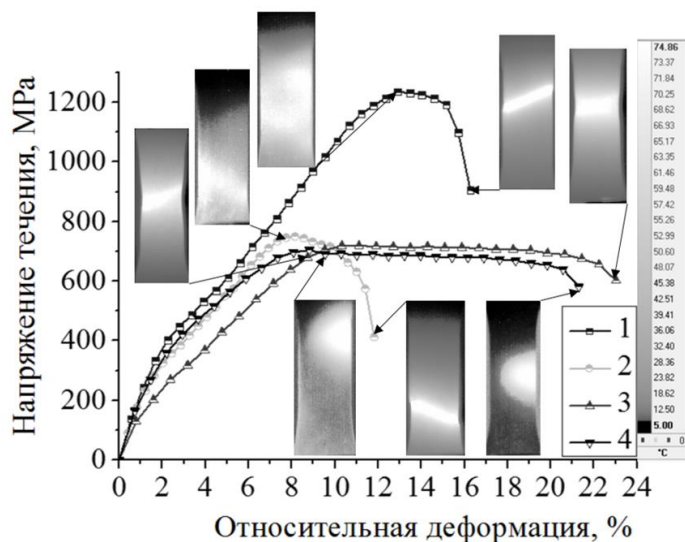


Рис.1. Эволюция температурного поля в процессе деформации и кривые «истинное напряжение – относительная деформация» образцов сплава Ti–45 мас. % Nb в различных структурных состояниях: 1) УМЗ в исходном состоянии; 2) УМЗ после отжига при 500° С; 3) КК после отжига при 700° С; 4) КК после отжига при 800° С.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что измельчение зерна приводит к росту механических характеристик сплава Ti –45 мас. % Nb более, чем на 50% по пределу прочности,  $\sigma_b$ . Структура сплава в КК и УМЗ состояниях влияет на характерные распределения температуры в деформируемых образцах. Отклонения от типичной структуры сплава в КК или в УМЗ состоянии вносят изменения в типичные для каждого состояния ИК термограммы.

Авторы благодарят Шаркеева Ю.П., Скрипняка В.А., Вавилова В.П. за организацию выполнения совместных исследований и обсуждение результатов работы.

#### Список публикаций:

- [1] Шаркеев Ю.П., Вавилов В.П., Скрипняк В.А., Белявская О.А., Козулин А.А., Чулков А.О., Сороколетов А.Ю., Скрипняк В.В. //Информационные технологии неразрушающего контроля : сборник научных трудов Российской школы конференции с международным участием, Томск, 27-30 октября 2015 г. — Томск : Изд-во ТПУ. 2015. С.230-245.
- [2] Шаркеев Ю.П., Данилов В.И., Вавилов В.П., Скрипняк В.А., Белявская О.А., Козулин А.А., Чулков А.О., Ерошенко А.Ю., Сороколетов А.Ю., Скрипняк В.В., Орлова Д.В. //Многофункциональные конструкционные материалы нового поколения: сборник статей / Под общей редакцией В.Е. Громова – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ. 2015. С. 258-270.
- [3] Sharkeev Yu. P., Vavilov V. P., Belyavskaya O. A., Skripnyak V. A., Nesteruk D. A., Kozulin A. A., Kim V. M. //J. Nondestruct Eval. 2016. P. 35-42. DOI 10.1007/s10921-016-0349-5.

## ОЦЕНКА СОБСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ РАССЕЙЯНИЯ ТОЧКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ПАНЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Осипов Сергей Павлович, Осипов Олег Сергеевич, Чинь Ван Бак  
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 Осипов 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.

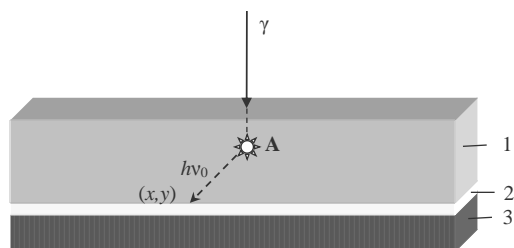


Рис. 1. Структура панельного детектора

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

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

где  $(r,\varphi)$  – координаты точки, излучающей свет, в цилиндрической системе координат, связанной с линией распространения первичного рентгеновского излучения;  $R_e(\bar{E})$ . Связь  $\bar{E}$  с параметрами СЭ и 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  $5 r_0$ . 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.

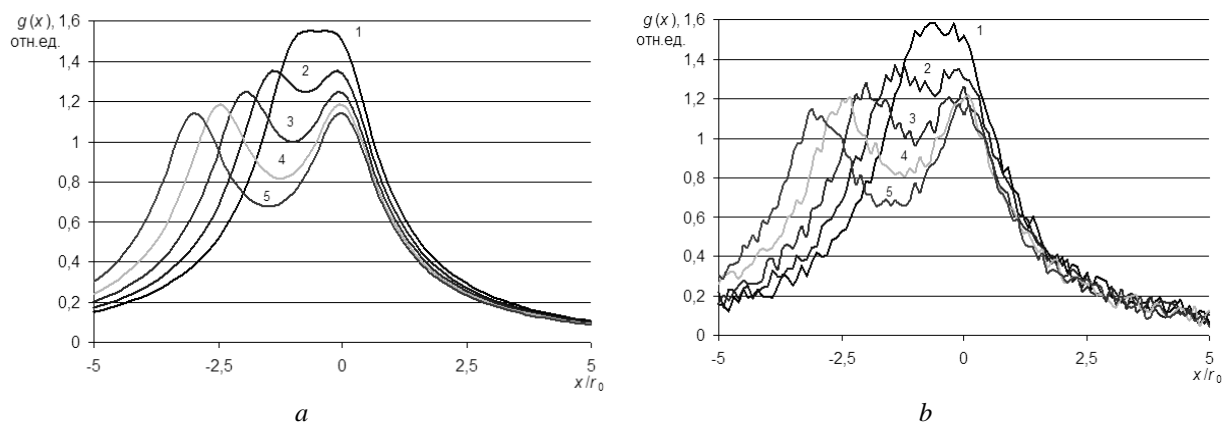


Рис. 2 –  $g(x, c)$ ,  $a$  – без шума;  $b$  – с шумом: 1 –  $c/r_0=1$ ; 2 –  $c/r_0=1,5$ ; 3 –  $c/r_0=2$ ; 4 –  $c/r_0=2,5$ ; 5 –  $c/r_0=3$

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.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СВОЙСТВ АНГИДРИТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

<sup>1</sup>Федорчук Ю.М., <sup>2</sup>Замятин Н.В., <sup>2</sup>Смирнов Г.В., <sup>1</sup>Русина О.Н., <sup>3</sup>Саденова М.А.

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет имени

С. Аманжолова

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

В результате разложения плавикового шпата в процессе производства фторводорода образуется побочный продукт – фторангидрит, который в качестве отхода складировается на отвалах или сбрасывается в водоемы, тогда как данный продукт способен заменить технический гипс на традиционных производствах.

Учеными ТПУ предложено использовать фторангидрит в строительстве для получения ангидритового вяжущего, цементных смесей, пластификаторов, шлакоблоков, гипсовых листов и профильных строительных изделий.

Качество строительных материалов во много зависит от правильного соотношения исходных компонентов строительной смеси. Ускорить и оптимизировать процесс принятия решений по подбору необходимого компонентного состава строительной смеси и уточнению свойств получаемой строительной продукции возможно с помощью моделирования посредством искусственных нейронных сетей (ИНС).

Одним из важных свойств нейронной сети является способность к обобщению, что позволяет получить новые свойства на заранее обученной модели.

Объектом изучения при моделировании на нейронных сетях стала ангидритовая растворобетонная смесь, основными компонентами которой могут быть техногенный ангидрит (ТА-10), техногенное ангидритовое вяжущее (ТАВ-10) и добавки – вода, сульфатол и инерт.

Для формирования и обучения нейронной сети использовались экспериментальные данные зависимости соотношения исходных компонентов строительной смеси от прочностных характеристик получаемых строительных изделий.

Для моделирования использовалась ИНС с обратным распространением ошибки, число нейронов которой в скрытом слое составляет 8, а количеством эпох обучения равно 100.

Адекватность полученной нейросетевой модели вещества проверялась по известным экспериментальным данным. Проверка показала, что погрешность моделирования не превышает 1 %.

Представленное моделирование системы прогноза свойств ангидритовых растворобетонных смесей на основе нейронных сетей позволит провести прогноз с погрешностью 1% и подбирать компоненты смеси для получения строительной продукции заданных свойств.

## 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.  
[vym32@tpu.ru](mailto:vym32@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



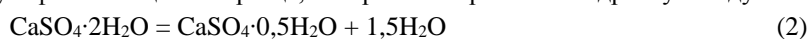
Согласно технологической и экономической целесообразности данный процесс проводят с избытком концентрированной серной кислоты в температурном интервале (150-220) °С, поэтому в твердых отходах содержатся следующие химические соединения:  $\text{CaSO}_4$  водорастворимый,  $\text{CaSO}_4$  водонерастворимый, 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).

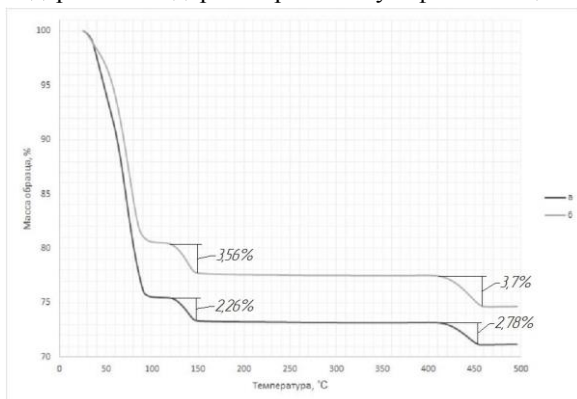


Рис. 1 Дериватограмма гипсовых образцов (а – из ТАВ, б – из ТА)

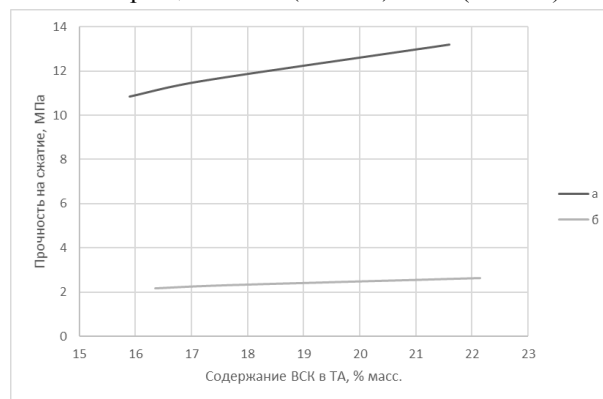


Рис. 2. Влияние ВСК на прочность сжатия гипсовых образцов (а – ТАВ, б – ТА)

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.

## СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Тригуб Максим Викторович, Евтушенко Геннадий Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им.

В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

trigub@tpu.ru

В настоящее время темпы развития пучковых, плазменных, лазерных технологий, в том числе для создания новых материалов и модификации их свойств, весьма высоки. В основе этих методов лежит взаимодействие потоков энергии различной природы с материалом. Наибольший интерес с точки зрения получения новых фундаментальных знаний представляют процессы, протекающие в начальный момент взаимодействия. При этом их характерные времена могут составлять вплоть до единиц наносекунд. Следовательно, визуально-оптическая диагностика таких процессов предполагает использование высокоскоростных регистраторов. Еще одной отличительной особенностью таких процессов является наличие широкополосной фоновой засветки, возникающей в результате взаимодействия, наличие которой предполагает использования дополнительных средств фильтрации изображения. Перечисленные особенности предполагают решение комплекса проблем, связанных, с одной стороны, с повышением быстродействия систем визуализации, а с другой, с обеспечением фильтрации изображений без искажения получаемой информации. Для получения изображений таких процессов доступны готовые комплексы на основе внешней подсветки в совокупности с пассивной спектральной фильтрацией, в основе таких комплексов лежит метод спектральной и временной фильтрацией [1]. Вместе с тем, в случае мощной засветки, такие методы оказываются бессильными.

В ряде работ была показана возможность использования систем с усилителями яркости (УЯ) на парах металлов для осуществления узкополосного усиления яркости изображений для визуализации процессов, экранированных фоновым излучением, например в работах [2,4]. Активная среда лазера на самоограниченных переходах в парах металлов, работающая в режиме сверхсветимости, осуществляет подсветку объекта, а отраженный сигнал, проходя через объектив 1, попадает обратно в активную среду, рис. 1, а.

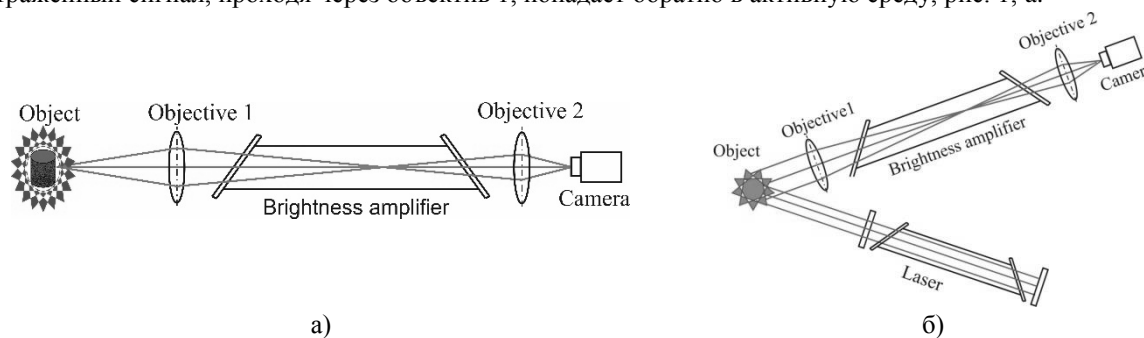


Рис. 1. – Визуализация с использованием квантовых фильтров: моностатическая (а) и бистатическая (б)

При попадании отраженного сигнала в активную среду в момент, когда еще имеется инверсная населенность, осуществляется усиление сигнала. За счет высокой спектральной яркости уровень усиленного сигнала на выходе УЯ значительно превосходит сигнал от фоновое излучение, что обеспечивает возможность наблюдения объекта. Для регистрации изображений, сформированных таким образом, используется высокоскоростная камера, а объектив 2 служит для согласования размеров изображения на выходе УЯ. В этом случае параметры системы визуализации (область зрения, время формирования усиленного изображения, спектральный состав, предельная дистанция до объекта наблюдения) определяются параметрами среды усилителя яркости и используемой оптикой. Для расширения возможностей лазерных мониторов, т.е. систем с усилителями яркости, предлагается использовать бистатический вариант системы визуализации, рис. 1, б. В этом случае функция подсветки и фильтрации разделены между двумя активными элементами. В простейшем случае это может быть один и тот же тип активной среды. Теоретически, возможно использование разных сред для подсветки и для фильтрации.

В работе представлены результаты применения систем с квантовыми фильтрами при визуализации тестовых объектов. В качестве фильтров использовалась среда на парах бромида меди. Для оценки искажений, вносимых усилителем яркости, совместно с сотрудниками ИФПМ Любутиным П.С. и Бурковым М.В. была разработана программа, позволяющая определять основные показатели качества формируемых изображений [3]. Увеличение количества импульсов, формирующих изображение, приводит к уменьшению коэффициентов взаимной корреляции между изображениями. Это свидетельствует об изменении усилительных характеристик среды от импульса к импульсу. Показано, что при использовании покадровой съемки [4], искажения, вносимые УЯ, будут минимальны. Использование бистатической схемы позволяет увеличить область зрения без ухудшения показателей качества изображений в сравнении с моностатической схемой и проводить визуальный контроль удаленных объектов.



Список литературы:

- [1] C.E. Webb, D. Julian, C. Jones. *Handbook of Laser Technology and Applications: Applications*. IOP Publishing Ltd. – 2004. – 2075 Pp. 1170
- [2] Abramov D.V., Arakelian S.M., Galkin A.F., Klimovskii I.I., Kucherik A.O., Prokoshev V.G.. *A laser-induced process on surface of a substance and their laser diagnostics in real time // Laser physics*. – Vol.15. – №9. – 2005. – pp. 1313-1318.
- [3] Тригуб М.В., Бурков М.В., Любутин П.С., Торгаев С.Н. *Исследование искажений, вносимых усилителем яркости на парах бромида меди, в формируемые лазерным монитором изображения. // Оптика атмосферы и океана*. 2016. Т. 29. № 10. С. 850–854.
- [4] Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A., Evtushenko T.G., Torgaev S.N., Shiyanov D.V. *Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // Review of Scientific Instruments*. – 2014. – Vol.85. – Issue 3. – № 033111. – pp. 1-5. DOI: 10.1063/1.4869155

## КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ CuBr-ЛАЗЕРА ДЛЯ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

Тригуб Максим Викторович, Лунев Алексей Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)  
trigub@tpu.ru

Оптимизация сварочного процесса является важной задачей с точки зрения снижения количества дефектов и повышения надежности неразъемных соединений. Для получения новых фундаментальных знаний, оптимизации параметров сварки целесообразно исследование процессов тепломассопереноса при сварочном процессе с одновременной регистрацией электрических параметров дуги. Для визуально-оптического исследования сварочных процессов предлагается использовать лазерные источники подсветки, а также системы спектральной и временной фильтрации [1]. Для этих целей предлагается применять лазер на парах бромида меди. Связано это с возможностью осуществлять визуализацию в нескольких режимах без изменения источника подсветки: в режиме теневой съемки, в отраженном свете, в режиме лазерного монитора. Каждый из методов позволяет проводить исследования различных стадий процессов. Теневая съемка позволяет изучить процесс формирования капли, метод лазерной подсветки может быть использован для наблюдения формирования капли и протекающих процессов в ванне расплава. Визуализация с помощью лазерного монитора позволяет полностью подавить влияние фонового излучения дуги и исследовать процессы без дополнительных средств по фильтрации излучения дуги. В работе представлены результаты разработки и применения диагностической системы для исследования процессов тепломассопереноса при различных параметрах сварки. Схема комплекса представлена на рисунке 1.

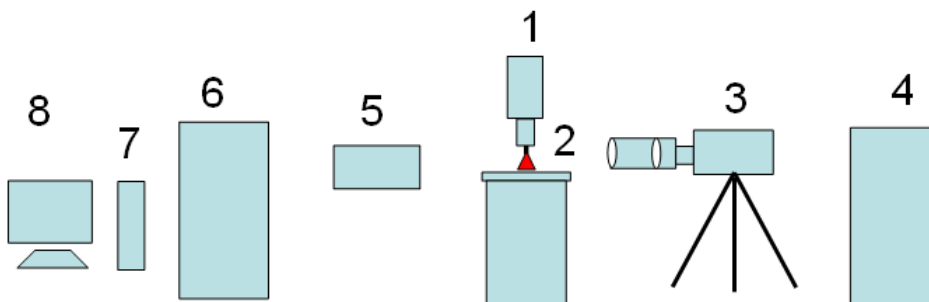


Рис. 1. – Упрощенная схема диагностического комплекса

Для визуально-оптического контроля предлагается использование CuBr-лазера. Очевидным преимуществом его является высокая импульсная мощность и малая длительность импульса (40 нс), что позволяет осуществлять временную фильтрацию изображения. Высокая частота следования импульсов (до

700 кГц), позволяет строить систему с временным разрешением на уровне единицы мкс. Высокий уровень усиления и малая линия спектра генерации позволяет осуществлять спектральную фильтрацию и полностью избавиться от фоновой засветки. Перечисленные особенности лазера позволяют использовать его как для реализации метода лазерной подсветки, так и для построения лазерного монитора с целью фильтрации излучения дуги. В качестве активного элемента может использоваться газоразрядная трубка (ГРТ), с диаметром активной зоны 2.5 см, и длиной 50 см. Конструкция и особенности работы активного элемента CuVg-лазера рассмотрены в работе [8].

Представлены некоторые результаты визуально-оптического исследования процессов с сопоставлением с энергетическими параметрами дуги.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 16-19-10010

Список литературы:

[1] C.E. Webb, D. Julian, C. Jones. *Handbook of Laser Technology and Applications: Applications*. IOP Publishing Ltd. – 2004. – 2075 Pp. 1170

## **ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ В ЗАДАЧАХ СКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

*Шидловский Станислав Викторович*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*shidlovskisv@mail.ru*

В настоящее время происходит бурное развитие средств вычислительной техники и переход от вычислительных архитектур последовательного принципа функционирования к параллельным, о чем свидетельствуют последние разработки ведущих компаний в области микропроцессорной техники (Intel, IBM, NVidia). В связи с этим также происходит прорыв в области интегральных технологий и появляется возможность построения целых систем на кристалле. Это требует, в свою очередь, разработки специального алгоритмического обеспечения и вопросов их применения в различных областях науки и техники (теории автоматического управления, цифровой обработки сигналов и изображений, экспертных систем, биоинформатики и др.). В докладе рассмотрен вариант решения проблемы разработки специализированного, быстродействующего алгоритмического обеспечения для решения задач автоматического управления. Разработано большое количество законов управления для систем автоматического управления, их реализация обеспечивается с применением вычислительных технологий последовательного или параллельного типов. Однако, всегда при реализации базовых операций (интегрирование, дифференцирование, произведение) формирования управляющего воздействия используются численные методы. В результате этого происходит существенное снижение быстродействия управляющего устройства. Возникающая проблема может быть решена с привлечением специализированных средств, реализующих операции булева дифференцирования, интегрирования и произведения двоичных данных.

К современным системам управления предъявляются все более высокие требования по улучшению их качественных показателей. Применение принципа реконфигурируемости алгоритма в процессе работы позволит: использовать высокопроизводительные вычислительные среды; обеспечить модульность, мобильность, высокую надежность, перестраиваемость аппаратно-программных автоматов, инвариантность алгоритмов к аппаратной платформе. Первые попытки применения ПВС в системах автоматического управления (САУ) показали значительное повышение качества технологического процесса [1-3]. В управляющее воздействие САУ тем или иным образом должна входить информация, отражающая пропорциональную, дифференциальную, интегральную, либо их комбинационную зависимость от ошибки регулирования. Связано это с тем, что в определенном классе систем нельзя избавиться от статической ошибки не используя операцию интегрирования в канале управления, операции дифференцирования и произведения в основном направлены на увеличение быстродействия в системе. В упомянутых работах использовалась концепция применения ПВС в качестве некоего логического устройства, способного на основании информации об ошибке выбирать тот или иной закон регулирования из заранее заданного класса. Причем сам класс законов регулирования не входил в состав ПВС. Однако, включение выбранного класса законов управления в функциональную структуру ПВС обеспечит повышение быстродействия управляющего устройства в разы. Так как рассматриваемые ПВС обрабатывают информацию, представленную в виде

двоичной последовательности (0 и 1), то для разработки технологии построения описанного устройства необходимо построить ПВС, обеспечивающие операции булева дифференцирования, интегрирования и произведения двоичных данных. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является то, что реконфигурируемые вычислительные среды строятся на базе элементов {И, ИЛИ, НЕ} (микроуровень), потому могут реализовываться на технологии, в которой осуществимы три этих базовых операции (т.е. на сверхбольших интегральных схемах, ПЛИС, нанозлектронике, молекулах ДНК и т.п.). Это позволит использовать полученные результаты в дальнейшем для создания новых типов лекарств.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-07-01138 А.

Список литературы:

- [1] Шидловский С.В. Автоматическое управление. Перестраиваемые структуры. 2006. 288 с.
- [2] Шашев Д.В., Шидловский С.В. // Автометрия. 2015. Т. 51. № 3. С. 19.
- [3] Шашев Д.В., Шидловский С.В. // Телекоммуникации. 2015. № 2. С.33.

## **ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ**

*Шашев Дмитрий Вадимович*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

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

Системы цифровой обработки изображений в настоящее время присутствуют в большинстве как промышленных так и научных отраслей. Такие системы эффективно решают обширный круг задач в области неразрушающего контроля.

Данный доклад посвящен перспективе создания новых устройств высокоскоростной обработки изображений для систем неразрушающего контроля на базе перестраиваемых вычислительных сред (ПВС). Благодаря принципам построения ПВС такие устройства обладают рядом уникальных свойств, в том числе высоким быстродействием выполнения алгоритмов обработки и анализа изображений.

ПВС – дискретная математическая модель высокопроизводительной вычислительной системы, состоящей из одинаковых и одинаково соединенных друг с другом простейших универсальных элементов (элементарных вычислителей (ЭВ)), программно настраиваемых на выполнение любой функции из полного набора логических функций, памяти и любого соединения со своими соседями. ЭВ работает только в базе логических функций И-ИЛИ-НЕ. Согласно модели коллектива вычислителей, предложенной Э.В. Евреиновым и В.Г. Хорошевым, на базе которой строятся ПВС, ЭВ в ПВС соединены между собой так, как показано на рис. 1. Каждый  $ij$  ЭВ в ПВС двунаправленно соединен с соседними ЭВ, причем  $y_1, y_2, \dots, y_8$  и  $f_1^M, f_2^M, \dots, f_8^M$  соответственно информационные входы и выходы между ЭВ;  $A_{ij}, B_{ij}, \dots, H_{ij}$  – обозначение связей между ЭВ;  $x_{ij}$  – основной вход, на который поступает значение пикселя исходного обрабатываемого изображения;  $f_{ij}$  – основной выход, с которого снимают значение соответствующего пикселя результирующего изображения;  $z_{ij}$  – настроечный вход, на который поступает код настройки ЭВ.

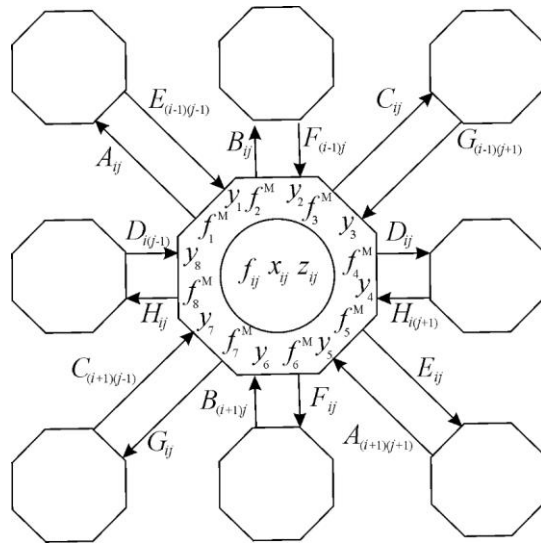


Рис.1. Структура связи ЭВ в ПВС между собой

Используя возможности имитационного моделирования в среде Simulink автором доклада успешно реализованы некоторые алгоритмы цифровой обработки изображений, а также построены соответствующие модели ПВС, причем стоит отметить высокие показатели быстродействия выполнения данных алгоритмов, выраженные в тактах работы ЭВ ПВС. Например, морфологические операции обработки бинарных и полутоновых изображений выполняются за 1 такт работы ЭВ вне зависимости от размера исходного изображения, а алгоритм подсчета площади объекта на бинарном изображении за 6-10 тактов работы ЭВ в зависимости от размера исходного изображения.

Список публикаций:

[1] Шашев Д.В., Шидловский С.В. // *Автоматрия*. 2015. Т. 51. № 3. С. 19.

[2] Шашев Д.В., Шидловский С.В. // *Телекоммуникации*. 2015. № 2. С.33.

[3] Шашев Д.В. // *Перспективные системы и задачи управления*. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. С. 207

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЛИЧНОСТИ

*Кузнецов Денис Николаевич, Сыряжкин Владимир Иванович*

*Томский государственный университет,*

*novorostomsk@gmail.com*

Биометрические технологии основаны на биометрии, измерении уникальных характеристик отдельно взятого человека. Это уникальные признаки, полученные им с рождения и характеристики, обретенные со временем или же способные меняться с возрастом или внешним воздействием. В данной статье рассмотрены принципы работы, виды систем биометрической идентификации, приведены примеры и области их применения.

**Биометрические технологии** основаны на биометрии, измерении уникальных характеристик отдельно взятого человека. Это могут быть как уникальные признаки, полученные им с рождения, например: ДНК, отпечатки пальцев, радужная оболочка глаза; так и характеристики, приобретенные со временем или же способные меняться с возрастом или внешним воздействием, например: почерк, голос или походка.

**Принцип работы.** Все биометрические системы работают практически по одинаковой схеме. Во-первых, система запоминает образец биометрической характеристики (это и называется процессом записи). Во время записи некоторые биометрические системы могут попросить сделать несколько образцов для того, чтобы составить наиболее точное изображение биометрической характеристики. Затем полученная информация обрабатывается и преобразовывается в математический код. Кроме того, система может попросить произвести ещё некоторые действия для того, чтобы «приписать» биометрический образец к определённому человеку. Например, персональный идентификационный номер (PIN) прикрепляется к определённому образцу, либо смарт-карта, содержащая образец, вставляется в считывающее устройство. В

таком случае, снова делается образец биометрической характеристики и сравнивается с представленным образцом

Таблица 1 Классификация систем идентификации личности

Системы идентификации	
врожденные	приобретенные
по отпечаткам пальцев (дактилоскопия)	по характеристикам речи
по радужной оболочке глаза	по изображению лица
по геометрии ладони руки	по подписи

Биометрия - технология идентификации личности, использующая физиологические параметры субъекта (отпечатки пальцев, радужная оболочка глаза и т.д.). Основные сведения Биометрические параметры - статические отпечатки пальцев, геометрия руки, сетчатка глаза и т.п. - динамические параметры: динамика воспроизведения подписи или рукописного ключевого слова, голос и т.п.

Таблица 2 Сравнительная таблица стоимости систем идентификации

Системы идентификации	Стоимость от (руб)
по отпечаткам пальцев (дактилоскопия)	676,62
по радужной оболочке глаза	16 599
по геометрии ладони руки	45 430
по характеристикам речи	786,02
по изображению лица	24 800

На сегодняшний день нашей командой разрабатывается метод скрытного сбора и анализа биологической информации. Об этом более подробно в следующих публикация.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЕЙ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

*Торгаев Станислав Николаевич<sup>1,2,3</sup>, Кулагин Антон Евгеньевич<sup>1</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 [torgaev@tpu.ru](mailto:torgaev@tpu.ru)*

Усилители яркости на парах металлов находят широкое применение при разработке активных оптических систем, применяемых в задачах неразрушающего контроля. Такие системы позволяют проводить визуальный контроль объектов и процессов в условиях мощной фоновой засветки [1]. При этом активная среда на парах металлов выполняет функции усиления и активной фильтрации. При этом качество изображений, формируемых в таких системах, зависит от пространственно-временных характеристик излучения (усиления) активной среды. Следовательно, задача разработки усилителей яркости на парах металлов с равномерным радиальным профилем излучения (усиления) является достаточно актуальной.

В работах [2,3] представлены результаты экспериментальных исследований радиальных профилей усиления активных сред на парах бромида меди, в том числе их изменения во времени. Однако, на сегодняшний день отсутствуют подробные исследования физических процессов в плазме активной среды, определяющих пространственно-временные характеристики усиления. Проведение таких исследований позволило бы выявить требования к активным средам на парах меди (бромида меди) с целью использования их в качестве усилителей яркости. Одним из методов решения данной задачи является проведение подробного кинетического моделирования плазмохимических процессов в активной среде. В данной работе представлены результаты разработки пространственно-временной кинетической модели усилителя яркости на парах меди и результаты моделирования.

Разработанная пространственно-временная модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих электрическую схему накачки и процессы в плазме активной среды. Уравнения

радиальной модели включают зависимости, как от времени, так и от радиуса газоразрядной трубки (ГРТ). Подробное описание модели представлено в работе [X].

На основе разработанной модели были получены пространственно-временные зависимости коэффициентов усиления активной среды на парах меди. Пример результатов моделирования для ГРТ с диаметром 2 см и длиной активной зоны 50 см, работающей при частоте следования импульсов накачки 10 кГц, приведен на рис. 1. Представленные зависимости свидетельствуют, что в начале импульса накачки формируется достаточно равномерный радиальный профиль усиления, который изменяется во времени (время на графике отсчитывается от начала импульса накачки). Модельными расчетами показано, что изменением параметров разряда можно существенно улучшить радиальный профиль усиления, а также увеличить коэффициент усиления и длительность инверсии.

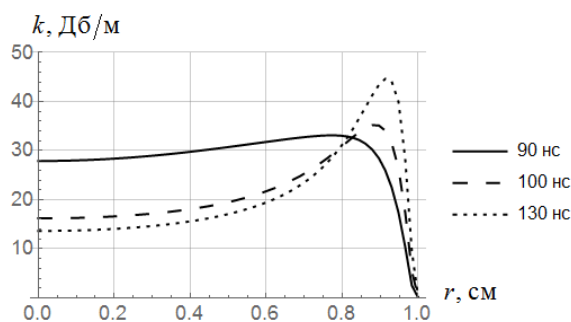


Рис. 1. Пространственно-временные диаграмма радиального профиля усиления активной среды на парах меди

Таким образом, разработанная пространственно-временная модель позволяет проводить оценку радиального профиля усиления активной среды, в том числе и его изменение во времени существования инверсии. При этом модель является достаточно подробной, что позволит выявить процессы, определяющие радиальный профиль усиления. В дальнейшем планируется проведение подробных теоретических исследований усилительных характеристик с целью выявления оптимальных режимов работы с точки зрения применения таких сред в активных оптических системах.

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

Список литературы:

- [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] Gubarev F.A., Trigub M.V., Troitsky V.O., Sukhanov V.B. // *Optics Communications*. 2011. Vol. 284. Issue 10-11. p. 2565-2568.
- [3] Gubarev F.A., Li L., Klenovsky M.S., Shiyarov D.V. // *Applied Physics B*. 2016. Vol. 122. №. 11. Article number 284. p. 1-7.
- [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.

## 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](mailto: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 энерговклада в разряд [X].

Данная работа посвящена разработке высокочастотного источника накачки усилителя яркости на парах бромида меди, обеспечивающего режим пониженного энерговклада 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 многозарядного 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.

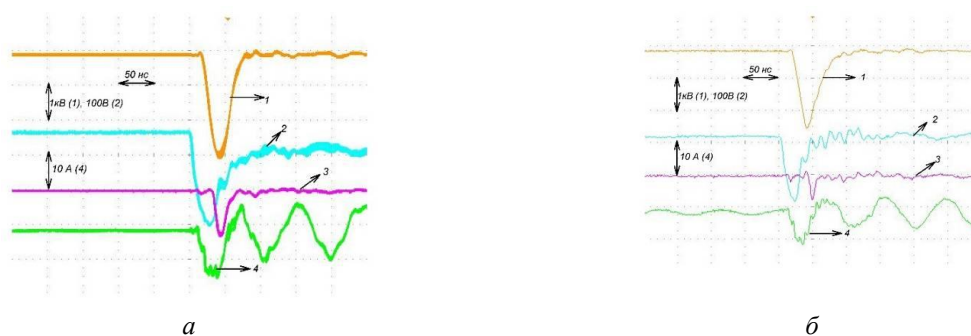


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на аноде модуляторной лампы (1), напряжения на транзисторе (2) импульса излучения усилителя яркости (3) и тока через ГРТ (4) при частотах следования импульсов накачки: а – 200 кГц; б – 420 кГц.

Экспериментальные осциллограммы показывают, что использование разработанного источника позволяет обеспечить работу усилителя яркости с высокой частотой следования импульсов излучения в режиме пониженного энерговклада 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.

## НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ПРОГНОЗНЫЙ КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Московская Юлия Марковна  
 Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"  
 ЭНПО "Специализированные электронные системы"  
 НПК "Технологический центр"



Задачи обеспечения, оценки и контроля радиационной стойкости (РС) электронной компонентной базы (ЭКБ) требуют моделирования и прогнозирования уровней РС на этапе разработки изделий, а также стабильной воспроизводимости и контроля характеристик РС в производстве с учетом реальных технологических вариаций и разбросов, вносимых различиями параметров исходных структур (пластин), технологических материалов и операций, а также погрешностей технологического контроля. Ранее принятый подход, основанный на том, что приемо-сдаточные радиационные испытания малой выборки изделий проводятся при завершении ОКР и их положительные результаты априори распространяются на всю выпускаемую продукцию в течение всего времени ее производства (без какого-либо ограничения сроков актуальности информации) оказывается неприемлемым, так как на практике не обеспечивает гарантий стабильности воспроизведения радиационной стойкости в процессе производства. Действующие стандарты на основе ГОСТ РВ 20 57.415 не ограничиваются радиационными испытаниями при разработке изделий и ставят задачу контроля производственных партий пластин по РС – подгруппа «Е» Общих технических условий (ОТУ) на Микросхемы интегральные. Вместе с тем методики и оборудование для проведения контроля партий пластин не регламентированы и главное, не установлено место такого контроля в общей системе гарантий РС продукции.

Более перспективный и эффективный подход к гарантированию РС основан на характеристике и квалификации процесса изготовления ЭКБ в части обеспечиваемых уровней РС с учетом реальных запасов и разбросов. Для радиационно-ориентированного технологического процесса наличие системы мониторинга и статистического контроля производства с учетом аспектов РС является обязательным. При этом подразумевается, что должны быть выявлены характерные доминирующие радиационные эффекты в изделиях, установлены наиболее критичные для обеспечения РС технологические операции и выбраны соответствующие контрольные точки техпроцесса. Объектами экспериментального, а в большинстве случаев – радиационного контроля в этих точках могут являться различные тестовые структуры (ТС), имитаторы изделий - типовые оценочные схемы (ТОС) и полуфабрикаты изделий. При этом отметим, что в большинстве случаев объекты контроля отличны от готовых изделий и для достоверной оценки РС должны быть установлены корреляционные показатели для ТС, ТОС и готовых изделий. Таким образом, контроль РС в производстве имеет прогнозный характер. Конкретные методы и методики контроля РС в процессе производства, а также способы распространения результатов радиационных испытаний перечисленных тестовых объектов на готовую продукцию должны быть регламентированы в нормативных документах.

В данной работе представлены основные положения подхода к организации прогнозного неразрушающего контроля РС ЭКБ в производстве на примере широкого и репрезентативного класса изделий – КМОП микросхем на объемных (монокремниевых и эпитаксиальных) и кремний-на-диэлектрике (КНД) структурах (к последним относятся КНС: кремний-на-сапфире и КНИ: кремний-на-изоляторе). В качестве базовых объектов для отработки и апробации системы выбраны микросхемы НПК «Технологический центр», АО «Ангстрем» и НПЦ НИИИС им.Ю.Е.Седакова.

Если для технологических процессов не удалось выбрать репрезентативный тестовый имитатор изделия, а по сути, не удалось установить корреляцию между параметрами контролируемых тестовых объектов и готовых изделий, то целесообразно применять неразрушающий диагностический контроль каждого образца (кристалла) изделия методом 100% радиационной отбраковки (РО). Характерным признаком такого технологического процесса является значимый разброс характеристик стойкости кристаллов на одной пластине и на разных пластинах в составе общей производственной партии.

РО по импульсным (мощности дозы) радиационным эффектам предполагает испытательное лазерное воздействие на кристалл микросхемы в рабочем режиме и последующий контроль работоспособности (отсутствия катастрофических отказов, тиристорного эффекта или функциональных сбоев). Корреляция между характеристиками лазерного воздействия и моделируемого реального радиационного фактора устанавливается по результатам сравнительных калибровочных испытаний.

РО по дозовым эффектам предполагает последовательное нормированное испытательное гамма или рентгеновское воздействие на каждый кристалл, определение степени радиационной деградации выбранного критического параметра изделия, прогнозный контроль соответствия уровня РС изделия заданным требованиям и восстановления (так называемого «отжига») электрических характеристик потенциально годных изделий с положительным результатом прогнозного контроля.

При проведении неразрушающего контроля с применением 100% РО кристаллов по дозовым эффектам необходимо выполнение следующих условий [1]:

1. Отсутствие остаточного влияния РО на эксплуатационные характеристики микросхем, в том числе - эффективное восстановление критериальных параметров БИС.
2. Высокая степень корреляции характера радиационного поведения БИС до и после проведения РО, то есть радиационное поведение и показатели стойкости БИС не должны существенно изменяться вследствие РО.

Корреляция между характеристиками рентгеновского воздействия и моделируемого реального радиационного фактора устанавливается по результатам сравнительных калибровочных испытаний.

Принято, что для объемных КМОП микросхем на кремниевых структурах основным способом РО является радиационно-термическая обработка (РТО), в ходе которой облучение кристаллов осуществляется, как правило, групповым методом на гамма-установке, а восстановление параметров микросхем после облучения достигается с помощью термического отжига [2]. Возможность облучения кристаллов в пассивном режиме определяется тем обстоятельством, что в современных КМОП ИС основной механизм дозовой деградации наиболее критичного параметра – тока потребления – в основном связан в эффектами в областях «толстого» окисла, а тонкий подзатворный окисел вносит сравнительно меньший вклад в формирование радиационных отказов. Несмотря на присущие данному подходу ограничения он в течение многих лет успешно применяется в АО «Ангстрем».

Методика неразрушающего контроля РС в процессе производства КМОП КНС БИС основана на рентгеновском облучении каждого кристалла, разбраковки облученных кристаллов по токам потребления и последующего восстановления их параметров с помощью так называемого «радиационно-стимулированного отжига» - дополнительного облучения в режиме с закороченными выводами. Такой подход в настоящее время успешно используется в ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова».

Представленную методику РО не удается столь же эффективно применить для разбраковки микросхем на КНИ-структурах, радиационно-стимулированный отжиг которых не позволяет восстановить характеристики изделий. В ходе поиска и сравнительного исследования специалистами АО «ЭНПО СПЭЛС» возможных механизмов отжига заряда: радиационного, фотоинжекционного, инжекционного и термического было показано, что ни один из указанных методов не обладает достаточной эффективностью восстановления характеристик ИС (на примере 1620PE5Y) после контрольного облучения.

Во многих (если не в большинстве) практических случаях разброс уровней стойкости по пластине и в целом в составе каждой производственной партии является приемлемым и удается подобрать репрезентативный тестовый объект контроля РС - ТОС, положительные результаты которого можно распространить на все изделия производственной партии. В этом случае использовать РО всех кристаллов нет необходимости и достаточно провести контроль партий пластин по РС в объеме подгруппы «Е» ОТУ. Такой подход на практике широко применяется для полузаказных КМОП БИС на БМК [3]. При этом специализированная ТОС размещена на каждой пластине производственной партии и задействует максимум используемых библиотечных элементов.[4,5]. В случае если обеспечивается достаточный запас фактически определенного уровня РС ТОС относительно нормативного уровня с учетом необходимых полноты и информативности контроля, то допустимо распространить результаты радиационных испытаний ТОС на соответствующую рабочую зашивку БИС. Если заданный (требуемый) уровень РС БИС на БМК соответствует без запаса нормативному уровню стойкости, указанному в ТУ, то в общем случае для обеспечения необходимого уровня гарантий следует проводить контрольные радиационные испытания каждой рабочей зашивки БМК. В случае получения стабильных результатов контроля последовательности производственных партий возможно перевести контроль партий пластин на периодическую основу.

В целом, предложенная система прогнозного контроля РС обеспечена методически и технически, прошла апробацию, показала свою эффективность по обеспечению стабильности заданного уровня РС продукции в процессе производства и может быть рекомендована к широкому внедрению.

#### Список литературы:

- [1] Г. Г. Давыдов, А. В. Согоян, А. Ю. Никифоров, А. В. Киргизова, А. Г. Петров, А. Ю. Седанов, И. Б. Яшанин. Методы и результаты контроля радиационной стойкости микросхемных изделий. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах. // Электроника, 2008, том 37, № 1, с. 67-77
- [2] Согоян А.В., Никифоров А.Ю., Улесов А.Т. Экспериментальная оценка нестабильности показателей стойкости готовых КМОП ИС вследствие их радиационно-термической обработки // Радиационная стойкость электронных систем "Стойкость-1999": тез. докл. СПЭЛС. 1999. С. 43-44.

- [3] Московская Ю.М. Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе. // *Наноиндустрия*. 2017, №1.
- [4] Рациональный состав типовой оценочной схемы для контроля радиационной стойкости партий пластин базовых матричных кристаллов / Московская Ю.М., Сорокоумов Г., Бобровский Д.В., Никифоров А.Ю., Денисов А.Н., Сницар В.Г., Жуков А.А., Уланова А.В. // *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2016. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского*. М.: ИППМ РАН, 2016. Часть IV. С. 153-157.
- [5] Состав и принцип формирования типовой оценочной схемы для оценки радиационной стойкости базовых матричных кристаллов и полупроводниковых БИС на их основе / Московская Ю.М., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Никифоров А.Ю., Уланова А.В., Бобровский Д.В. // *Наноиндустрия*. 2017, №1

## 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](mailto: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).

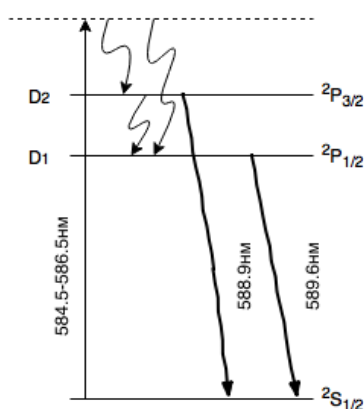


Рис. 1 Схема рабочих переходов натрия

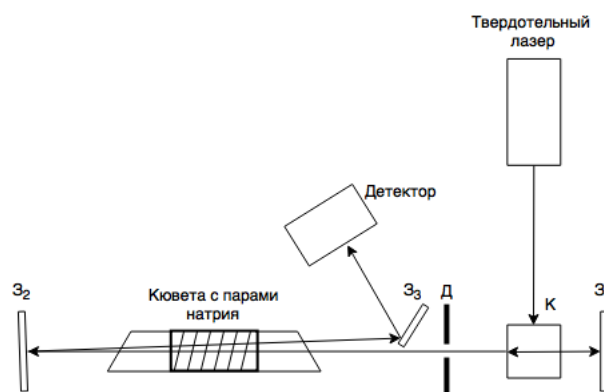


Рис. 2 Схема эксперимента

### 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.

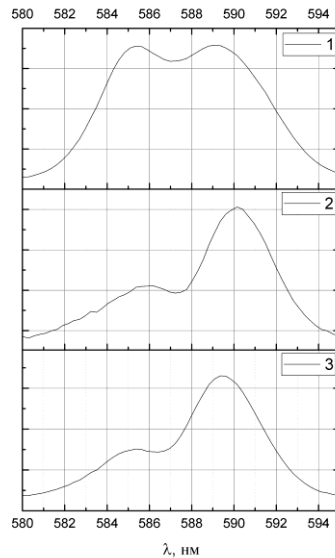


Рис. 3 – однопроходовое излучение, 2,3 – двухпроходовое излучение. Энергия импульса накачки 4.5 мДж.

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

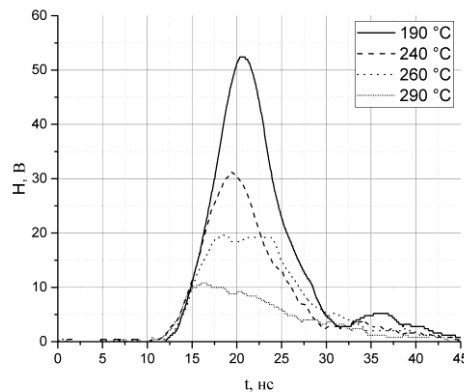


Рис. 4 Временные характеристики однопроходового излучения

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):

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

Результаты расчета контура линии D1 приведены на Рис. 5. Результирующее значение уширения линии излучения по полувысоте составляет  $\Delta\lambda=2.9\cdot 10^{-12}$  м.

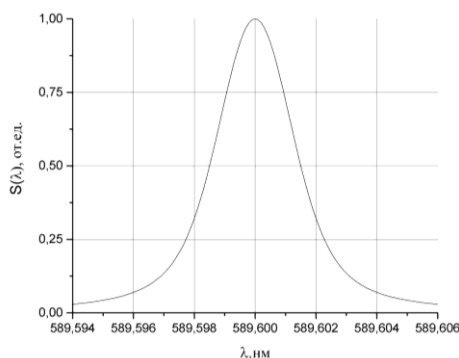


Рис.5 Контур линии D1 натрия

#### 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 однопроходового усиления среды и ширины спектра излучения (и поглощения) на D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> 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 Соковику В.Г. за помощь при подготовке экспериментов и обсуждение результатов.

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

Список литературы:

- [5] 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.
- [6] 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 М222 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 большем 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.*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАДАРА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С КОММУТИРУЕМОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ**

*Балзовский Евгений Владимирович, Буянов Юрий Иннокентьевич  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
[tduty5@mail.ru](mailto:tduty5@mail.ru)*

Использование радаров подповерхностного зондирования для исследования автодорог позволяет диагностировать скрытые дефекты и вовремя предотвращать повреждения дорожного полотна. Несмотря на существование готовых технических решений и приборов, невысокая скорость сканирования при движении и высокая цена на зарубежные изделия являются препятствиями для внедрения таких устройств. При создании отечественного сканера автодорог могут быть применены алгоритмы радиовидения объектов, скрытых за непрозрачными препятствиями [1, 2]. Облучение поверхностного слоя и нижележащих слоев дорожной одежды сверхширокополосными (СШП) импульсами наносекундной длительности обеспечивает высокое пространственное разрешение, а наличие энергии в низкочастотной части спектра – проникающую способность. Из-за увеличения потерь в среде с ростом частоты, для увеличения глубины зондирования используются СШП импульсы, спектр которых смещен в область низких частот и занимает полосу 0,5–2 ГГц. Для построения радиоизображения неоднородностей дорожного полотна синтезируется апертура перемещением приемо-передатчика радара вдоль дороги, а для увеличения ширины сканируемой полосы используется матрица антенн, последовательно подключаемых к генератору или приемному устройству [3].

Элемент антенной решетки георадара выполнен по технологии комбинированных антенн [4], представляет собой совокупность излучателей электрического и магнитного типов, имеет малые электрические размеры и слабо меняющиеся характеристики направленности и входной импеданс в полосе частот 0,5–4 ГГц [5, 6]. На пластине стеклотекстолита (1–4 на *рис. 1*) размером 110×110×1 мм, закрепленной в алюминиевом уголке 5 сечением 120×120 мм длиной 0,6 м, печатным способом выполнен излучатель электрического типа 6, а свободный от металла участок платы 7 является излучателем магнитного типа. Амплитудно-фазовые соотношения для возбуждения излучателей обоих типов определяются размерами участка 7 и целевой линии 8.

Моделирование антенного элемента и антенных решеток проведено в программном продукте CST Studio Suite с академической лицензией. Расчетный и измеренный коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) одиночного элемента не превышает величины КСВН = 2 в диапазоне частот 0,6–4,3 ГГц. В диапазоне до 2 ГГц результаты расчетов и измерений практически совпадают, на более высоких частотах расхождение зависимостей КСВН может быть связано с тем, что потери в материалах антенны при моделировании учтены недостаточно точно. КСВН антенн в составе решетки ухудшается в области низких частот. Нижняя граница полосы согласования по уровню КСВН = 2 поднимается до 0,78 ГГц.

Проведено моделирование приемной и передающей антенных решеток, расположенных над диэлектрическим слоем, геометрия задачи представлена на *рис. 2*. Антенный элемент 1 возбуждается биполярным импульсом напряжения длительностью 0,4 нс, элементы 2–4 регистрируют отраженные импульсы при наличии пластины 5 толщиной 150 мм с дисперсионными свойствами, соответствующими сухому бетону: диэлектрическая проницаемость равна 5,5–6 на частотах до 4 ГГц, тангенс угла диэлектрических потерь имеет величину до 0,25 на частоте 1 ГГц. Выявлено, что направленные свойства



антенн слабо зависят от расстояния до диэлектрического слоя при высоте расположения антенн 100–300 мм над слоем. При указанных расстояниях КСВН антенн увеличивается до величины не более чем 2,5 в диапазонах частот 1,5–1,8 ГГц и 2,6–2,9 ГГц. В градациях серого цвета на рис. 2 показана картина распределения модуля электрического поля на частоте 2 ГГц. Расчеты показали, что на частотах 1–2,5 ГГц вдоль верхней границы раздела воздух-диэлектрик возбуждается поверхностная волна, которая приводит к паразитному излучению в верхнее полупространство под углом 30–50 градусов к поверхности диэлектрической пластины с интенсивностью до 0,5 от максимальной интенсивности волны, излучаемой в нижнее полупространство.

Расчет взаимного влияния элементов решетки проведен при наличии диэлектрического слоя. Частотная зависимость модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  от антенного элемента 1 (рис. 2) к элементу 2 и  $|S_{31}|$  к элементу 3 приведена на рис. 3. Наибольшее влияние друг на друга оказывают соседние элементы, например 1 и 2, а также 1 и 4. При наличии диэлектрического слоя  $|S_{21}|$  имеет выраженный максимум в диапазоне частот 1,5–1,8 ГГц, точное положение максимума зависит от расстояния между антенной решеткой и слоем. Если в численной модели задать свойства диэлектрического слоя, соответствующие воздуху (аналогично отсутствию диэлектрика), то уровень взаимодействия между элементами 1 и 2 в этом диапазоне уменьшается на 6–8 дБ. Влияние поля излучения элемента 1 на элемент 3 и более дальние значительно меньше. Можно предположить, что применение объемного поглощающего материала позволит уменьшить взаимное влияние элементов антенных решеток.

Разработана и исследована сверхширокополосная антенная решетка, предназначенная для использования в радаре подповерхностного зондирования. Антенные элементы согласованы с 50-омным фидерным трактом в полосе 0,8–4 ГГц, имеют выраженные направленные свойства. Несмотря на близкое расположение элементов в решетке, уровень взаимного влияния элементов не является критическим. Разработанная антенная решетка может быть использована как при возбуждении короткими СШП импульсами, так и при частотном сканировании в диапазоне 0,8–3 ГГц.

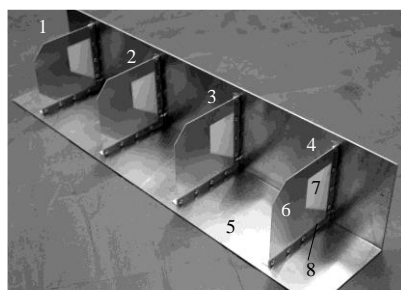


Рис. 1. Антенная решетка

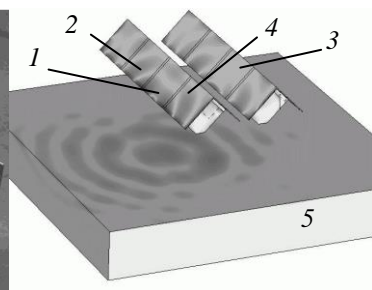


Рис. 2 Зондирование слоя

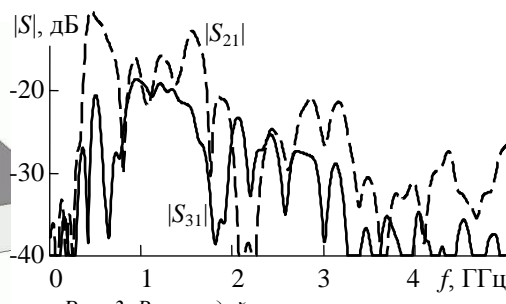


Рис. 3. Взаимодействие антенных элементов

#### Список литературы:

- [1] Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. Томск: НТЛ, 2014. 262 с.
- [2] Shipilov S.E., Satarov R.N., Fedyanin I.S., Balzovsky E.V., Yakubov V.P. // MATEC Web of Conferences, 2016. Vol. 79. Article No. 01079. P. 1.
- [3] Satarov R.N., Kuzmenko I.Y., Muksunov T.R., et. al. // Rus. Phys. J. 2013. V. 55. No. 8. P. 884.
- [4] Беличенко В.П., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. Сверхширокополосные импульсные радиосистемы. Новосибирск: Наука, 2015. 483 с.
- [5] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Люлякин А.П. Планарная СШП антенна для связи и радиолокации //24-я Международная Крымская конференция СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Севастополь, 2014. Том I. С. 547.
- [6] Balzovsky E.V., Buyanov Y.I. // MATEC Web of Conferences, 2016. Vol. 79. Article No. 01036. P. 1.

## 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.

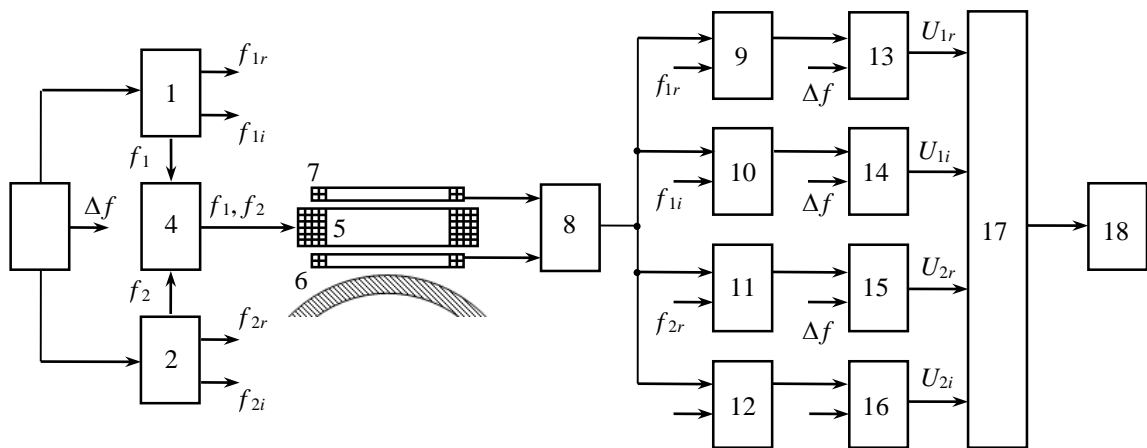


Рис. 1. – Структурная схема двухчастотного вихретокового толщиномера

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.

## АНТЕННАЯ РЕШЕТКА 2X2 С РАСШИРЕННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ СО СПЕКТРОМ В ДИАПАЗОНЕ 0.01-2 ГГц В ЗАДАЧАХ БЕСКОНТАКТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И СРЕД

*Балзовский Евгений Владимирович, Буянов Юрий Иннокентьевич, Кошелев Владимир Ильич, Некрасов Эдуард Сергеевич*

*Институт сильноточной электроники СО РАН*

*Кошелев Владимир Ильич, д.ф.-м.н.*

*koshelev@lhfe.hcei.tsc.ru*

Локационные системы малого радиуса действия, основанные на зондировании короткими сверхширокополосными (СШП) импульсами или СШП радиосигналами, применяются в геолокации, в задачах поиска объектов за диэлектрическими преградами (стенами, завалами) или скрытых в толще диэлектрической среды – пустоты, трещины в автодорогах и инженерных сооружениях или спрятанные в земле предметы [1, 2]. Потери в зондируемой среде увеличиваются с ростом частоты, поэтому для увеличения глубины зондирования необходимо использовать сигналы, спектр которых смещен в область низких частот и занимает полосу 0,01–2 ГГц. Для работы вблизи границы с диэлектрической средой разрабатываются специализированные СШП антенны [3], обеспечивающие эффективное возбуждение электромагнитного импульса в среде [4]. Требования к СШП приемной антенне иные: она должна регистрировать с минимальными искажениями временную форму отраженного от объектов. При объединении в антенную решетку антенные элементы должны быть электрически малыми, иметь постоянный фазовый центр, должно сохраняться положение максимума диаграммы направленности в диапазоне частот, занимаемых спектром регистрируемых импульсов. Наиболее полно этим требованиям соответствуют активные дипольные антенны. Для уменьшения частотной зависимости импеданса диполя используется рассогласованный режим, в этом случае нагрузкой диполя является активный четырехполюсник с емкостным характером импеданса [5, 6]. Такие антенны позволяют регистрировать короткие СШП импульсы наносекундной длительности с малыми искажениями [7] и могут быть объединены в синфазную или сканирующую решетку. В сканирующей приемной антенной решетке сложение сигналов от каждого антенного элемента может быть реализовано с использованием программируемых линий задержки [8]. В данной работе для отработки конструкции и измерения характеристик антенной решетки из 2x2 использовано синфазное сложение сигналов. Ниже представлена конструкция макета четырехканальной антенной решетки и результаты измерения СШП импульсов.

Внешний вид приемной антенной решетки приведен на рис. 1а. Фидерные линии прикрыты объемным поглощающим материалом для уменьшения влияния отражения от расположенной снизу печатной платы СШП сумматора. Расстояние между центрами диполей равно 68 мм. Активный диполь выполнен печатным способом на стеклотекстолите размером 60×27×1 мм, состоит из секционированных плеч (1 на рис. 1б), в разрыве которых установлены резисторы 200 Ом для уменьшения частотной зависимости импеданса диполя, к которым присоединен активный четырехполосник (3) с симметричным входом и несимметричным выходом. Электрическая схема четырехполосника приведена в работе [3], он содержит два полевых транзистора ATF38143 Avago с цепями смещения и частотной коррекции. В качестве симметризатора использован широкополосный ферритовый трансформатор Masom ETC1-1-13 (4 на рис. 2). Каждый диполь оснащен разъемом типа SMA. Отдельным проводом подается питание 3 В, потребляемый ток 25 мА.

Измерения характеристик приемных антенн проведены во временной области с использованием набора генераторов коротких СШП импульсов и комбинированных антенн [9], оптимизированных для эффективного излучения импульсов с различными спектрами. ТЕМ-антенна с размерами 120×50 см и высотой раскрыва 8 см являлась эталонной при измерении формы импульсов: напряжение на выходе ТЕМ-антенны пропорционально напряженности падающего поля, а действующая длина в широком диапазоне не зависит от частоты, и равна половине высоты раскрыва. Спектр импульсов, излученных комбинированными антеннами занимает полосу частот 10 МГц–4,3 ГГц (по уровню 0,1 от максимума). На рис. 2 представлены временные формы импульсов напряжения на выходе приемной антенной решетки (кривые 1). Кривые 2 соответствуют импульсам на выходе приемной ТЕМ-антенны. Для количественной оценки искажения временной формы импульсов, вычислялось среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  формы импульса напряжения  $U(t)$  на выходе антенной решетки и напряжения  $V(t)$  на выходе эталонной антенны. При возбуждении комбинированных антенн биполярными импульсами длительностью 1 нс, 2 нс и 3,5 нс (рис. 2а-в, соответственно)  $\sigma$  не превышает величины 16%. При возбуждении комбинированной антенны биполярными импульсами длительностью 0,5 нс  $\sigma$  не превышает величины 20% (рис. 2г). Действующая длина антенной решетки равна 0,3 см.

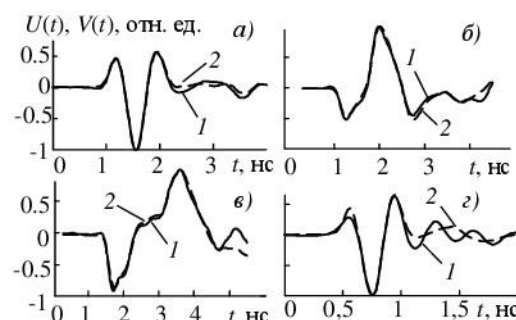
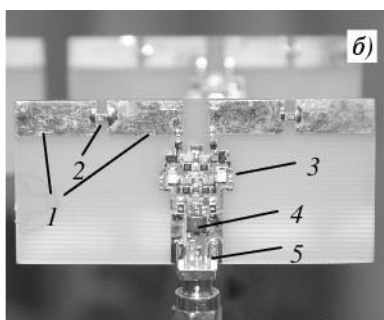
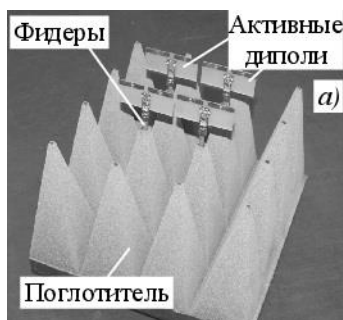


Рис. 1. Внешний вид антенной решетки (а) и активного диполя (б)

Рис. 2. Зарегистрированные импульсы

В результате проведенных исследований разработана и исследована активная дипольная приемная антенная решетка 2×2, предназначенная для регистрации СШП импульсов со спектром в диапазоне частот 0,01–2 ГГц. Проведено тестирование антенной решетки с помощью воздействия короткими СШП импульсами длительностью 1–3,5 нс. Временная форма импульсов напряжения на выходе разработанной антенной решетки и на выходе эталонной ТЕМ-антенны различаются не более, чем на 16% по среднеквадратическому критерию. При воздействии субнаносекундными импульсами, у которых верхняя частота в спектре превышает 4 ГГц, искажение формы импульсов не превышает 20% по сравнению с ТЕМ-антенной. Дальнейшая работа будет направлена на разработку антенной решетки с большим количеством элементов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №16-19-10081.

#### Список литературы:

- [1] Daniels D. J. *Ground-penetrating radar – 2nd ed. The Institution of electrical engineers, London, UK. 2004. 734 p.*
- [2] Sachs J. *Handbook of ultra-wideband short-range sensing. Wiley, Weinheim, Germany. 2012. 824 p.*
- [3] *Ultra-wideband RF system engineerin / edited by Thomas Zwick. Cambridge University Press, UK. 2013. 186 p.*
- [4] Сахацкий В.Д. // *Вестник ХНАДУ. 2015. Вып. 71. С. 125.*
- [5] Буянов Ю.И., Смирнов В.П. *Активные антенны. Томск: изд-во Томского пед. инст. 1976. 90 с.*
- [6] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И. // *Изв. вузов. Физика. 2007. Т. 50. №5. С. 82.*
- [7] Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Некрасов Э.С. // *26-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телеком. технологии» (КрыМиКо '2016).: материалы конф. Севастополь, 2016. Т. 5. С. 912.*
- [8] Balzovsky E.V., Buyanov Y.I., Koshelev V.I., and Nekrasov E.S. // *Review of Scientific Instruments, 2016, vol. 87, no. 3, 034703.*

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ ПРИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОМ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Бобров Алексей Леонидович

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

E-mail: [beaver@stu.ru](mailto:beaver@stu.ru)

Акустико-эмиссионный (АЭ) контроль металлических изделий и конструкций зарекомендовал себя как надежный метод выявления развивающихся дефектов, что позволяет вовремя предотвратить последующие разрушения объектов. Однако, продолжающиеся деградировать дефектные участки в процессе нагружения и АЭ контроля чаще всего не идентифицируются как дефекты конкретного типа (усталостные трещины, пластически деформируемые участки, участки поврежденные коррозией и т.п.).

Распознавание типа дефекта имеет важнейшее значение при контроле, так как критерии оценки состояния объектов всегда исходят из определенных причин и формы выявленных отклонений. Однако, если доступ к участку с дефектом ограничен или даже невозможен, определить тип дефекта другим методом неразрушающего контроля затруднителен. Для таких случаев необходимо распознавать процесс разрушения по параметрам сигналов АЭ. Проблема использования потоковых параметров АЭ (суммарный счет, суммарная энергия, средняя энергия и т. п.) в том, что для разных источников они имеют разные закономерности [1, 2]. Кроме того такие процессы как развитие усталостных трещин или пластические деформации на разных этапах развития формируются различными микропроцессами [3].

Поэтому выделение из потока АЭ информации критериев, которые позволят определять были проведены теоретические исследования и эксперименты по растяжению образцов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с концентраторами [4, 5], которые показали, что используя корреляционный анализ можно существенно продвинуться в вопросе идентификации различных источников АЭ сигналов. Так небольшие изменения координат и направленности источников, присущие трещинам и упругой деформации в локальной области концентратора фактически не влияют на вид волнового пакета регистрируемых сигналов АЭ или искажают его слабо. По результатам исследований в качестве критериев распознавания источников АЭ использовали:

- средний коэффициент взаимной корреляции сигналов, приходящих на один преобразователь в разные моменты времени испытаний  $k_{ij}$ ;
- коэффициент взаимной корреляции максимума амплитуды сигналов, приходящих на разные приемники каждого акта АЭ  $k_U$ ;
- долю сигналов АЭ, несущих большую энергию в потоке всех сигналов от источника  $k_{sc}$ .

Характерные особенности поведения этих параметров для разных типов источников АЭ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии распознавания источника

Тип источника	Характерные значения параметров источника		
	$k_{ij}$	$k_U$	$k_{sc}$
Упругая деформация (локальный источник)	>0,5	<0,5	<0,2
Упругая деформация (распределенный источник)	<0,5	<0,5	<0,2
Пластическая деформация	<0,5	0,5-0,9	0,2-0,8
Усталостная трещина (зарождение)	>0,5	>0,5	<0,2
Усталостная трещина (стабильный рост)	0,2-0,8	>0,9	0,2-0,8
Усталостная трещина (ускоренный рост)	0,2-0,9	>0,9	0,8-1
Деградация дефектной структуры	<0,4	<0,3	0,2-0,8

Таким образом, появляется возможность идентификации разных развивающихся источников АЭ в зависимости от определяемых значений введенных коэффициентов  $k_{ij}$ ,  $k_U$  и  $k_{sc}$ . На основе приведенных в таблице значений коэффициентов  $k_{ij}$ ,  $k_U$  и  $k_{sc}$  можно построить алгоритм идентификации каждого из

приведенных типов источников. После идентификации типа источника по энергетическим параметрам каждого определенного источника можно судить о степени его развитости.

Список литературы:

- [1] Панин, С. В., А. В. Бяков, В. В. Гренке и др. // *Физическая мезомеханика*. – 2009. – Т. 12. – № 6. – С. 63–72.
- [2] Корчевский, В. В. // *Контроль. Диагностика*. – 2006. – № 5. – С. 42–48.
- [3] Иванова В.С, Терентьев В.Ф. *Природа усталости металлов*. – М.: *Металлургия*, 1975. — 456 с.
- [4] Бобров А.Л. // *Дефектоскопия*. – 2009. – № 5. – С. 18–24.
- [5] Серьезнов, А. Н. и др. // *Контроль. Диагностика*. – 1999. – № 2. – С. 5–8.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ПРОГНОЗНОГО КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

*Московская Юлия Марковна, Артамонов Алексей Сергеевич, Егоров Андрей Николаевич, Давыдов Георгий  
Георгиевич, Бойченко Дмитрий Владимирович, Бобровский Дмитрий Владимирович, Никифоров Александр  
Юрьевич*

*Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"*

*ЭНПО "Специализированные электронные системы"*

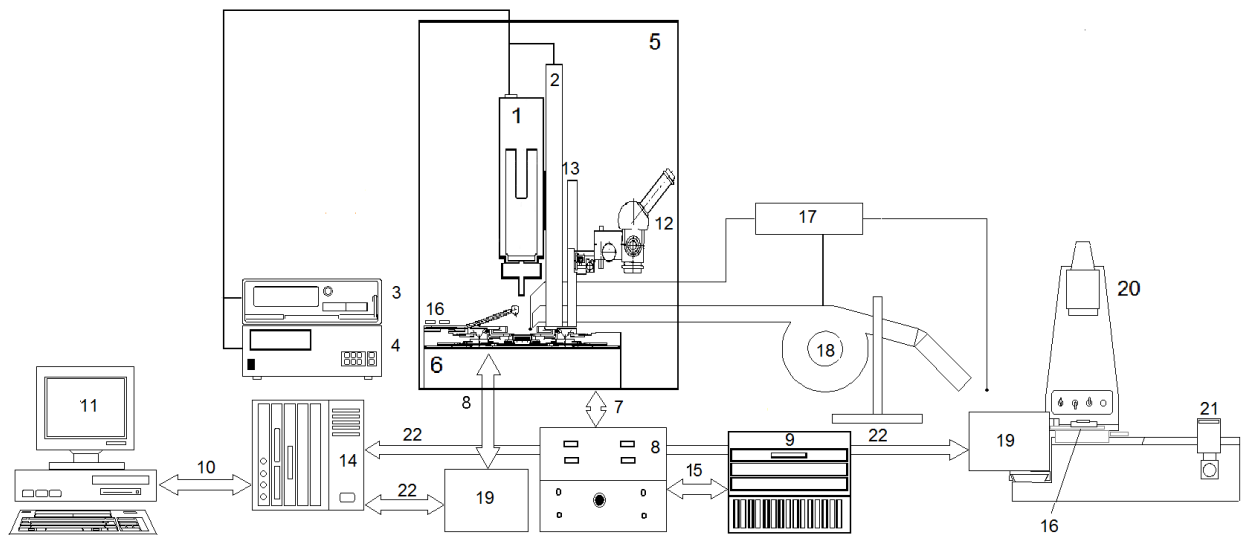
*Научный руководитель: Бойченко Д.В.*

*E-mail [ymmos@spels.ru](mailto:ymmos@spels.ru)*

В процессе производства электронной компонентной базы (ЭКБ) для космических и ядерных комплексов необходимо гарантировать стабильность воспроизведения уровней радиационной стойкости (РС) изделий [1,2]. Особенностью технологического контроля РС ЭКБ является его неразрушающий и прогнозный характер, так как контрольные операции осуществляются на тех этапах, когда готовое изделие еще отсутствует, т.е. объектами контроля являются тестовые структуры, имитаторы и полуфабрикаты изделий, результаты испытаний которых переносятся (распространяются) на готовую продукцию. Более того, положительные результаты радиационного контроля, полученные в лабораторных условиях производства, распространяются на существенно отличные от них по амплитудно-временным и спектрально-энергетическим характеристикам радиационных воздействий условия в процессе эксплуатации ЭКБ.

Большинство радиационных испытаний ЭКБ проводится на радиационных установках – ускорителях в режиме генерации тормозного излучения, изотопных гамма-источниках, ядерных реакторах, ускорителях протонов и тяжелых заряженных частиц. Организация полного комплекса радиационно-испытательного оборудования в условиях производства ЭКБ совершенно нереальна как по соображениям радиационной безопасности и трудностей проведения измерений бескорпусных изделий на пластинах, так и вследствие полной технико-экономической неэффективности таких решений. Поэтому в качестве источников испытательных воздействий целесообразно использовать рентгеновский и лазерный имитаторы.

В работе предложен автоматизированный аппаратно-программный комплекс для прогнозного контроля радиационной стойкости как для задач мониторинга радиационно-ориентированного технологического процесса (типовой объект неразрушающего радиационного контроля – тестовые структуры параметрических мониторов), так и для задачи контроля производственных партий пластин по РС в объеме подгруппы «Е» ОТУ (типовой объект испытаний – или типовые оценочные схемы – имитаторы или полуфабрикаты готовых изделий). Комплекс обеспечивает возможность проведения 100%-ной разбраковки кристаллов по РС в процессе производства [1]. Типовая структура автоматизированного комплекса для прогнозного контроля РС ЭКБ в производстве представлена на *рис. 1*.



*Рис.1. Структура автоматизированного комплекса для контроля радиационной стойкости ЭКБ:*

*1- рентгеновский источник; 2 - устройство перемещения 3 - блок управления устройством перемещения; 4 - блок управления рентгеновским источником; 5 - защитный бокс; 6 - координатная система зонда с контактным фиксированным устройством (16) и столиком для установки пластины; 7 - канал связи между блоком управления зондовым устройством и зондами; 8 - блок управления зондовым устройством; 9 - зондовый автомат без координатной системы; 10 - канал связи между контрольно-измерительным комплексом и компьютером; 11 - компьютер; 12 - оптический микроскоп, смонтированный в защитном боксе, 13 - система перемещения оптического микроскопа; 14 - контрольно-измерительный комплекс; 15 - канал связи между блоками 8 и 9; 16 - контактирующие устройства для подключения выводов микросхем; 17 – блок контроля температуры; 18 – блок задания температуры; 19 – блок согласований и коммутаций; 20 – источник лазерного излучения (может быть выполнен с гибким световодом); 21 – блок контроля параметров лазерного излучения; 22 – канал связи между средствами контроля и блоком согласования и коммутаций.*

В состав контрольно-испытательного комплекса входят рентгеновский и лазерный источники. Источник рентгеновского излучения серии РАП (РАП-50 или РАП-100 с максимальным напряжением на рентгеновской трубке 50 и 100 кВ соответственно), установлен в защитном боксе на устройстве перемещения. Конструкция защитного бокса обеспечивает выполнение санитарных норм при эксплуатации источника рентгеновского излучения и обеспечивает полную защиту обслуживающего персонала (оператора) как от прямого, так и от рассеянного рентгеновского излучения. Специальная блокировка исключает возможность генерации излучения при открытой дверце защитного бокса. Устройство перемещения предназначено для изменения положения моноблока источника рентгеновского излучения по вертикали внутри бокса. Для контроля стабильности излучения используется компаратор рентгеновского излучения на основе полупроводникового детектора.

Неодимовый лазер с модулированной добротностью, генерирующий наносекундные (7...9 нс) импульсы на длине волны 1064 нм или ее второй гармонике 532 нм, оснащен аттенуатором и расширителем лазерного пучка, обеспечивающими необходимые энергетические и пространственные характеристики облучения. Для контроля параметров лазерного импульса комплекс включает набор фотоэлектрических детекторов на основе низкоскоростного и высокоскоростного фотодиодов (энергия, длительность импульса), а также фотодиодной матрицы (распределение лазерного излучения по пятну). Транспортировка лазерного излучения до тестируемого объекта может осуществляться с помощью системы зеркал либо гибкого оптического волновода. Комплекс обеспечивает точную синхронизацию лазерного импульса с контрольно-измерительной аппаратурой, что позволяет производить испытания изделий ЭКБ на РС в различные моменты временной диаграммы. Дозиметрическое обеспечение осуществляется устройствами контроля рентгеновского и лазерного излучений, а также на основе калибровки на моделирующих установках (изотопных гамма-источниках и установках тормозного гамма-излучения) [2,3] .

Наличие в составе комплекса зондового устройства (при необходимости) позволяет проводить контроль не только изделий в корпусном исполнении, но и на кристаллах в составе пластины. Оборудование позволяет проводить радиационное тестирование в диапазоне температур среды -60...+125°C.



Контрольно-измерительная аппаратура реализована на основе модульной системы National Instruments с программным управлением, разработанным в среде LabVIEW. [3,4,5]. Состав модулей выбирается исходя из системы параметров-критериев контролируемых ЭКБ. Типовой набор модулей, используемых при контроле цифровых микросхем, состоит из: одного или нескольких цифровых модулей ввода/вывода с настраиваемыми напряжениями логических уровней (PXI-7952R+NI-6581), обеспечивающих необходимое число линий ввода/вывода, источник питания, совмещенный с измерителем тока (PXI-4114), высокоточный мультиметр-измеритель тока (PXI-4071), осциллограф (PXI-5114). Разнообразие аналоговых схем не позволяет выделить типовой набор модулей.

Автоматизированный комплекс обеспечивает достоверный и информативный контроль РС ЭКБ по эффектам накопленной дозы и мощности дозы ионизирующего излучения, одновременно обеспечивая возможности проведения широкого спектра радиационных исследований как по диагностике отказов, так и по отработке методик испытаний, выбору критических режимов и условий работы.

Список литературы:

- [1] *Методы и результаты контроля радиационной стойкости микросэлектронных изделий. Методика оперативного неразрушающего контроля дозовой стойкости КМОП БИС на КНС-структурах / Давыдов Г. Г., Согоян А. В., Никифоров А. Ю., Киргизова А. В., Петров А. Г., Седаков А. Ю., Яшанин И. Б. // Электроника, 2008, том 37, № 1, с. 67-77*
- [2] *Ю.М. Московская Общий методический подход к оценке радиационной стойкости БМК и полупроводниковых БИС на их основе.// Наноиндустрия. 2017, №1.*
- [3] *The radiation test based assessment of process quality and reliability for conventional 65-nm CMOS technology, Kessarinskiy L. N., Davydov G.G., Boychenko D.V., Artamonov A. S., Nikiforov A. Y. and Yashanin I.B. // Microelectronics Reliability, vol. 64,1 pp. 130-133, 2016.*
- [4] *Automatic test complex for parametric control of power NMOS and PMOS transistors / Aristova N. E., Borisov A. Y., Tararaksin A. I., Kessarinskiy L. N., and Yanenko A. V. /n Proc.2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 Omsk; Russian Federation; May 21 -23, 2015, article number 7146984.*
- [5] *Реализация базовых методов радиационных испытаний ЭКБ на основе аппаратно-программного комплекса аппаратуры National Instruments Бобровский Д.В., Давыдов Г.Г., Петров А.Г., Яненко А.В., Ахметов А.О., Борудина А.Б., Калашников О.А., Кессаринский Л.Н., Некрасов П.В., Никифоров А.Ю., Уланова А.В. // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2012. № 5 (97). С. 91-104.*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ**

*Галахов Антон Николаевич, Александр Германович Митин, Денис Андреевич Кондрашов, Андрей Владимирович Леер, Валерий Григорьевич Ефимов, Анна Николаевна Охотникова  
АО Федеральный научно-производственный центр «Алтай»  
Ефимов Валерий Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор  
E-mail [galakhov-87@mail.ru](mailto:galakhov-87@mail.ru)*

Основной характеристикой процесса горения высокоэнергетических композиционных материалов (ВКМ) является скорость. Для точной оценки значений скорости горения способы измерения не должны оказывать влияния на процесс горения. Ультразвуковой метод наиболее полно отвечает требованиям обеспечения высокой точности, дистанционности, безопасности, дешевизны, автоматизации обработки результатов испытаний и является объектом повышенного внимания в зарубежных исследованиях [1-2]. Комплекс технических средств, реализующий такой метод разработан и апробирован в АО «ФНПЦ «Алтай». Погрешность определения скорости составила порядка 7 %. Дальнейшее развитие ориентировано на совершенствование алгоритмов выделения зашумленного эхо - импульса, отраженного от горячей поверхности материала и доработку измерительного оборудования в части повышения частоты регистрации.

В работе приведены результаты экспериментальной отработки методов и средств определения скорости горения ВКМ с начальной толщиной свода 120 мм. Анализ полученных результатов осуществлялся при помощи реализованной обработки, особенностью которой является использование вейвлет-анализа, адаптированного к задачам ультразвуковой эхо-локации. Применение вейвлет-анализа позволило выявить гармонические компоненты в изменении скорости горения на указанных участках работы и установить масштаб разложения сигнала, при котором его энергия имеет максимальное значение.

Список литературы:

[1] Хасегава К., Хори К. Новый метод измерения скорости горения твердого топлива с помощью ультразвука // Физика горения и взрыва. — 2010. — № 2. — С. 79-87.

[2] Kurabayashi H., Sato A., Yamashita K., Nakayama H., Hori K., Honda M., Hasegawa K. Ultrasonic Measurements of Burning Rates in Full-Size Rocket Motors // Progress in Propulsion Physics. — 2011. — № 2. — Pp. 135-148.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В АО «ФНПЦ «АЛТАЙ»**

*Скоков Алексей Александрович, Карих Владимир Петрович, Вьюшков Алексей Владимирович, Охотников Александр Александрович, Привалов Георгий Алексеевич*  
*Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»*  
*Карих Владимир Петрович, д.т.н., доцент*  
[kar@frpc.secna.ru](mailto:kar@frpc.secna.ru)

В АО «ФНПЦ «Алтай» разработана цифровая радиометрическая аппаратура для неразрушающего контроля изделий различных габаритов с диапазоном регистрируемого потока гамма-излучения от  $10^3$  до  $10^9$  квантов в секунду. Она позволяет контролировать в многоканальном режиме изделия с просвечиваемой толщиной от 10 до 250 мм по стали. В четырех-канальном исполнении 7 комплектов аппаратуры внедрены на ряде предприятий отрасли (АО «ФНПЦ «Алтай», ФКП «Комбинат «Каменский», АО «НИИПМ», ФКП «ППЗ») и шестнадцати-канальная радиометрическая система в составе комплекса MAG NDT эксплуатируется в лаборатории высокоэнергетических материалов NEMRL министерства обороны Индии. В качестве источника излучения используется радионуклид Co-60 активностью 50 – 400 Ки.

В комплекте с автоматизированной программно-управляемой платформой-сканером, разработанной также в АО «ФНПЦ «Алтай», аппаратура позволяет контролировать изделия различных габаритов (диаметром от 400 до 2200 мм и длиной от 700 до 8000 мм) в автоматическом многоканальном разноракурсном режиме.

Аппаратура используется в «ФНПЦ «Алтай» на протяжении многих лет, работает без сбоев, не требует предварительных настроек и обеспечивает чувствительность к дефектам близкую к теоретически максимальной. Радиометрическая аппаратура защищена патентом на изобретение [1].

В АО «ФНПЦ «Алтай» разработан бетатронный томограф для контроля изделий диаметром до 1000 мм. Источником излучения является бетатрон МИБ-10 с энергией тормозного излучения до 10 МэВ.

В известных зарубежных томографах изделие закрепляется вертикально на поворотном столе, источник и линейка детекторов устанавливаются на определенной высоте. При разработке отечественного томографа предпочтение было отдано горизонтальному сканеру: изделие располагается на вращающихся валках, а детекторная линейка регистрирует излучение, пересекающее верхнюю половину сечения. Новое сканирование повлекло разработку соответствующего алгоритма реконструкции. В настоящее время изготовлены и эксплуатируются два томографа на ФКП «Комбинат «Каменский» и в АО «ФНПЦ «Алтай».

Для проверки чувствительности томографа был разработан и изготовлен тестовый образец, в котором содержались дефекты в виде раковин определенных размеров и трещиноподобные дефекты. На основе томограммы образца, помещенного в канал изделия диаметром 0,8 м, получены следующие данные: томограф позволяет выявлять раковины объемом  $0,02 \text{ см}^3$ , что на два порядка превышает результаты радиометрического метода. Кроме того, отчетливо выявляются трещиноподобные дефекты с раскрытием 0,03 см. Испытания томографа проводились также на изделиях с реальными дефектами в наполнителе. На томограммах отображались дефекты сложной конфигурации. Ранее наблюдать столь подробную информацию не представлялось возможным. Томограф защищен патентом на изобретение [2]. В АО «ФНПЦ «Алтай» ведутся разработки других перспективных томографических средств контроля изделий, в частности 3D томографа высокого разрешения и томографа (также высокого разрешения) для контроля корпусов и прикорпусных зон изделий из высокоэнергетических материалов.

### Список литературы:

[1] Способ аналого-цифровой обработки сигнала радиометрического датчика: пат. 2386209 Рос. Федерация: МПК Н03М 1/04 / В.П. Карих, А.В. Вьюшков, Г.А. Привалов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный научно-производственный центр «Алтай». – № 2009100582/09; заявл. 11.01.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. №10. – 15 с.: ил.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛА

Попков Артём Антонович, Бехер Сергей Алексеевич  
Сибирский государственный университет путей сообщения  
[zabagy@gmail.com](mailto:zabagy@gmail.com)

Метод акустической эмиссии основан на регистрации упругих волн, возбуждаемых при развитии дефектов, и способен избирательно обнаруживать наиболее опасные для элементов конструкции дефекты – усталостные трещины. В процессе эксплуатации уменьшение вязкости материала значительно увеличивает скорость развития трещин [1]. Существенным недостатком, ограничивающим область применения акустико-эмиссионного метода неразрушающего контроля, является его низкая помехозащищенность. Поэтому необходимы методы кластеризации, основанные на анализе совокупности формы и параметров сигналов. Кластерный анализ и основанная на нем фильтрация потока сигналов позволяет выделить наиболее информативные из них [2]. Целью исследования является оценка устойчивости к внешним воздействиям параметров акустико-эмиссионных сигналов, возникающих при хрупком разрушении материала.

Экспериментальные исследования проводились на стеклянных листах толщиной 3 мм размерами 150x200 мм. Выбор стекла в качестве исследуемого объекта обусловлен распространенностью использования среди конструкционных материалов, а так же ярко выраженным хрупким характером разрушения. Ударным воздействием создавалась трещина размерами от 2 до 10 мм. Лист фиксировался зажимами на металлической подложке. Преобразователи акустической эмиссии устанавливались на расстояниях 30 мм от краев листа в вершинах треугольника. В процессе механического нагружения возникала изгибная деформация, контролируемая тензометрической системой «Динамика-1» с подключенным тензодатчиком типа ПКС-12-200. Изменения размеров трещины фиксировались камерой Panasonic разрешением 1920 на 1080 точек с частотой съемки 50 кадров в секунду. Сигналы акустической эмиссии регистрировались акустико-эмиссионной системой СЦАД 16.03 с дискретностью отсчета АЦП 0,5 мкс и уровнем шумов на входе предварительного усилителя не более 10 мкВ.

На этапе постобработки вычислялись амплитудные параметры акустико-эмиссионных сигналов: амплитуда  $U_m$ , размах  $R_{AE}$ , среднее квадратическое отклонение (СКО)  $U_{СК}$  и энергетический параметр  $MARSE$ . Методом корреляционного анализа исследовались зависимости параметров двух сигналов, зарегистрированных разными парами преобразователей (рис. 1). Характер зависимостей оценивался с помощью коэффициента корреляции, для которого при минимальном влиянии внешних воздействий выполняется условие  $(r - 1) \ll 1$ , а зависимость параметров близка к линейной [3].

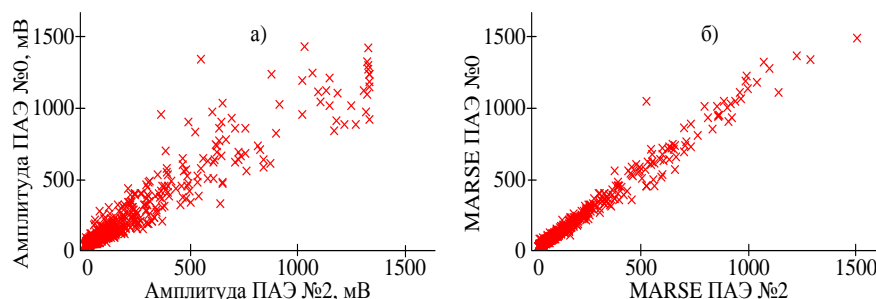


Рис. 1 – Зависимость амплитуды (а) и энергетического параметра  $MARSE$  (б) сигналов с ПАЭ 0 от сигналов с ПАЭ 2 с коэффициентами корреляции 0,94 и 0,99 соответственно

При контроле элементов конструкций, размеры которых существенно меньше расстояния распространения акустической волны до затухания, использование в качестве параметров сигналов усредненных значений (рис. 1, б), например  $MARSE$ , предпочтительнее мгновенных экстремальных значений

таких, как амплитуда сигнала (рис. 1, а). Это обусловлено существенным влиянием многократных отражений от границ объекта контроля на форму регистрируемых сигналов. Незначительные изменения источника АЭ приводят к существенным случайным изменениям амплитуды сигнала.

Чувствительность коэффициента корреляции к малым изменениям неопределенности параметров не превышает 5%. Было введено понятие устойчивости параметра сигнала АЭ [4] к малым изменениям источника: параметр  $P_1$  более устойчив, чем параметр  $P_2$ , если при изменении источника изменения параметров  $|\Delta P_1| \leq \varepsilon_1$  и  $|\Delta P_2| \leq \varepsilon_2$ , и при этом выполняется неравенство  $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$ . В качестве значения  $\varepsilon$  использовалось среднеквадратическое значение шумовой составляющей с нормальным распределением шумовой составляющей [5]:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1},$$

где  $r$  – значение коэффициента корреляции между параметрами сигналов, зарегистрированных разными преобразователями акустической эмиссии.

Максимальная устойчивость к влиянию мешающих факторов наблюдается у СКО сигнала и MARSE, для которых коэффициент  $\varepsilon$  не превышает 0,05, минимальная устойчивость у амплитуды и размаха сигнала –  $\varepsilon$  от 0,15 до 0,35 (рис. 2).

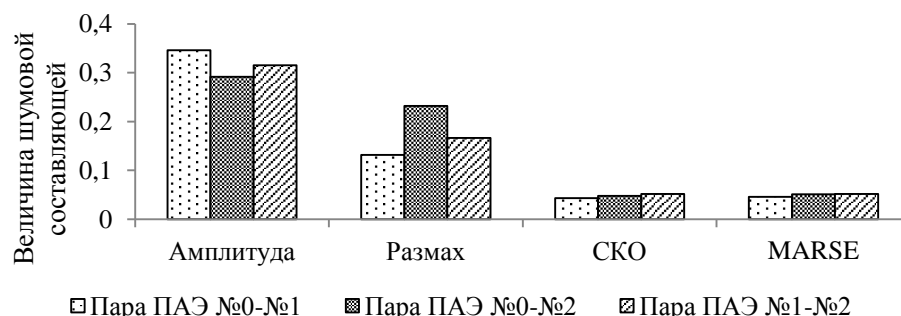


Рис. 2 – Гистограмма значения шумовой составляющей для разных параметров АЭ сигналов и пар преобразователей акустической эмиссии

Коэффициент корреляции параметров сигналов отличается слабой чувствительностью к малым изменениям параметров источника. В ходе эксперимента значение коэффициента корреляции варьировалось в диапазоне 0,94 – 0,99 (сильная зависимость исследуемых величин), что свидетельствует о невозможности использования коэффициента  $r$  в качестве критерия определения устойчивости параметров сигналов. Аналитически рассчитанные значения СКО шума  $\varepsilon$  при этом отличались в семь раз. Максимально устойчивыми среди анализируемых являются параметры MARSE и СКО – значение  $\varepsilon$  не превышает 0,05. Разработанная методика позволяет для конкретного объекта экспериментальным способом выбрать и обосновать параметры сигналов, оптимальных для процедуры кластеризации.

#### Список литературы:

- [1] Буйло С. И. Критерий оценки хрупкого разрушения стекла по сигналам акустической эмиссии / В. Р. Скальский, С. И. Буйло, Е. М. Станкевич. – Дефектоскопия. – 2012. – №5. – с. 26-34
- [2] Бехер, С.А. Устойчивость параметров сигналов акустической эмиссии при контроле литых деталей тележек / С.А. Бехер // Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций. – 2014. – с. 159.
- [3] Попков, А.А. Применение корреляционных методов анализа акустико-эмиссионных сигналов при контроле литых деталей сложной формы / А.А. Попков // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность. – 2015. – с. 130-134.
- [4] Бойков, И.В. Устойчивость решений дифференциальных уравнений: монография / И.В. Бойко. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 244 с.
- [5] Попков А.А., Бехер, С.А. Корреляционные методы анализа информативности параметров сигналов акустической эмиссии / А.А. Попков, С.А. Бехер // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. – 2016. – с. 195-196.

## МЕТОД ИНФРАКРАСНОЙ РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

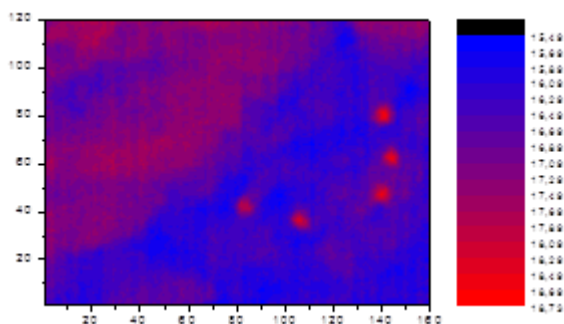
*Беспалько Анатолий Алексеевич, Федотов Павел Иванович, Чулков Арсений Олегович, Штирц Владимир Александрович, Яворович Людмила Васильевна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.*

*Научный руководитель Беспалько А.А.*

*E-mail:besko48@tpu.ru*

Ранее авторами методом ИК-радиометрии были выявлены изменения температуры поверхности горных пород в окрестности и внутри пробуренных скважин и шпуров в забоях и бортах выработок шахты «Таштагольская» (г. Таштагол, Кемеровской обл.). Максимальная разница температур в скважинах и окружающего их породного массива достигала 3,5°C. Для наглядности на рис.1 показано тепловое изображение забоя с явно выделяющимися разгрузочными скважинами орта 11 горизонта минус 350 (глубина 800 м) шахты Таштагольского рудника. Замеры температуры поверхности проводили с использованием тепловизора IRISYS IRI 4010B. Причем в последующем через 8 дней левая часть горных пород в забое была выдавлена.



*Рис. 1. Тепловое излучение поверхности забоя с разгрузочными скважинами орта 11 горизонта минус 350 шахты Таштагольского рудника после отстоя в течение 7 суток (глубина 800 м). Красные окружности – скважины диаметром 110 мм [1].*

Подобное свечение всегда наблюдается в местах массива горных пород, находящихся под нагрузкой, вызванной особенностями отработки рудного тела, при проходке ортов и штреков, вблизи зон обрушения и т.д. Физические основы этого явления не были ясны.

В докладе приведены результаты физического моделирования инфракрасного свечения образцов магнетитовой руды и сиенита с дефектом в виде отверстия диаметром 7 мм при силовом одноосном нагружении на сжатие или сдвиг до разрушения. Образец подготавливался из кернов, взятых из рудного тела, содержащего до 75% магнетитовой руды, и вмещающей руду породы - сиенита. Образцы имели размеры в диаметре 42 мм и длину 80 мм. Ось отверстия располагалась посередине продольной части образца и имела протяженность 25 мм. Для записи термограмм использовали метод ИК-радиометрии. В лабораторных условиях для измерения ИК свечения использовали тепловизор NEC TN9100. В экспериментах осуществлялась непрерывная запись подготовки и развития разрушения образца и его тепловое излучение в ИК диапазоне 8–14 мкм. Съемка осуществлялась в течение 200 с и фиксировалась на 2000 кадров. Чувствительность тепловизора NEC TN9100 составляет 0,04°C.



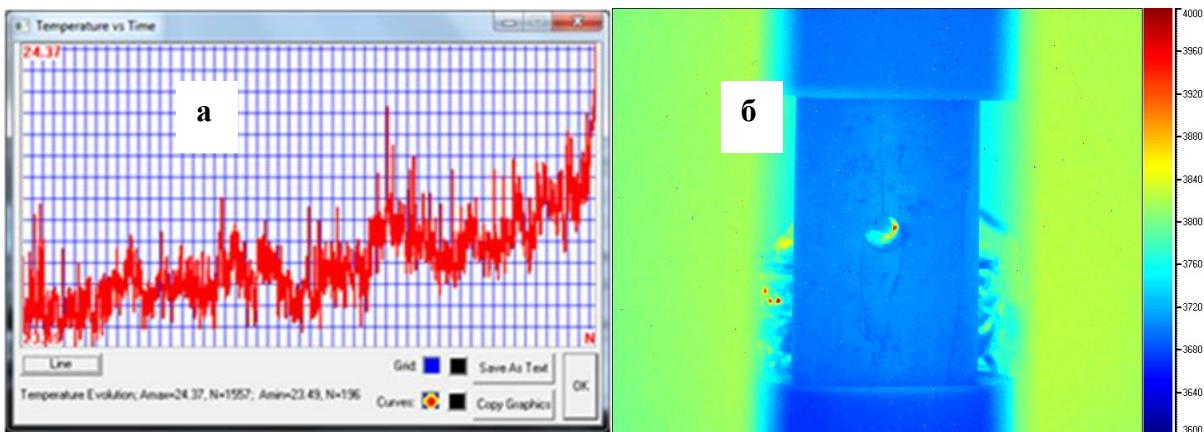


Рис.2. Изменения ИК–свечения в образце магнетитовой руды с включениями кальцита: а) – изменение ИК свечения воздуха в отверстии; б) – свечение отверстия при силовом одноосном нагружении сдвигом.

Анализ полученных в лабораторных экспериментах данных показал, что свечение отверстия в зависимости от этапов подготовки и развития разрушения видоизменяется. Температура воздуха в отверстии, температура на краю отверстия в твердотельной части и в 20 мм от его края существенно различаются. Такие изменения в интенсивности и спектре ИК – свечения обусловлены трением блоков из минералов, составляющих структуру горной породы, движением заряженных дислокаций и точечных дефектов в область образца с наименьшим механическим напряжением (область разгрузки), заряджением пограничных слоев контактирующих минералов или полостей, каковой является и отверстия в образцах горных пород или скважины в массиве горных пород, прорастанием трещин и имитацией электронов в воздушное пространство. В результате существенной разницы теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности между твердотельными составляющими горных пород и воздухом (Таблица 1) происходит разогрев последнего. Особенно сильный разогрев воздуха в отверстии происходит на последних стадиях развития зон деструкции, предразрушения и прорастания магистральной трещины.

Таблица 1.

№ п.п.	Вещество	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, $c_p$ , кДж/(кг·К)	Теплоемкость $C$ , кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	Коэффициент температуропроводности $a$ , $10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с
3.	Магнетитовая руда	5125	0.68	3312	2.0 ÷ 2.7	22.0
4.	Мрамор, кальцит	2880	0.75 ÷ 0.86	2375	1.6 ÷ 4.0	7.8 ÷ 12.2
5.	Сиенит	2630 ÷ 2800	0.74 ÷ 0.83	2160	1.8 ÷ 3.0	5.4 ÷ 7.9
6.	Воздух (20 С°)	1.175	1.005	1.18	0.0262	221.7

Таким образом, ИК–радиометрия отображает процесс подготовки разрушения и его свершение в определенном напряженно-деформированном объеме породного массива. Основываясь на этом можно успешно и эффективно использовать ИК–радиометрию для определения места установки регистраторов электромагнитных сигналов типа РЭМС1 и РЭМАС1 и определять направленность мониторинга развития геодинамических событий и краткосрочного прогноза их проявления.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТГ(М) МЕТОДА В ИССЛЕДОВАНИЯХ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Астафьев Александр Леонидович, Лысенко Елена Николаевна*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*  
*Научный руководитель*  
*Суржиков Анатолий Петрович*  
*[Astafyev@tpu.ru](mailto:Astafyev@tpu.ru)*

Широкое применение ферритов, во многом, обусловлено наличием у этих материалов высоких магнитных свойств и низкой электропроводности, что делает их незаменимыми в радиотехнике, электронике, вычислительной технике и т.д. Известно, что свойства ферритов определяются фазовым составом и степенью гомогенности, и незначительное отклонение фазового состава способно кардинально изменить магнитные и электрические свойства.

В качестве метода контроля фазового состава ферритовых материалов используется метод рентгенофазового анализа (РФА), однако, как было показано в работе [1], РФА не позволяет получать достаточно достоверные данные при анализе шпинельных структур из-за слияния рефлексов, полученных от фаз с близкими параметрами решетки. По этой причине разработка метода контроля сложных, многокомпонентных ферритов является актуальной задачей. В качестве такого метода контроля фазового состава и степени гомогенности магнитных материалов может выступать термомагнитометрический анализ (ТГ(М)), представляющий собой термогравиметрический анализ с приложенным постоянным магнитным полем. Исследование ферритов широкого состава  $\text{LiFe}_5\text{O}_8$ ,  $\text{Li}_{0,5(1+x)}\text{Fe}_{2,5-1,5x}\text{Ti}_x\text{O}_4$  и  $\text{Li}_{0,5(1-x)}\text{Fe}_{2,5-0,5x}\text{Zn}_x\text{O}_4$  термомагнитометрическим методом было показано в работах [2,3,4]. Однако в этих работах в качестве исследуемых образцов выступали монофазные материалы и применимость ТГ(М) метода на композиционных магнитных материалах еще не проводилось. Данная работа направлена на определение применимости ТГ(М) метода при исследовании магнитных материалов, состоящих из нескольких магнитных компонентов.

В качестве исследуемых материалов были выбраны литий-титановый ( $\text{Li}_{0,6}\text{Fe}_{2,2}\text{Ti}_{0,2}\text{O}_4$ ) и литий-цинковый ( $\text{Li}_{0,4}\text{Fe}_{2,4}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_4$ ) ферриты. Ферриты были получены методом твердофазного синтеза в печи сопротивления в воздушной атмосфере при температуре 800 °С в течение 360 минут из промышленных порошков  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$ . Для увеличения степени гомогенности через каждые 120 минут твердофазного синтеза производился промежуточный помол в планетарной мельнице АГО-2С. Образцы, в виде порошка общим весом 10 мг, представляли собой смесь литий-титанового и литий-цинкового ферритов в различных весовых пропорциях. Исследования проводились на термическом анализаторе STA 449С Jupiter фирмы Netzsch (Германия), с закрепленными, на внешней стороне измерительной ячейки, постоянными магнитами, создающие напряженность магнитного поля вблизи образца ~5 Э.

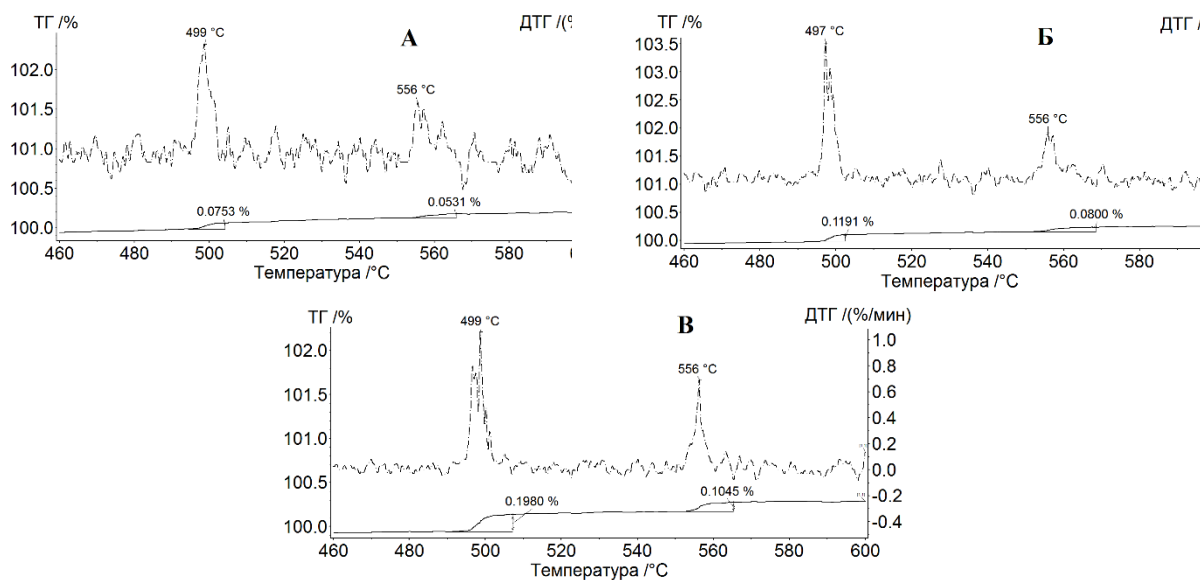


Рис.1 ТГ(М) и ДТГ(М) кривые для смеси литий-титанового и литий-цинкового ферритов в пропорциях: А – 30:70, Б – 50:50 и В – 70:30

На полученных ТГ(М) кривых (рис. 1) 100% соответствует весу образцов при комнатной температуре в магнитном поле. При увеличении температуры значительного изменения веса не наблюдается вплоть до достижения температуры Кюри, при которой происходит переход ферромагнетик-парамагнетик, сопровождающийся скачкообразным увеличением веса, что отчетливо видно на представленных кривых. При таком переходе на кривой ДТГ наблюдается пик, по положению которого можно определить температуру Кюри.



Таким образом, термомагнитометрическим методом возможно определение магнитных фаз в композите из нескольких магнитных компонентов путем идентификации температуры Кюри. Так же, получена корреляция высоты весового скачка на ТГ и высоты пика на ДТГ кривых от процентного содержания компонента в композите. Установлено, что с увеличением содержания литий-титанового феррита увеличивается высота весового скачка на ТГ(М), а также происходит увеличение высоты пика на ДТГ(М) зависимости, для литий-цинкового феррита наблюдается обратная зависимость. Данная корреляция будет использоваться в будущем для проведения количественного фазового анализа магнитных материалов термомагнитометрическим методом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

Список литературы:

- [1] Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. *Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов.* – М.: Металлургия, 1979. – 472 с.
- [2] Оценка фазового состава литий замещенных ферритов с помощью термомагнитометрического анализа и математического моделирования [Электронный ресурс] = *Estimation of substituted lithium ferrite phase composition by thermomagnetic analysis and mathematical modeling* / А. П. Суржиков [и др.] // *Контроль. Диагностика.* — 2014. — № 11. — [С. 30-33]
- [3] *Investigation of the Phase Composition of Lithium-Titanium Ferrites by Thermo-Magnetometric and X-Ray Analysis* [Electronic resource] / A. L. Astafyev, E. N. Lysenko, A. P. Surzhikov // *Advanced Materials Research : Scientific Journal.* — 2015. — Vol. 1085 :
- [4] *Development of control method for ferrite phase composition using thermomagnetic analysis* [Electronic resource] / A. L. Astafyev [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2014. — Vol. 66:
- [5] *Estimation of thermomagnetometry method sensitivity for magnetic phase determination* [Electronic resource] / A. L. Astafyev, A. P. Surzhikov, E. N. Lysenko // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2016. — Vol. 110

## **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Беркутов Игорь Владимирович<sup>1</sup>, Кинжагулов Игорь Юрьевич<sup>1</sup>, Быченко Владимир Анатольевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий  
механики и оптики*

<sup>2</sup>*Учреждение науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической  
техники»*

*Федоров Алексей Владимирович, д.т.н.*

*berk.iv@mail.ru*

Современное развитие процессов изготовления сложных технических изделий требует внедрения новых наукоемких технологий. К такой категории можно смело отнести аддитивные технологии, которые активно внедряются в процессы производства сложнопрофильных изделий в космической и авиационной отраслях промышленности. Одной из реализаций данных технологий является метод селективного лазерного спекания (СЛС).

Микроструктура образцов изделий, полученных методом СЛС, существенным образом зависит от характеристик исходного порошка и режимов их изготовления. Лазерное выращивание имеет сходство с процессами сварки, однако, в отличие от последнего, термическое воздействие при выращивании более интенсивное и длительное, что обуславливает возникновение механических напряжений, анизотропию механических свойств и склонность к образованию трещин, а при нарушении режима или используемой фракции исходного порошка - к образованию пор. Соответственно, существует вероятность возникновения брака, что при производстве ответственных и дорогостоящих изделий недопустимо.

Особенности изделий, полученных методом СЛС, такие как анизотропия свойств, пористость, структура и дефекты зависящие от режима производства, а также отсутствие необходимого объема достоверной информации об акустических свойствах получаемых материалов и процессах возникновения разноориентированных дефектов не позволяют применить известные методики и нормативные документы по ультразвуковому контролю. Исходя из этого, в докладе представлены результаты экспериментальной

апробации ультразвукового и лазерно-ультраузвукового методов с целью оценки возможности их применения для контроля дефектов и пористости заготовок, полученных СЛС.

Исследования параметров распространения ультразвуковых волн (УЗВ) проводились с использованием ультразвуковых преобразователей с номинальной рабочей частотой от 2,5 до 10 МГц. Контроль проводился в теновом режиме с анализом формы ультразвукового импульса, а также спектра сигнала (рис. 1).

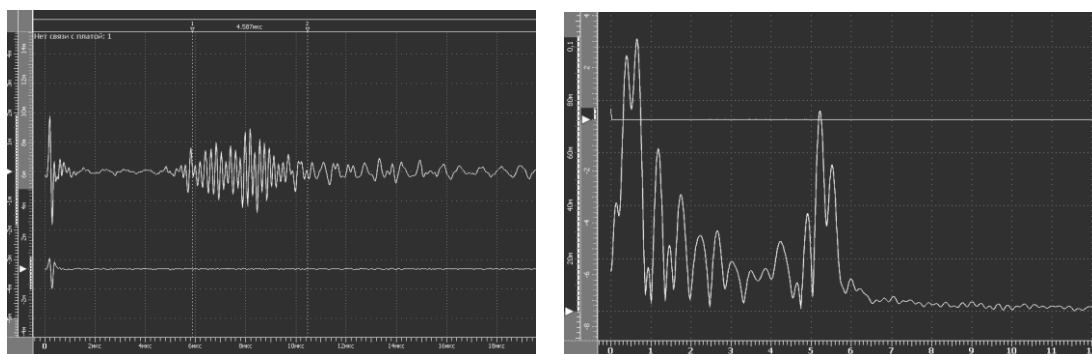


Рис.1. Форма полученного ультразвукового импульса и спектр сигнала

Несмотря на то, что прошедший сигнал сильно ослабляется, его спектр имеет хорошо выделенный максимум с малой дисперсией в данном направлении и свидетельствует о возможности проводить контроль даже в присутствии большой пористости.

Так же в ходе работ были проведены экспериментальные исследования возможности контроля деталей и изделий, полученных СЛС, лазерно-ультраузвуковым методом с использованием дефектоскопа УДЛ-2М с широкополосными оптоакустическими преобразователями.

Лазерно-ультраузвуковое оборудование используется для прецизионных измерений времени пробега ультразвукового импульса в материале изделий. При известной толщине изделия это позволяет определять с высокой точностью скорость распространения продольных ультразвуковых волн. Так же лазерно-ультраузвуковой метод может быть применим и для контроля сплошности объекта. Акустическое изображение одного из исследованных образцов приведено на рис. 2.

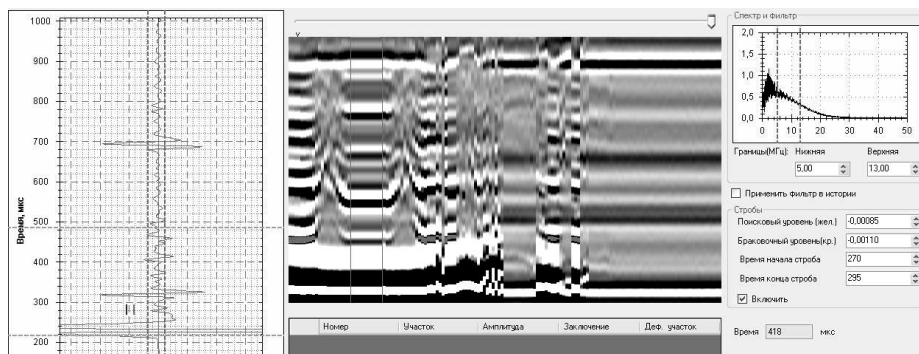


Рис.2. Акустическое изображение исследованного образца

Результаты экспериментальных исследований показали, что кроме учета анизотропии свойств объекта контроля, высокоточное измерение скорости распространения УЗВ позволяет оценить состояние материала и его соответствие заданным требованиям как по завершении производства так и на различных стадиях дополнительных обработок. Данный подход позволяет оценить соблюдение режимов производства и последующих обработок.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТОПОРОШКОВОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Чеснокова Александра Алексеевна  
Ярославский государственный технический университет  
Калаева Сахиба Зияддин кзы, к.т.н  
Shurochka1802@yandex.ru

В настоящее время вопросы улучшения качества являются одной из первостепенных задач каждого предприятия, так как фактор качества обеспечивает конкурентоспособность продукции. Улучшение качества промышленной продукции возможно лишь при условии совершенствования технологических процессов производства и системы управления качеством. Система контроля является одной из основных частей системы управления качеством на предприятии. В данной работе рассматриваются вопросы улучшения качества путем совершенствования технологии магнитопорошкового метода неразрушающего контроля.

На сегодняшний день методы неразрушающего контроля имеют самое широкое применение на всех промышленных предприятиях. В соответствии с данными, из реестра системы сертификации персонала (РССП) на данный момент, магнитный метод контроля стоит на первом месте по количеству выданных сертификатов соответствия персонала. Магнитный неразрушающий контроль - вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля основан на анализе магнитных полей рассеяния с использованием в качестве индикатора ферромагнитного порошка или магнитной суспензии [1]. Данный метод применяется для контроля поверхности изделий из ферромагнитных материалов, он позволяет выявить поверхностные и подповерхностные дефекты.

Вопрос повышения качества выявляемости дефектов при магнитопорошковом контроле стоит достаточно остро. Качество выявляемости дефектов зависит от многих факторов. Наиболее важными факторами являются методика проведения контроля и качество применяемого дефектоскопического материала (его чувствительность).

Несовершенство методик контроля приводит к тому, что изделия с дефектами попадают в эксплуатацию, с одной стороны, или к неоправданной отбраковке годных изделий, с другой. Методика магнитопорошкового контроля для конкретных изделий, разрабатываемая на каждом предприятии с учетом требований, указанных в национальных стандартах.

В настоящее время дефектоскопическими материалами являются порошки, суспензии и магнитогумированные пасты. Данные материалы облают как рядом недостатков (крупный размер частиц, неустойчивость, токсичность), которые непосредственно влияют на качество выявляемости дефектов. Поэтому необходим поиск новых материалов, которые могут применяться в качестве дефектоскопических материалов.

В качестве новых дефектоскопических материалов, возможно, применять магнитных жидкости из железосодержащих отходов (ЖСО). Магнитные жидкости представляют собой суспензию нанодисперсных частиц магнитного материала с размером 5-100 нм., стабилизированных поверхностно-активным веществом в жидкости-носителе. Технология получения магнитных жидкостей из ЖСО представляет практический интерес для промышленных предприятий, решается проблема с утилизацией железосодержащих отходов, актуальную для всех регионов России [2]. Полученные экспериментальные данные позволяют говорить о возможности замены традиционных дефектоскопических материалов на более экологичные, которые имеют наноразмерные частицы и обладающие устойчивостью.

В настоящее время технология магнитопорошкового метода неразрушающего контроля регламентируется следующими национальными стандартами: ГОСТ Р 56512-2015 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы; ГОСТ Р ИСО 9934-1-2011 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 1. Основные требования; ГОСТ Р ИСО 9934-2-2011 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Часть 2. Дефектоскопические материалы; а также отраслевыми рекомендациями. Анализа документов позволил выявить следующие недостатки нормативно-методического обеспечения магнитопорошкового контроля: методы оценка чувствительности дефектоскопических материалов не регламентируются, в национальных стандартах не отражена специфика контроля изделий различных отраслей, в отраслевых рекомендациях существуют противоречия с действующими ГОСТами. Данные недостатки можно решить путем разработки методики оценки чувствительности материалов, и обновления действующих рекомендаций в соответствии с национальными стандартами.

Таким образом, совершенствование технологии магнитопорошкового метода контроля возможно, за счет применения новых дефектоскопических материалов (магнитных жидкостей их ЖСО), разработки методики применения новых дефектоскопических материалов и методики оценки чувствительности материалов, а также актуализации действующих рекомендаций по магнитопорошковому контролю.

Совершенствование технологии магнитопорошкового метода контроля, поможет предприятиям повысить выявляемость дефектов, и как следствие улучшить качество изделий в целом, обеспечивая их конкурентоспособность.

Список литературы:

[1] ГОСТ Р 56542-2015 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Москва: Стандартинформ. 2015-12с.

[2] Патент РФ № 2422932 Способ получения магнитной жидкости/Калаева С.З., Макаров В.М., Еришова А.Н., Гуцин А.Г. ; заявитель ГОУ ВПО ЯГТУ ; заявл. 08.10.2010 ; опублик. 27.01.2012

## **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 100×100×400 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.

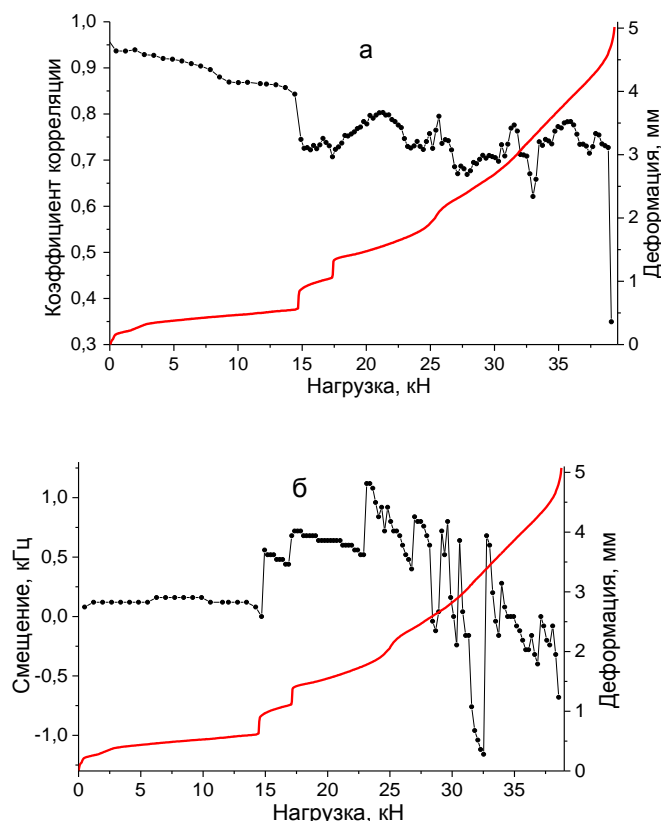


Рис. 1. Изменение максимального коэффициента взаимной корреляции спектра сигнала в условиях изгиба с исходным спектром (а) и смещения, при котором он наблюдается (б) для бетонной балки, армированной стеклопластиковой арматурой

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.

## ТРЕХМЕРНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК

*Долматов Дмитрий Олегович*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*Научный руководитель: Демянюк Дмитрий Георгиевич, к.т.н.*

[dolmatovdo@tpu.ru](mailto:dolmatovdo@tpu.ru)

Развитие методов ультразвукового неразрушающего контроля связано с все большим внедрением в практику систем с когерентной обработкой сигналов. Такие системы позволяют получить высококачественные изображения дефектов в объекте контроля, что позволяет с высокой точностью

определять степень влияния тех или иных несплошностей на функционирование объектов контроля. В системах с когерентной обработкой сигналов могут применяться различные типы ультразвуковых преобразователей, включая одноэлементные преобразователи, линейные и матричные фазированные решетки.

Применение в системах, с когерентной обработкой сигналов матричных фазированных решеток позволяет получить трехмерное изображение в одной измерительной позиции. Несмотря на это очевидное преимущество, оно связано с высокой интенсивностью требуемых компьютерных вычислений. Также при увеличении объекта контроля предъявляются все большие требования к памяти вычислительного ресурса. Рассмотренные факторы серьезно ограничивают на практике применение систем с когерентной обработкой сигнала, использующих матричные фазированные решетки.

Существует несколько подходов для снижения интенсивности требуемых компьютерных вычислений. Один из подходов связан с применением матричных фазированных решеток с нелинейным расположением элементов. Преимущество применения такого подхода связано с возможностью увеличения размеров апертуры по сравнению матричными фазированными решетками, в которых такое же количество элементов расположено линейно [1][2]. Другой подход связан с использованием, так называемых прореженных решеток, при котором обрабатываются данные только некоторых, выбранных особым образом, элементов матричной фазированной решетки с линейным расположением элементов [3][4]. Еще один метод для снижения интенсивности требуемых вычислений обусловлен применением специальных методов ускоренной обработки данных, полученных с использованием матричных фазированных решеток. Существует несколько подходов к реализации таких методов, одним из которых является применение методов, основанных на Быстром преобразовании Фурье[5].

В данной работе предложен метод ускоренной обработки данных ультразвукового контроля при применении матричных фазированных решеток. В работе рассмотрены математические основы метода, а также возможность применения для различных условий проведения контроля. Возможности предлагаемого метода были рассмотрены для решения нескольких задач ультразвукового неразрушающего контроля. Данный метод обработки ультразвуковых данных был изучен при использовании одноэлементного преобразователя и многослойного объекта контроля в [6], а для иммерсионного контроля с использованием матричной фазированной решетки, работающей в режиме двойного сканирования в [7]. Применение данного метода представляет интерес, прежде всего, в автоматических и полуавтоматических системах с когерентной обработкой сигнала, вследствие чего важным вопросом является точная калибровка таких систем, вопрос проведения которой рассмотрен в [8].

Список литературы:

- [1] Martínez-Graullera O. et al. *Design of Curvilinear Array Apertures for 3D Ultrasonic Imaging //Ultrasound Imaging. – InTech, 2011.*
- [2] Velichko A., Wilcox P. D., Drinkwater B. W. *Defects detection in thin components using two-dimensional ultrasonic arrays //AIP Conference Proceedings. – AIP, 2013. – Т. 1511. – №. 1. – С. 841-848.*
- [3] *Efficient imaging techniques using Sub-aperture matrix capture and two-dimensional sparse array //Nondestructive Evaluation/Testing (FENDT), 2014 IEEE Far East Forum on. – IEEE, 2014. – С. 44-49.*
- [4] VI. Choe J. W., Oralkan Ö., Khuri-Yakub P. T. *Design optimization for a 2-D sparse transducer array for 3-D ultrasound imaging //Ultrasonics Symposium (IUS), 2010 IEEE. – IEEE, 2010. – С. 1928-1931.*
- [5] Hunter A. J., Drinkwater B. W., Wilcox P. D. *The wavenumber algorithm for full-matrix imaging using an ultrasonic array //IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. – 2008. – Т. 55. – №. 11.*
- [6] Dolmatov D., Abramets V. *Application of frequency-domain algorithms in ultrasound imaging of composite materials //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2016. – Т. 48.*
- [7] Dolmatov D., Salchak Y., Pinchuk R. *Frequency-domain imaging algorithm for ultrasonic testing by application of matrix phased arrays //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Т. 102. – С. 01015.*
- [8] Dolmatov D. et al. *Advanced ultrasonic testing of complex shaped composite structures //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – Т. 135. – №. 1. – С. 012010.*

## **НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА МИКРОФОКУСНЫХ ПЯТЕН РЕНТГЕНОВСКИХ ТРУБОК**

*Е.Ю. Усачев, М.М. Гнедин, В.В. Валиков, В.Д. Гелевер, Е.Б. Чернов  
Московский технологический университет МИРЭА*

Согласно п 2.1. 10 ГОСТ Р 55776 -2013 «Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения» термин «эффективное фокусное пятно» рентгеновской трубки определяется как «проекция излучающей области источника ионизирующего излучения на плоскость, перпендикулярную к оси рабочего пучка ионизирующего излучения»

Существует градация фокусных пятен рентгеновских трубок (таблица 1 ГОСТ 8490-77 «Трубки рентгеновские. Общие технические условия») на «микронное», «острое», «малое», «большое»; при этом номинальный размер микронного пятна до 100мкм включительно. с допускаемым отклонением +100мкм.

Размер фокусного пятна играет значительную роль в формировании рентгеновского изображения, определяя величину геометрической нерезкости и, следовательно, качество изображения и обнаружение несовершенств объектов контроля с малым раскрытием и контрастом.

На практике, размер микрофокусного пятна измеряется на стадии приёмки трубок (как правило при номинальном анодном напряжении) и в процессе эксплуатации, особенно при значительном отступлении от номинального напряжения

В настоящее время в РФ действует ГОСТ22091.9-86 «Приборы рентгеновские. Методы измерения размеров эффективного фокусного пятна», регламентирующий в т.ч. в Разделе 1 метод измерения размеров микрофокусного пятна до 0,1мм {

В части микрофокусных пятен указанный стандарт может рассматриваться как устаревший, поскольку предусматривает использование в качестве детектора только плёнки, в качестве тест-объекта - элемент измерительной сетки, а измерение оптических плотностей изображения проводится в ручном режиме на микрофотометре. Утверждается, что погрешность измерения размеров фокусного пятна находится в интервале  $\pm 35\%$  с установленной вероятностью  $P=0,95$

В странах Европейского Союза действует стандарт EN 12543 «Неразрушающий контроль. Характеристики фокусных пятен в промышленных рентгеновских системах для использования в области неразрушающего контроля», состоящий из 5 частей.

Часть 5 указанного стандарта посвящена измерению эффективного фокусного пятна мини- и микрофокусных рентгеновских трубок».

Помимо получения снимка тест-объекта (проволочный крест или шарик) на плёнку с последующим фотометрированием на микроденситометре, часть 5 стандарта допускает применение рентгеноскопической системы с возможностью построения двумерных линейных профилей интенсивности радиоскопического изображения.

Даны требования к параметрам просвечивания и методике определения фокусного пятна.

Проблема измерения эффективного фокусного пятна рентгеновских трубок, в том числе и мини- и микрофокусных рассмотрена в обобщающей статье «Новые методы измерения размера фокусного пятна рентгеновских трубок в практике цифровой радиологии в сравнении с действующими стандартами» (1)

Обобщённые данные многочисленных зарубежных измерений микрофокусных пятен, приведенные в (1) и результаты соответствующих экспериментальных работ, полученные авторами доклада, показали, что достоверность и разброс полученных значений измерений, выполненных с соответствии с вышеуказанными стандартами, являются неудовлетворительными.

Это может быть объяснено наличием у полученных изображений тест-объектов т.н. «хвостов». затрудняющих точность исходных замеров, и малыми линейными размерами измерительной базы

В упомянутой работе (1) в качестве тест- объекта был выбран серийный пластинчатый с отверстиями индикатор качества изображения, используемый в практике радиографии США, предложено построение интегрированного линейного профиля полученного изображения и алгоритм расчёта размера микрофокусных пятен с рядом допущений. Всё это позволило, по сообщению авторов, улучшить достоверность измерений.

В предлагаемом докладе предложены новая конструкция тест-образца и конструкция детектора с высоким разрешением, использовано дифференцирование полученного изображения и повышена точность измерения пикселя изображения за счёт удлинения измерительной базы и использования опций ПО «Диада»

Список литературы:

[1] «Новые методы измерения размера фокусного пятна рентгеновских трубок в практике цифровой радиологии в сравнении с действующими стандартами» 18th World Conference on Nondestructive Testing. 16-20 April 2012 .Dubau, South Africa. Klaus Bavendik и др..



# 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.

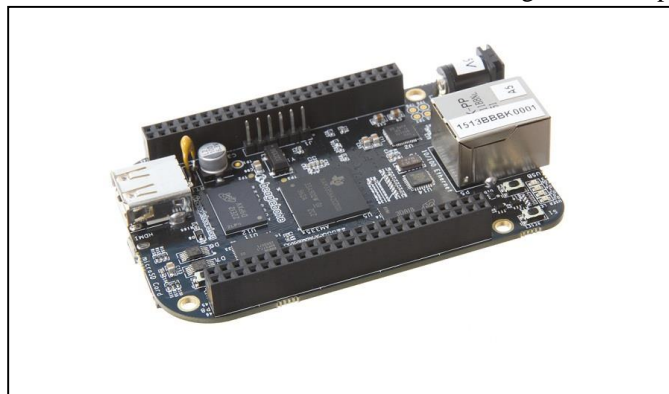


Fig.1 The BeagleBone Black

## 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.

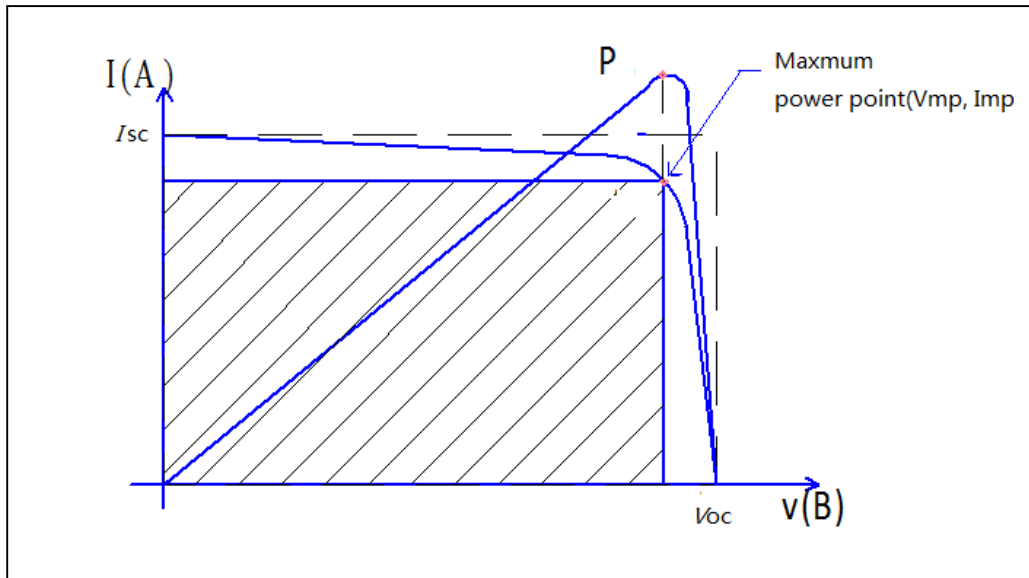


Fig. 2. Current-voltage characteristics of the solar cell

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.

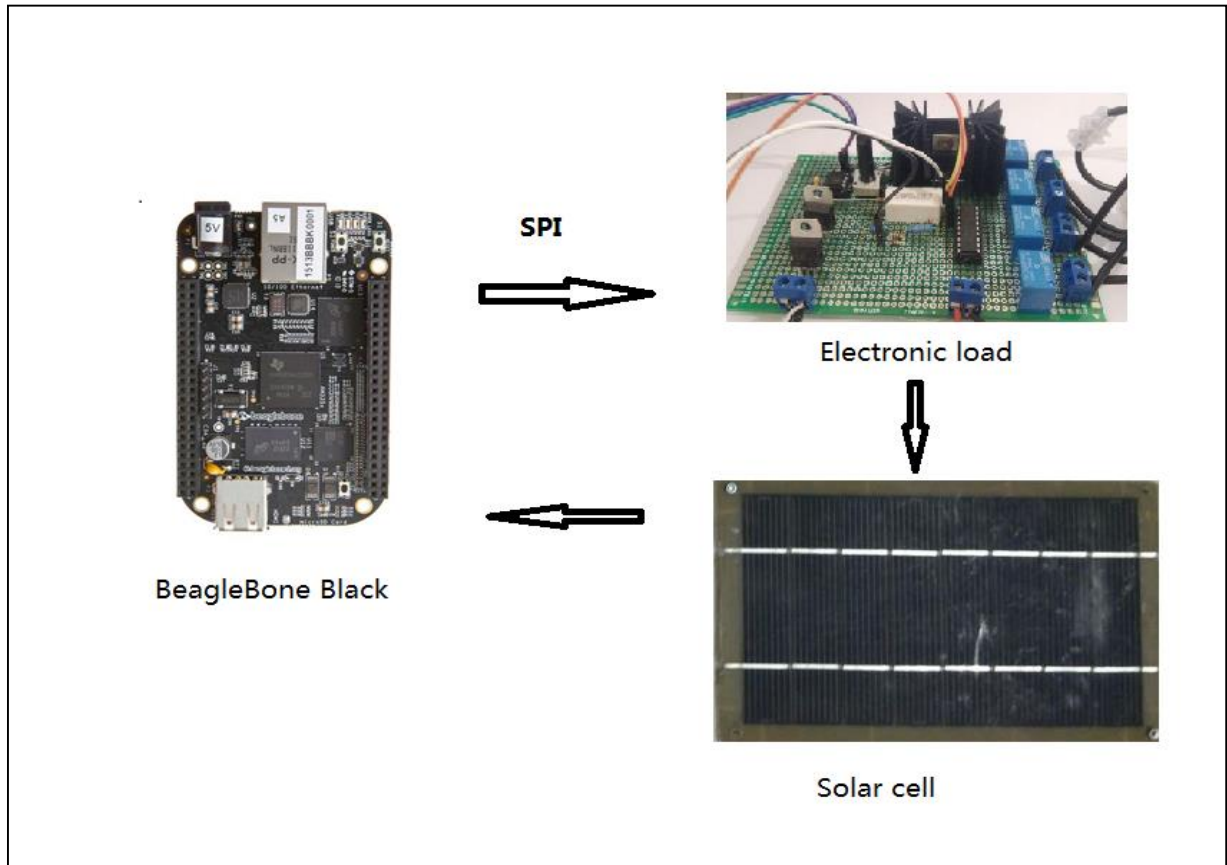
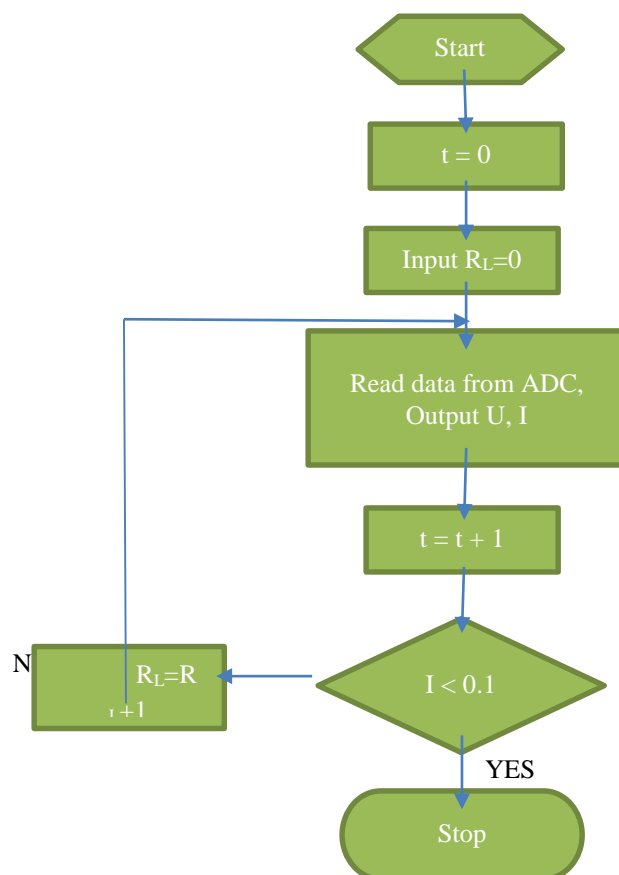


Fig. 3. Diagram of the measurement parameters

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 с.

[2] Antonio Luque, Steven Hegedus // *Handbook of Photovoltaic Science*

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Бехер Сергей Алексеевич*

*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский  
государственный университет путей сообщения»*

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

Переменные нагрузки, воздействующие на стальные конструкции в процессе эксплуатации, вызывают развитие усталостных дефектов. При ремонте вершину трещины высверливают, что уменьшает коэффициент концентрации напряжений. Для восстановления жесткости элементов конструкций обычно применяют болтовые соединения. Использование высокотемпературной пайки по сравнению с болтовыми соединениями позволяет создать более долговечно усиление, которое не требует технического обслуживания и не создает дополнительные концентраторы напряжений. Качество паяных соединений элементов конструкций с усталостными трещинами, изготавливаемых в условиях эксплуатации, зависит от неровности поверхности, места расположения и ориентации дефекта, деформации кромок дефекта при нагреве. Неразрушающий контроль в этих условиях является необходимой технологической операцией, способной повысить надежность паяных соединений.

Целью работы является создание методики и технологии контроля паяных соединений при ремонте элементов мостовых конструкций с трещинами. Контролю подвергались паяные нахлесточные двух- и трехэлементные соединения, толщина которых варьировалась от 4 до 10 мм. Ширина шва составляла от 10 до 40 мм. В соответствии с технологической документацией на пайку подлежат выявлению наиболее распространенные дефекты типа непропай [2], доля которых превышает 85 % [1]. В зависимости от места расположения паяного соединения на конструкции возможен как двухсторонний, так и ограниченный – односторонний доступ.

Для контроля паяных соединений получил распространение эхо-метод [1, 3], который позволяет при изготовлении в заводских условиях обнаруживать дефекты с эквивалентным диаметром от 2 мм. Малая толщина соединяемых элементов 4 мм не позволяет использовать акустические волны на частоте 2,5 МГц. При ремонте конструкций с трещинами толщина паяного слоя может изменяться в достаточно широком диапазоне 0,1 до 0,2 мм, при этом амплитуда эхо-сигналов продольных волн от паяного слоя на частоте 5,0 МГц варьируется в диапазоне от – 35 до – 15 дБ относительно донного импульса. В этих условиях применение эхо-метода существенно ограничено и не позволяет решить задачу контроля паяного соединения.

Рассчитанные коэффициенты прохождения через слой в меньшей степени зависят от его толщины и изменяются не более чем на 1–2 дБ, что обеспечивает постоянство прошедшего импульса. Для контроля соединений с переменной толщиной паяного соединения предложены и реализованы теневой (рис. 1, а) и зеркально–теневой (рис. 1, б) методы с частотой 2,5 МГц, так как суммарная толщина изделия превышает 18 мм.

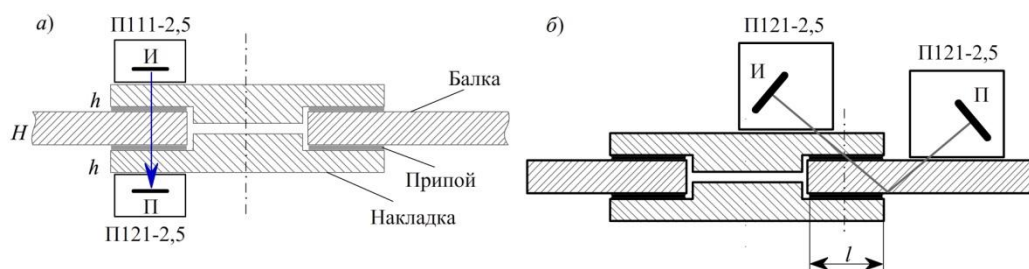


Рис.1. Схемы прозвучивания теневым методом паяного соединения при двухстороннем (а) и одностороннем (б) доступе к изделию

Зеркальный метод, реализуемый двумя прямыми преобразователями, является более перспективным при двухстороннем доступе к изделию, а зеркально–теневой с использованием двух наклонных преобразователей – при одностороннем доступе. Достоверность методов прохождения зависит от соосности излучающего и принимающего преобразователей (рис. 2, а). Изменение эксцентриситета акустических осей в диапазоне от –10 до 10 мм вызывает вариации амплитуды прошедшего импульса более 15 дБ. Для обеспечения соосности реализован способ, основанный на установке преобразователей в положение минимальной задержки времени распространения сигнала, вариация которой составляет около 15 % времени распространения.

Разработан и изготовлен настроечный образец с моделями дефектов диаметрами от 5 до 8 мм. Методика контроля теневым методом обеспечивают обнаружение дефектов типа непропай с эквивалентным диаметром от 6 мм с отношение амплитуд на бездефектном и дефектном участках не менее 8 дБ, а для дефектов с эквивалентным диаметром 8 мм отношение амплитуд – не менее 16 дБ. При одностороннем доступе уверенно обнаруживаются дефекты с эквивалентным диаметром 7 мм с запасом чувствительности более 13 дБ.

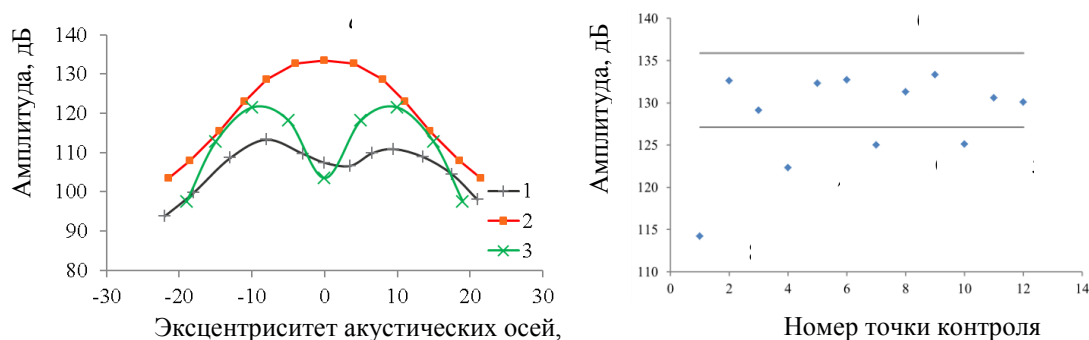


Рис.2. а) Зависимость амплитуды прошедшего сигнала от эксцентриситета акустических осей излучающего и принимающего ПЭП: 1 – 1 – модель дефекта 8 мм, 2 – бездефектный, 3 – модель дефекта 6 мм; б) Амплитуды прошедших сигналов через паяное соединение с моделями дефектов диаметром d, равным 8, 7, 6, 5 мм

#### Список публикаций:

- [1] Ремизов, А.Л. Разработка методов и средств ультразвуковой дефектоскопии паяных строительных металлоконструкций толщиной 4 – 20 мм / А.Л. Ремизов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // МВТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 1985. – 13 с.
- [2] ГОСТ 24715-81 Соединения паяные. Методы контроля качества
- [3] Ремизов, А.Л. Определение размеров дефектов в паяных нахлесточных соединениях / А.Л. Ремизов, А.А. Дерябин // Сварка и диагностика. – 2012. – №6. – С. 44–47.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

*Степанова Ксения Андреевна, Мозутов Тимофей Сергеевич, Богоцкая Анастасия Сергеевна  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,  
механики и оптики*

*Кинжагулов Игорь Юрьевич, к.т.н.*

[ledy.xs93@yandex.ru](mailto:ledy.xs93@yandex.ru)

Одной из перспективных технологий получения неразъемных соединений, внедряемой в различных отраслях промышленности: судостроение, машиностроении, авиа и ракетостроении, является фрикционная сварка (в научно-технической литературе широко используется термин «сварка трением с перемешиванием»). Сварка трением с перемешиванием (СТП) - это процесс образования неразъемного соединения в твердой фазе посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями за счет их нагревания, пластического деформирования и перемешивания вращающимся инструментом.

В настоящее время, данная технология является одной из перспективных технологий в мировом ракетном производстве топливных баков. В Российской Федерации внедрение данной технологий в производство изделий ракетно-космической техники (РКТ) обеспечивает возможность создания универсальных ракетных модулей ракет-носителей (РН) «Ангара». Применение данной технологии обеспечивает повышение конструкционной прочности сварного соединения наряду с уменьшением веса конструкции, что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик модулей РН в целом.

Реализация данной технологии осуществляется сложными роботизированными комплексами, незначительные отклонения в работе которых приводят к образованию дефектов в сварном соединении, что может приводить к снижению прочности изделия и, как следствие, возникновению нерасчетных режимов и выходу изделий из строя.

Дефекты сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием, могут возникать вследствие нарушений требований к подготовке поверхностей свариваемых деталей и сборке, выбору инструмента, а также нарушении технологии и режимов сварки. Наиболее вероятным и трудно выявляемыми дефектами, являются дефекты типа непровар корня шва [1].

Традиционно применяемые методы неразрушающего контроля (НК) сварных швов (цветная дефектоскопия, радиационный контроль и др.) являются малоприменимыми для выявления непровара и оценивания его глубины. Это связано с морфологией непровара, с толщиной сварного соединения и его геометрией, а также с требованием минимально выявляемого дефекта по высоте и раскрытию.

Проведение контроля дефектообразования в процессе формирования сварного соединения обеспечит возможность обнаружения дефектов малого раскрытия и оперативного устранения дефектов при повторных проходах, что приведет к повышению качества изготавливаемых изделий и надежность ответственных элементов РКТ в целом.

Одним из перспективных методов НК, применимым в динамических системах, является метод акустической эмиссии. Данный метод обладает высокой чувствительностью к дефектам, возникающим при нарушении технологии производства, и позволяет осуществлять оперативный контроль качества в процессе формирования соединений, выполняемых сваркой трением с перемешиванием [2].

В докладе рассматривается проблема контроля качества сварных соединений, выполненных сваркой трением с перемешиванием и в ходе анализа результатов экспериментальных исследований обосновывается идея о возможности применения метода акустической эмиссии при контроле качества сварных соединений, выполняемых данным видом сварки. Представлены результаты анализа влияния изменения размеров дефектов в сварных соединениях, выполненных сваркой трением с перемешиванием, на параметры акустико-эмиссионных сигналов. Также в докладе проанализирована целесообразность применения метода акустической эмиссии в ходе производственного процесса изготовления изделий РКТ в реальном масштабе времени.

Список литературы:

[1] Карманов В. В., Каменева А. Л., Карманов В. В. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: сущность и специфические особенности процесса, особенности структуры сварного шва // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2012. № 32. С. 67-80.



## 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., Поташиников, А.К., Обидин, Ю.В., Чащин, С.Б. Компьютерная томография в задачах контроля сварных соединений ТВЭЛ // *Автоматрия*. – 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 отработке 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.

## ПРИБОР ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ПРОВОДА

*Вавилова Галина Васильевна, Гольдштейн Александр Ефремович, Мазиков Сергей Валерьевич*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

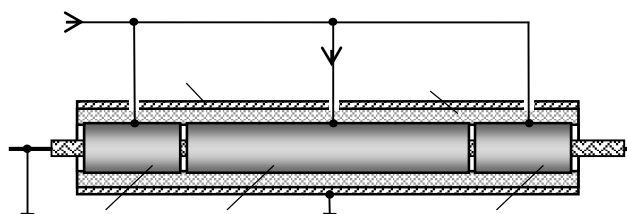
*Научный руководитель: Гольдштейн А. Е., д.т.н.*

[wgw@tpu.ru](mailto:wgw@tpu.ru)

При производстве одножильного электрического провода для контроля его качества необходимо контролировать диаметр жилы и изоляции, эксцентricность, отсутствие дефектов и т.п. [1,2]. Отклонение этих параметров приводит к изменению емкости, поэтому контроль погонной емкости может дополнить, а иногда и заменить указанные виды контроля.

Для реализации технологического контроля погонной емкости можно использовать прибор, основанный на использовании трубчатого электрода [3], погруженного вместе с контролируемым проводом в охлаждающую ванну экструзионной линии производства провода. Этот метод контроля широко распространен в кабельном производстве (Sikora, Zumbach [4,5]) и фактически не имеет альтернативы. В настоящее время на рынке представлены лишь приборы зарубежного производства, которые имеют высокую стоимость, а также не учитывают особенности эксплуатации в российских условиях производства кабельных изделий. Это приводит к необходимости разрабатывать отечественные приборы контроля емкости. Представленный в данной статье прибор САР-10 является попыткой решить данную проблему.

Конструкция и внешний вид основного элемента измерителя емкости – электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) – представлены на рисунке 1. ЭЕИП состоит из измерительного 1 и двух дополнительных электродов 2,3, заключенных в металлический корпус 4 и изолированных от него слоем диэлектрика 5. На вход преобразователя подается гармоническое напряжение известной амплитуды и частоты. Значение емкости провода определяется по силе тока, протекающего через измерительный трубчатый электрод. Подробно принцип действия ЭЕИП описан в [6]. В [7] изложен принцип подбора с помощью численного моделирования оптимальных конструктивных параметров ЭЕИП, позволяющих минимизировать методическую погрешность измерения емкости.



а



б

*Рис.1. Конструкция ЭЕИП и внешний вид САР-10*

САР-10 предназначен для технологического контроля погонной емкости провода. Внешний вид основных блоков САР-10 представлен на рис. 1 б. Прибор состоит из ЭЕИП, блока аналогового

преобразования сигналов, блока вычислительной обработки и блока визуализации. Подробно принцип действия измерителя емкости САР-10 описан в [8]. Прибор реализует измерение значения погонной емкости провода, сравнение текущего значения с предельно допустимыми значениями, осуществляет индикацию результата измерения, а также способен создавать и хранить массив значений емкости провода за заданный промежуток времени. Еще одной важной функцией САР-10 является обнаружения наличия локальных дефектов в изоляции провода, которые фиксируются по резкому изменению емкости [9].

Первичная настройка САР-10, проводимая на стадии производства прибора, позволяет осуществить отстройку от влияния изменения электропроводности воды путем подбора коэффициентов функции преобразования значения силы тока в цепи измерительного электрода в значение погонной емкости контролируемого провода.

Для корректировки погрешности измерения прибора САР-10 непосредственно на технологической линии в охлаждающей ванне предусмотрена «рабочая» настройка, проводимая в автоматизированном режиме. «Рабочая» настройка необходима для исключения систематической составляющей погрешности измерения емкости.

Заводские испытания опытного образца прибора САР-10, проведенные на заводе АО «Сибкабель», показали стабильность работы в условиях технологического процесса производства провода. Было отмечено соответствие заявленных технических характеристик прибора паспортным данным. Предложенные методики первичной и «рабочих» настроек показали свою состоятельность. Получены положительные отзывы реальных представителя кабельной промышленности России.

Список литературы:

- [1] Starikova N., Redko V., Redko L. and Ermoshin N.// MATEC Web of Conferences. 2016. T. 79. C. 01032. DOI: 10.1051/mateconf/201679010 2016
- [2] Goldshtein A.E., Fedorov, E.M.// Russian Journal of Nondestructive Testin. 2010. T. 46. №. 6, C. 424-430
- [3] Fleming P., Coleman L.R.// US Patent 20030128038 2003 Capacitance monitoring systems
- [4] CAPACITANCE 2000: Capacitance measuring devices for cable production lines. 2016. URL: [http://sikora.net/wp-content/uploads/2016/03/CAPACITANCE\\_2000\\_GB.pdf](http://sikora.net/wp-content/uploads/2016/03/CAPACITANCE_2000_GB.pdf)
- [5] CAPAC®/FFT: Capacitance measurement systems for cable production lines. 2016. URL: [http://www.zumbach.com/pdf/Literature/CAPAC/CAPAC\\_Familie\\_CAPA.002.0002.E.pdf](http://www.zumbach.com/pdf/Literature/CAPAC/CAPAC_Familie_CAPA.002.0002.E.pdf)
- [6] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Mazikov S.V.// J. Phys.: Conf. Ser. 2016. T. 671, C. 012062. doi: 10.1088/1742-6596/671/1/012062
- [7] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Belyankov V.Yu.// Russ. J. Nondestr. Test. 2015. T. 51. № 2, C. 35-43. doi: 10.1134/S1061830915020047
- [8] Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В. // Ползуновский вестник. 2015. № 3. С. 38-42
- [9] Goldshtein A.E., Vavilova G.V., Redko V.V.// RU Patent 2578658. 2016. Method of measurement capacitance of a solid strand electrical wire

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ Т-ОБРАЗНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ТЕРАОММЕТРАХ

*Ермошин Николай Иванович, Якимов Евгений Валерьевич*

*Томский политехнический университет*

*Гольдштейн Александр Ефремович, д.т.н*

[ermoschin.nik@yandex.ru](mailto:ermoschin.nik@yandex.ru)

Широкое распространение получили тераомметры, имеющие схему преобразователя сопротивления в напряжение с обратной шкалой, на основе операционного усилителя (рис.1). Преимущества тераомметров, работающих по данному принципу в том, что они работают при равном нулю синфазном сигнале, обладают хорошей помехоустойчивостью и менее критичны к входному сопротивлению усилителя постоянного напряжения (УПТ) [1].

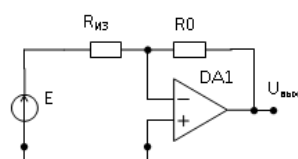


Рис.1. Преобразователь сопротивления в напряжение с обратной шкалой, на основе операционного усилителя: DA1 – УПТ; E – величина ЭДС источника;  $R_{из}$  – измеряемое сопротивление;  $R_0$  – образцовое сопротивление

Выходное напряжение такого преобразователя равно:

$$U_{вых} = -E \cdot \frac{R_0}{R_{из}}, \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что чем больше сопротивление в цепи обратной связи, тем большее сопротивление возможно измерить. Но так как, к погрешности сопротивления обратной связи предъявляются высокие требования, его необходимо выбирать как можно меньшего номинала (менее 1 ГОм). Решить данную проблему позволит применение Т-образной обратной связи (рис.2).

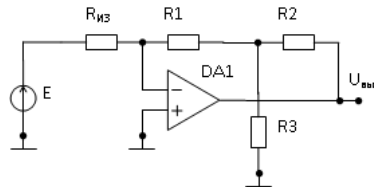


Рис.2. Преобразователь сопротивления в напряжение с Т-образной обратной связью:  $R_1, R_2, R_3$  – сопротивления Т-образной связи

В этом случае для получения устойчивого полезного сигнала потребуются резисторы с меньшими номиналами. Уравнение преобразования для данной схемы описывается выражением [1]:

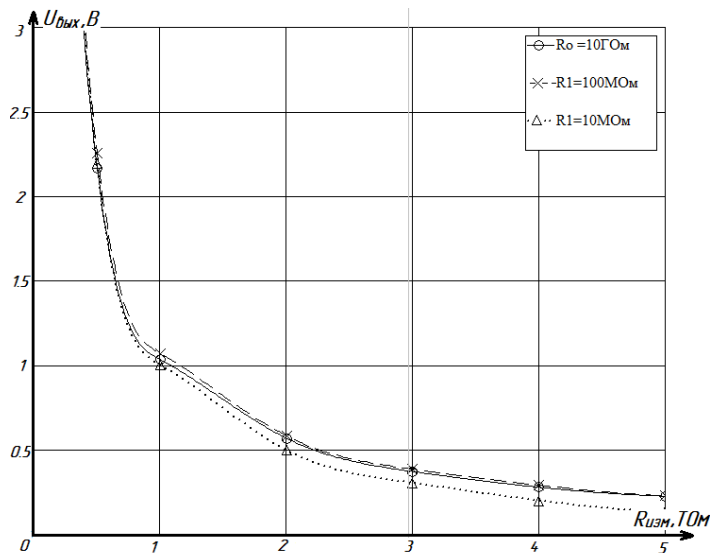
$$U_{вых} = -E \cdot \frac{R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}}{R_{изм}} = -E \frac{R_э}{R_{изм}}, \quad (2)$$

где  $R_э$  – эквивалентное сопротивление обратной связи УПТ.

Было проведено экспериментальное исследование Т-образной обратной связи, а также произведено её моделирование в программе Pspice и выяснено, при каких условиях схема работоспособна. На рис.3 представлена зависимость выходного напряжения от измеряемого сопротивления.

В ходе экспериментов было установлено, что зависимость выходного напряжения преобразователя с Т-образной обратной связью не зависит от сопротивлений  $R_2$  и  $R_3$ . В то время как, изменение номинала сопротивления  $R_1$  оказывает влияние на выходной сигнал. Так, из графика (рис.3) видно, что при  $R_1 = 100$  МОм зависимость идентична зависимости, когда у нас в цепи обратной связи используется образцовое сопротивление  $R_0 = 10$  ГОм. Но при  $R_1 = 10$  МОм выходной сигнал начинает затухать быстрее и появляется большая погрешность измерения. При еще меньших номиналах сопротивления  $R_1$ , преобразователь перестает работать.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что применение Т-образной обратной связи целесообразно и позволяет уменьшить номинал образцового сопротивления с 10 ГОм до 100 МОм, т.е. в 100 раз.



*Рис.3. Зависимость выходного напряжения от измеряемого сопротивления:  $R_0=10$  ГОм – образцовое сопротивление в цепи обратной связи УПТ;  $R_1=100$  МОм – сопротивление в первом каскаде Т-образной обратной связи ( $R_э=10$  ГОм);  $R_1=10$  МОм – сопротивление в первом каскаде Т-образной обратной связи ( $R_э=10$  ГОм)*

Список литературы:

[1] Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Изд. 2-е. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*Батрагин Андрей Викторович, Стариков Николай Николаевич\**

*Томский политехнический университет*

*Томский государственный университет\**

[batranin@tpu.ru](mailto:batranin@tpu.ru)

Коллекторами углеводородов могут выступать различные горные породы. При разработке новых месторождений структуре и свойствам коллекторов уделяется особое значение, так как это определяет целесообразность самой разработки. Основными свойствами коллекторов с точки зрения добычи нефти и газа являются пористость и проницаемость. Пористость определяет емкость породы, а проницаемость – способность к фильтрации углеводородов. Пористость коллекторов в общем случае обусловлена наличием ряда несплошностей: пор, трещин и каверн. Проницаемость, в свою очередь, определяется тем, насколько несплошности связаны между собой [1].

Наряду с традиционными методами определения пористости и проницаемости коллекторов в последнее время начинают использовать метод рентгеновской компьютерной томографии [2]. Основными привлекательными особенностями томографии являются ее неинвазивность и высокая информативность. Томография, как неразрушающий метод исследования, сохраняет образцы для дальнейших испытаний и может выступать в качестве экспресс-метода для получения предварительных результатов. Информативность метода заключается в том, что после томографии исследователь имеет информацию о внутренней объемной структуре образца. На томограмме хорошо различимы области, отличающиеся по плотности. Таким образом, несплошности будут проявляться на фоне матрицы. Кроме этого, будут хорошо заметны более плотные включения.

Однако томография имеет и свои ограничения. Стандартные керны коллекторных пород представляют собой цилиндры диаметром от 80 до 100 мм. Физическая плотность пород колеблется от 2 до 4 кг/м<sup>3</sup>. Для исследования образцов таких размеров и плотности необходимо обеспечить достаточную мощность рентгеновского излучения, которая будет складываться из двух основных факторов: средней энергии рентгеновских квантов и дозы излучения. Немаловажным фактором выступает пространственное разрешение, обеспечиваемое на полученных томографических снимках. При недостаточном разрешении несплошности могут не проявиться на снимках, и информативность резко снизится.

В данной работе проведены исследования нескольких кернов, полученных с нового месторождения. Диаметр кернов составляет 80 мм. Томографические данные были получены на двух установках, отличающихся по основным параметрам. Установка №1 представляет собой промышленный томограф, оснащенный мощным рентгеновским аппаратом с ускоряющим напряжением до 450 кВ и электрической мощностью до 500 Вт. Размер фокусного пятна аппарата – 0,4 мм. На установке №1 были проведены исследования при различном ускоряющем напряжении с целью поиска наилучшего режима для изучаемых образцов. Установка №2 представляет собой лабораторный томограф с микрофокусным рентгеновским аппаратом. Ускоряющее напряжение – до 150 кВ, электрическая мощность до 4 Вт, размер фокусного пятна – около 1 мкм.

Установка №1 обеспечивает большие дозы излучения при относительно невысоком пространственном разрешении. Установка №2, напротив, обеспечивает высокое пространственное разрешение, но при этом дозовая нагрузка ниже на два порядка в сравнении с первой. Эксперимент показал, что для выбранных образцов критичным является уровень дозовой нагрузки, а не размер фокусного пятна рентгеновского аппарата.

Выбор оптимального оборудования и режимов томографического сканирования позволяет получать дополнительную информацию о коллекторах. Томография может использоваться наряду с традиционными методами, раскрывая объемную структуру породы и расположение в ней несплошностей. Однако томографический метод имеет свои ограничения и может не выявить особенностей внутренней структуры. Решение о целесообразности использования томографии в каждом конкретном случае остается на усмотрение исследователя.

Список литературы:

[1] Чернова О. С. *Основы геологии нефти и газа*. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 372 с.

[2] Coles M. E. et al. *Computed microtomography of reservoir core samples //Proceedings of the 1994 Annual SCA Meeting*. – 1994. – С. 12-14.

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ПРИНЦИПОВ SAFT С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATLAB\***

*Абрамец Владислава Владимировна, Салчак Яна Алексеевна, Долматов Дмитрий Олегович  
Томский политехнический университет*

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

[vvabramets@yandex.ru](mailto:vvabramets@yandex.ru)

В настоящее время ультразвуковой контроль является перспективным методом неразрушающего контроля. Высокая производительность данного метода делает его привлекательным для разных отраслей, в том числе в ядерно-топливном цикле: ультразвуковая томография внедряется в производственные процессы на Горно-химическом комбинате (г. Железногорск) [1].

Ультразвуковой контроль позволяет реконструировать объекты с их внутренней геометрией и дефектами. Реконструкция возможна с применением технологии Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT). Она применяется для получения изображения внутренней структуры объекта контроля по эхосигналам, полученным при перемещении акустического преобразователя по доступной для ввода ультразвука поверхности. В целях SAFT используется не одноканальный преобразователь, а фазированная антенная решетка (ФАР). Могут использоваться разные комбинации приемников и передатчиков в решетки, также для получения более точной реконструкции можно перемещать ФАР.

Сама технология реконструкции изображения предполагает выполнение трех этапов:

- 1) Проведение контроля и получение данных;
- 2) Обработка данных;
- 3) Проведение реконструкции.

Данные, полученные в результате контроля, представляют собой массивы, описывающие амплитуду сигналов при работе *i*-го передатчика сигнала и *j*-го приемника сигнала.

Обработка результатов контроля представляет собой пространственно-временную обработку и состоит из нескольких основных стадий:

- 1) Разделение контролируемого объема на области (пиксели);
- 2) Расчет времени прохождения ультразвуковой волны от излучателя до пикселя и от пикселя до приемника;
- 3) Сопоставление времени пути передатчик-приемник и номера отсчета.

После пространственно-временной обработки можно найти среднюю амплитуду по нескольким тактам и сопоставить ее с соответствующим пикселем. Реконструкция проводится по визуализации амплитуды (чаще всего градиентом) в объеме/на плоскости области контроля.

Обработка данных контроля – трудоемкий процесс, который провести «вручную» не представляется возможным. Для вышеперечисленных этапов могут применяться различные программы с математическими функциями. Все необходимые операции возможно произвести при помощи программного обеспечения. В данной работе рассмотрена реализация предлагаемого алгоритма посредством MatLab. Данная программа позволяет также по полученным в результате обработки данным построить изображение (реконструкцию).

На основе описанного алгоритма была проведена реконструкция контролируемого образца с учетом обнаруженных дефектов.

Разработка алгоритма в пакете MatLab, реализующего реконструкцию объектов контроля, позволит выявить оптимальный способ обработки данных и порядок определения начальных условий контроля (характеристики ФАР, комбинации приемников и передатчиков).



**\*Выполнено при финансовой поддержке проекта №11.3683.2017/ПЧ**

Список литературы:

[1] D.Sednev, O.Kataeva, V.Abramets, P.Pushenko, T.Tverdokhlebova // *Ultrasonic fingerprinting by phased array transducer // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016 – Vol. 135, Article number 012039. – p. 1-6.

## **К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УСТАНОВКИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

*Кырмакова Ольга Сергеевна, Скорюпина Кристина Сергеевна, Сечин Александр Иванович*

*Томский политехнический университет*

*Сечин Александр Иванович, д.т.н.*

*E-mail [olia\\_917@mail.ru](mailto:olia_917@mail.ru)*

Генерация статического потенциала при механических взаимодействиях в материальной среде, представленной веществами с высоким удельным объемным электрическим сопротивлением ( $\rho$ ) представляет не только технологическую проблему, но и безопасности этих процессов. Эффект взаимодействия зависит от следующих факторов: трения, давления, температуры, влажности среды, вида взаимодействующих объектов и тем заметнее, чем больше поверхность контакта фаз. Исследователи установили, что интенсивная электризация возникает, если  $\rho \geq 10^6$  Ом·м. Эти положения касаются и тонкодисперсных воздушно-пылевых потоков, нередко содержащих паровую фазу органических веществ. В этих случаях проявления статической электризации создает опасность воспламенения среды, т.к. величина энергии разрядов статического электричества превышает ее минимальную энергию зажигания. Это и обуславливает актуальность рассматриваемого вопроса.

Цель работы: разработка установки по изучению электростатических полей в моделируемых полостях циклона.

В соответствующей литературе освещены способы защиты от опасных проявлений статического электричества. Реализация этих способов основана на использовании двух принципов: предотвращения накопления электростатических зарядов и предотвращения опасных его проявлений.

К известным и перспективным способам борьбы с проявлениями статической электризации является применение электростатических нейтрализаторов, устанавливаемых как внутри, так и снаружи технологического оборудования.

Взяв за основу предположение, что материальный поток, двигаясь через циклон, будет претерпевать импульсное воздействие электростатического поля в виде эффекта коронирующего разряда на расположенных внутри иглах, предложено моделировать электростатическое поле в виде электрических импульсов, была разработана установка по исследованию технологических параметров электростатического нейтрализатора.

На лабораторный автотрансформатор марки Э-378 подается напряжение 220 В. На вторичной обмотке происходит регулирование напряжения в диапазоне от 0 до 250 В, которое, в свою очередь, подается на коммутационный блок формирующий требуемую частоту импульсов, которые поступают на высоковольтный трансформатор марки FA 4720000. Выходное напряжение на вторичной обмотке повышающего трансформатора измеряется с помощью вольтметра типа Ц-96 (0-20 кВ). Измеренное напряжение соответствует потенциалу на электроде. В моделирующей ячейке из-за разницы потенциалов между электродами с коронирующими иглами и заземленным электродом возникает пульсирующее электрическое поле. Измеритель напряженности электростатического поля марки ИЭСП-7 измеряет его величину.

Узел подготовки модельной смеси состоит из вентилятора, калорифера и дозатора исследуемого вещества.

Согласно методике проведения исследований, создавалось импульсное электрическое поле с частотой от 1 до 90 импульсов в секунду и величиной напряжения до 20 кВ. Время обработки образца в поле до 30 с, затем напряжение снималось, и после проверки его отсутствия производился отбор газопаровой пробы, после этого на ячейку подавалось импульсное электрическое поле, продолжалась обработка газопарового объема, затем вновь отбор пробы.

Полученные пробы обрабатывались на хроматографе Hewlett-Packard 5898 в лаборатории «Сибтест».

В результате проведенного исследования получен эффект двойного электрического слоя, наблюдаемого на границе раздела двух сред: гетерогенного потока и заземленной стенкой, приближенной к

потоку игольчатой составляющей, что эквивалентно плоскому конденсатору, суммарный заряд  $Q$  которого (в Кл) определяли по выражению:

$$Q = \epsilon \epsilon_0 S U / d, \quad (1)$$

где  $S$  - площадь контакта,  $m^2$ ;  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между границами раздела фаз (для воздуха  $\epsilon = 1$ );  $\epsilon_0$  - диэлектрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м [7];  $U$  – величина напряжения на электроде, В;  $d$  - расстояние между иглами и заземленным электродом, м.

Определен критический размер  $d_{кр}$  электрической емкости (сопровождающийся увеличением разности потенциалов), характеризующий расстояние, когда разделенные поверхности приобретают свободный заряд, который релаксируется (рассеивается) в объеме или на заземлитель.

Установлено, что электрическое поле, создаваемое нейтрализатором, способствует снижению концентрации паров загрязнителя в модельно смеси до 30 %, что в свою очередь ведет к снижению загрязнения окружающей среды и пожароопасности циклона.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке циклонных аппаратов для взрывоопасных производств, а также мероприятий по снижению технологических выбросов в окружающую среду.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СВОЙСТВ АНГИДРИТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

<sup>1</sup>Русина Ольга Николаевна, <sup>2</sup>Замятин Николай Владимирович, <sup>2</sup>Смирнов Геннадий Васильевич, <sup>3</sup>Саденова Маржан Ануарбековна

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

<sup>3</sup>Восточно-Казахстанский государственный университет имени С. Аманжолова

Федорчук Юрий Митрофанович

[olgarusina@tpu.ru](mailto:olgarusina@tpu.ru)

В результате разложения плавикового шпата в процессе производства фторводорода образуется побочный продукт – фторангидрит, который в качестве отхода складировается на отвалах или сбрасывается в водоемы, тогда как данный продукт способен заменить технический гипс на традиционных производствах.

Учеными ТПУ предложено использовать фторангидрит в строительстве для получения ангидритового вяжущего, цементных смесей, пластификаторов, шлакоблоков, гипсовых листов и профильных строительных изделий.

Качество строительных материалов во много зависит от правильного соотношения исходных компонентов строительной смеси. Ускорить и оптимизировать процесс принятия решений по подбору необходимого компонентного состава строительной смеси и уточнению свойств получаемой строительной продукции возможно с помощью моделирования посредством искусственных нейронных сетей (ИНС).

Одним из важных свойств нейронной сети является способность к обобщению, что позволяет получить новые свойства на заранее обученной модели.

Объектом изучения при моделировании на нейронных сетях стала ангидритовая растворобетонная смесь, основными компонентами которой могут быть техногенный ангидрит (ТА-10), техногенное ангидритовое вяжущее (ТАВ-10) и добавки – вода, сульфанол и инерт.

Для формирования и обучения нейронной сети использовались экспериментальные данные зависимости соотношения исходных компонентов строительной смеси от прочностных характеристик получаемых строительных изделий.

Для моделирования использовалась ИНС с обратным распространением ошибки, число нейронов которой в скрытом слое составляет 8, а количеством эпох обучения равно 100.

Адекватность полученной нейросетевой модели вещества проверялась по известным экспериментальным данным. Проверка показала, что погрешность моделирования не превышает 1 %.



Представленное моделирование системы прогноза свойств ангидритовых растворобетонных смесей на основе нейронных сетей позволит провести прогноз с погрешностью 1% и подбирать компоненты смеси для получения строительной продукции заданных свойств.

Список литература:

- [1] *Строительная смесь и способ ее приготовления. Патент на изобретение Российской Федерации 2266877 / Федорчук Ю.М., Зыков В.М., Зыкова Н.С., Цыганкова Т.С., Томский политехнический университет. № 2004119704. Заявл. 31.06.2004, опубл. 27.12.2005. Бюл. № 36.*
- [2] *Технологическая линия производства шлакоблоков. Свидетельство на полезную модель 27307 / Федорчук Ю.М., Верещагин В.И., Дьяченко А.Н., Комаров О.Г., Лазарчук В.В., Томаш Ю.Я. № 2002107806/20. Заявл. 01.04.2002, опубл. 20.01.2003. Бюл. № 15.*
- [3] *Н.В. Замятин, С.А. Голованов. Нейросетевая система прогноза свойств тампонажных растворов/Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 2, декабрь 2010*
- [4] *А.Г. Афанасенко, А.П. Вережкин. Нейросетевое моделирование показателей качества процесса карбонизации/ Вестник УГАТУ Т.13. № 2 (35). 2009. С. 222–225.*
- [5] *Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Изд-во Физ.-мат. литературы, 2001. 224 с.*
- [6] *Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП ПараГраф, 1990. – 160 с.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Глиненко Елена Викторовна, Гаврилин Алексей Николаевич, Мойзес Борис Борисович, Мельнов Кирилл Вячеславович, Хайруллин Александр Римович*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*  
*Научный руководитель Мойзес Борис Борисович*  
*E-mail: [evg8@tpu.ru](mailto:evg8@tpu.ru)*

Одна из основных тенденций развития машиностроения – это постоянное увеличение производительности механической обработки деталей и повышение точности и качества обработки. При этом для получения высокой производительности применяется высокоскоростное резание, которое, как правило, сопровождается проявлениями резонанса в элементах технологической системы (ТС). Работа в условиях резонанса не только интенсифицирует износ инструмента, сокращает долговечность элементов системы СПИД, но и приводит к увеличению брака, а также снижению точности и качества обработки. При этом обнаружение частотных зон, в которых вероятно выявление резонансных зон в ТС, весьма затруднено без применения специального оборудования. [1]

Физическое моделирование рабочих процессов оборудования применяется для имитации в машине при испытаниях тех же физических явлений, которые возникают в условиях реальной эксплуатации оборудования (в данном случае, в процессах резания). Именно имитационные методы позволяют в лабораторных испытаниях искусственно воссоздавать условия и спектр статических и динамических нагрузок, регистрировать переменные параметры динамической системы, определять ее передаточные функции. Это позволяет оценивать надежность системы как вероятность того, что нагрузки и упругие перемещения останутся в допустимых пределах. [2–4]

Имитации при стендовых испытаниях подлежат силовые, тепловые и иные воздействия окружающей среды. Силовые воздействия в механической системе реализуются:

- прямым воспроизведением равнодействующих сил рабочих процессов
- воссозданием откликов системы, идентичных откликам на внешние воздействия при реальных рабочих процессах, то есть методом косвенного воздействия
- совмещенным (комбинированным) методом, когда часть нагрузок воспроизводится прямым способом, а часть - косвенным.

Подход, рассматриваемый в данной работе, основан на моделировании процессов в ТС при обработке заготовки (метод косвенного воздействия). Моделирование процессов позволит в дальнейшем построить спектральные и амплитудно-частотные характеристики элементов технологической системы, тем самым определить диапазоны частот с повышенным уровнем вибрации и избежать работы в них при реальной механической обработке.

Целью работы стало создание и исследование математической модели станда, имитирующего процесс механического резания. Проектируемый стенд предназначен для исследования процессов резания, имитируемых при помощи воссоздания откликов системы.

В ходе работе решены следующие задачи:

- построена расчетная схема;
- создана и исследована математическую модель в среде MatLab.

Стенд для исследования процессов обратной прецессии состоит из каркаса: четырех платформ, закрепленных на четырех неподвижных цилиндрических направляющих; вращающегося вала; магнитов; и мобильного диагностического комплекса [5–7].

Вал, закрепленный в двух опорах каркаса, приводится в движение двигателем, через ременную передачу. На свободном конце вала закреплен диск. Диск, находясь в отверстии третьей платформы и «взаимодействуя» с магнитами платформы при вращении, имитирует нагрузки, возникающие в процессе механической обработки материалов (при фрезеровании).

Для проведения математического исследования узлы станда можно условно принять соответствующими

узлам фрезерного станка (рис. 1): платформы I и II имитируют динамику фрезерной бабки (при исследовании играют роль одного объекта,  $m_2$ ), платформа III играет роль заготовки ( $m_1$ ); платформа IV представляет собой основание станда, аналогична основанию станка в исследовании ( $m_3$ ); вал, с закрепленным на нем диском представляет собой режущий инструмент ( $m_4$ ).

В результате исследования составлена расчетная схема и система дифференциальных уравнений (в данной работе не приводится).

По итогам исследования определены собственные частоты элементов системы, построены графики динамики системы для каждого тела соответственно, а также спектры скоростей каждого тела системы.

На спектрах наблюдаются всплески, соответствующие резонансным частотам каждого из тел системы, с определенным сдвигом, вызванным нелинейностью системы, изначальным заданием гармонического колебания в качестве возмущающей силы, вместо полигармонического, а также, воздействием каждого из элементов системы друг на друга.

#### Список литературы:

- [1] Болсуновский С.А., Вермель В.Д., Губанов Г.А., Качарава И.Н., Леонтьев А.Е. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14. – №4 (2). – С. 374–379.
- [2] Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 9. – С. 81–84.
- [3] Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Черкасов А.И. // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13. – С. 82–87.
- [4] Гаврилин А.Н. // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 11. – С. 23–26.
- [5] Gavrillin A.N., Moyses B.B., Cherkasov A.I., Mel'nov K.V., Zhang X. 2016. Mobile Complex for Rapid Diagnosis of the Technological System Elements. MATEC Web of Conferences. Vol. 79 01078.
- [6] Nizhegorodov A.I., Gavrillin, A.N., Moyses B.B. 2016. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 671, Issue 1, 012037.
- [7] Nizhegorodov A.I., Gavrillin, A.N., Moyses B.B. 2016. Key Engineering Materials. Vol. 685, p. 320-324.

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Герасимов Сергей Иванович, Сыч Татьяна Викторовна  
Сибирский государственный университет путей сообщения,  
Герасимов Сергей Иванович, д.т.н.  
912267@gmail.com

Технология акустической эмиссии (АЭ) широко используется в неразрушающем контроле различных технических объектов. Первичным регистратором сигналов АЭ является пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), сигналы которого в дальнейшем обрабатываются и анализируются электронной системой. В данной работе представлен анализ процессов, протекающих в ПЭП как в твердом деформируемом теле при воздействии на него фронтов различных типов волн – продольной и поперечной.

В модели преобразователя учтены следующие основные конструктивные элементы: пьезоэлектрический элемент, техническая керамика, и демпфирующий элемент (рис. 1). Нижний слой модели имел высоту 1 мм и

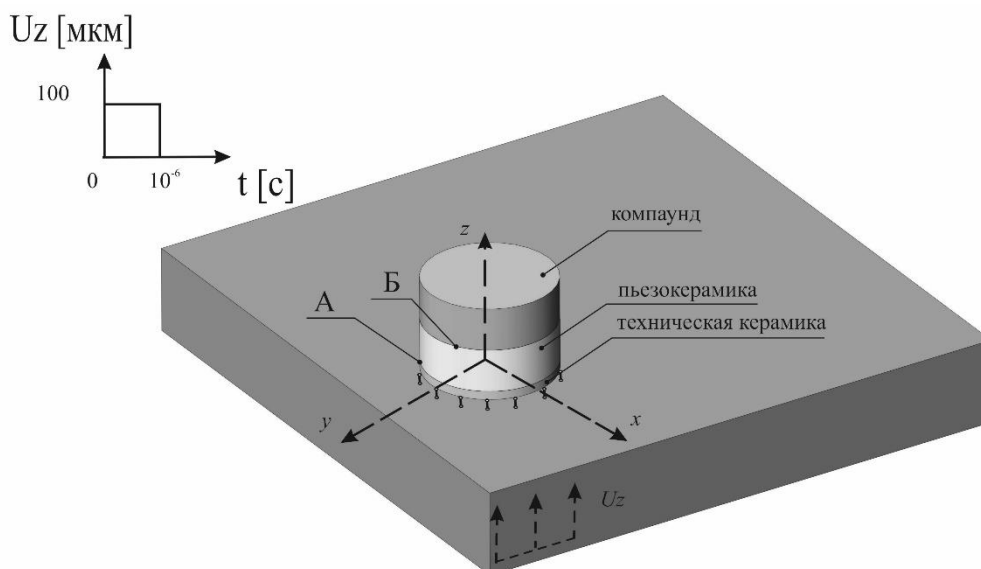


Рис.1. Модель преобразователя акустической эмиссии

свойства технической керамики, которая в реальных преобразователях защищает преобразователь от ударных воздействий и износа. Для среднего слоя модели толщиной 5 мм были заданы физико-механические свойства пьезоэлектрической керамики. Верхний слой модели имел физико-механические свойства демпфирующего элемента (компаунд). Граничные условия: по кромке грани А введен запрет перемещений по оси  $z$ , в двух узлах кромки обеспечен запрет перемещений по оси  $x$  и поворотов относительно осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

В каждом узле грани А приложено перемещение по оси  $z$ , по модулю равное 100 мкм в форме импульса длительностью  $1 \cdot 10^{-6}$  с (рис. 1). Это воздействие моделирует приход на пьезопластину продольной акустической волны. Перемещение в каждом узле приложено по нормали к поверхности пластины. Расчет проводился в программном комплексе COSMOS/M в модуле нелинейного динамического расчета [1]. В рамках задачи анализировалась компонента  $U_z$  перемещения узлов, принадлежащих грани Б, а также разность перемещений граней А и Б. Фактически, разность этих перемещений напрямую влияет на величину выходного напряжения преобразователя.

В результате проведения численных экспериментов показано, что приход на чувствительный элемент преобразователя продольной волны приводит к максимальным суммарным перемещениям верхней грани Б и, соответственно, к стабильному выходному сигналу на пьезоэлектрической пластине. В то же время приход поперечной волны на чувствительный элемент преобразователя приводит к такой форме (моду) колебаний, при которой суммарные перемещения верхней грани практически равны нулю. Это в свою очередь приводит к малому выходному сигналу. Анализируются особенности эффектов отражения и прохождения волн в ПЭП в разные моменты времени.

По результатам работы установлены следующие рекомендации: акустико-эмиссионные преобразователи следует устанавливать в местах объекта контроля, в которых нормальная компонента перемещений достигает максимальных значений.

Список публикаций:

[1] S Gerasimov, T Sych, V Kuleshov // Application of Finite Elements Method for Improvement of Acoustic Emission Testing. Journal of Physics: Conference Series. 2016. V.671. 012017.

## **ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ**

*Иванова Евгения Игоревна*

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

*Научный руководитель: Федоров Алексей Владимирович*

*E-mail: ZhmenkaX@mail.ru*

Ракетно-космическая промышленность является на сегодняшний день одним из наиболее перспективных направлений развития научно-технической сферы деятельности и экономики страны. Для создания изделий ракетно-космической техники (РКТ) применяется множество разнообразных материалов, от металлов до различных композитов и полимеров. Как правило, физико-механические свойства материалов определяются в результате разрушающих испытаний на твердомерах, разрывных машинах и других специализированных устройствах. Обычно такие методы требуют использования образцов испытуемых материалов, что вносит неточности в итоговую оценку, так как свойства материала образца и материала изделия не будут идентичны. Эффективным безобразцовым методом определения физико-механических свойств материалов является метод динамического индентирования (ДИ). Практическая применимость и экономическая эффективность метода ДИ в условиях постоянно меняющейся номенклатуры используемых в РКТ материалов обуславливается тем, что он является методом неразрушающего контроля и позволяет производить оценку значений физико-механических свойств в широких диапазонах.

Исходя из вышесказанного, задача повышения точности и чувствительности метода ДИ является весьма актуальной.

Целью данной работы является определение кинематических характеристик движения индентора в процессе работы на основе анализа его стереоскопических изображений, полученных скоростными видеокамерами.

В основе метода ДИ лежит принцип регистрации скорости движения индентора в процессе его ударного локального контактного взаимодействия с испытуемым материалом. На сегодняшний день в датчиках ДИ скорость индентора регистрируется с помощью магнитоиндукционного первичного преобразователя, состоящего из катушки индуктивности и постоянного магнита, жестко соединенного с индентором. При пересечении магнитным полем постоянного магнита витков катушки индуктивности в последней наводится ЭДС индукции, которая пропорциональна скорости движения индентора. Регистрируемые значения ЭДС представляют собой исходную информацию для расчета контактного усилия и глубины внедрения индентора, на основании которых производится расчет модуля упругости, твердости и других физико-механических характеристик материала. Одной из особенностей применения магнитоиндукционных преобразователей является высокая степень восприимчивости к помехам. Несмотря на большое разнообразие методов фильтрации и обработки первичной информации, позволяющих исключать влияние паразитных сигналов и шумов и выделять информативную составляющую сигнала, сложная цепочка пересчетов одних величин через другие приводит к накоплению суммарной погрешности, что влияет на точность оценки физико-механических характеристик. Повышение точности и чувствительности метода ДИ возможно достичь за счет применения оптического контроля, который позволит получить наглядную и исчерпывающую информацию о скорости движения индентора.

В настоящей работе для моделирования процесса ДИ использован закаленный шарик, который в процессе свободного падения ударяется о плоскую поверхность образца. В работе описана разработанная экспериментальная установка, методы ее калибровки и обработки регистрируемых изображений, а также представлены результаты вычисления кинематических параметров движения индентора.

## **СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Иванова Евгения Игоревна*

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

*Научный руководитель: Федоров Алексей Владимирович*

На сегодняшний день существует множество технологических средств для решения задачи динамической балансировки роторного оборудования, но принимая во внимание разнообразие роторов в зависимости от их конструкции и назначения, универсального способа определения и приведения к нулю динамических характеристик вращательного оборудования не существует. Одним из наиболее эффективных видов неразрушающего контроля, применяемых для технической диагностики подвижных изделий, является визуально-измерительный, в частности, стереоскопический контроль. Его отличают бесконтактность, широкий выбор элементной базы, наличие результатов теоретических и экспериментальных исследований его метрологических возможностей. В настоящей работе рассмотрена возможность использования скоростной стереоскопической системы регистрации изображений и их цифровой обработки при решении задачи измерения динамических характеристик роторного оборудования с последующей компенсацией дисбаланса.

Целью работы является исследование быстропротекающих процессов, в частности, измерение динамических характеристик вращательного движения.

Для достижения цели разработан лабораторный стенд для моделирования вращательного движения, реализована оптико-электронная система регистрации стереоизображений, реализована статистически оптимальная и высокопроизводительная система анализа последовательности изображений и обработки информации, а так же расчета динамических характеристик вращательного движения. В работе приведены результаты многочисленных экспериментов по оценке кинематических характеристик и расчетов динамических характеристик роторного оборудования. Результаты демонстрируют эффективность скоростной стереоскопической съемки для решения данной задачи.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОТЕРМОКАПИЛЛЯРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗМЕРОВ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НЕТЕПЛОПРОВОДНОМ МАТЕРИАЛЕ

Зыков А.Ю.,<sup>1</sup> Иванова Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра физики, методов контроля и диагностики, ФГБОУ ВО Тюменский Индустриальный Университет, Володарского 38, Тюмень, 625000, [aleksandr.zykov@inbox.ru](mailto:aleksandr.zykov@inbox.ru)

<sup>2</sup> Лаборатория фотоники и микрофлюидики, ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет, Володарского 6, Тюмень, 625003, [n.ivanova@utmn.ru](mailto:n.ivanova@utmn.ru)

Фототермокапиллярный (ФТК) эффект, индуцируемый пучком лазера в тонком слое прозрачной жидкости на твердой подложке, стал основой нового направления неразрушающего контроля - лазерной диагностики жидкостей и твердых материалов [1]. На основе ФТК эффекта разработаны оптические методы обнаружения пустот и инородных включений в твердых образцах под лакокрасочным покрытием [2 – 4]. В данной работе ФТК эффект использован для диагностики размеров подповерхностных инородных, теплопроводных включений в нетеплопроводной подложке. Модельной системой служил эбонит с вмонтированными заподлицо вертикальными и горизонтальными медными стержнями равного диаметра 2.2 мм. Максимальная длина вертикального стержня 14 мм, горизонтального – 52 мм. Поверхность подложки покрыта цапонлаком, поглощающим излучение пучка накачки (7мВт, диаметр пучка 0.5 мм), а сверху нанесен тонкий слой силиконового масла (< 1 мм), в котором возбуждался ФТК эффект. Используя маломощный зондирующий пучок лазера, измеряли диаметр ( $D_{st}$ ) стационарного ФТК сигнала в зависимости от  $L$  стержня. Установлено, что для вертикальных стержней метод имеет высокую чувствительность  $\Delta D_{st}/\Delta L = 112$  для  $L \leq 3.6$  мм, а для горизонтальных - максимальная чувствительность  $\Delta D_{st}/\Delta L = 64$  достигается для  $L \leq 5$  мм. Дальнейшее увеличение длины стержня не приводило к заметному изменению  $D_{st}$ , что очевидно связано с достижением предельной длины характерной для термически полубесконечного стержня.

Список литературы:

1. Tarasov O. A. *Optics and Spectroscopy*, 99 (6), 968–974, 2005.
2. Bezuglyi B. A., Zykov A. Yu., Semenov S. V. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 44 (6), 391–394, 2008.
3. Bezuglyi B. A., Zykov A. Yu., Semenov S. V. *Tech. Phys. Lett.*, 34 (9), 743–746, 2008.
4. Bezuglyi B. A., Zykov A. Yu. *Tech. Phys. Lett.* 35 (7), 650–652, 2009.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОРИСТОСТИ\*

*Седанова Елизавета Павловна, Седнев Дмитрий Андреевич, Салчак Яна Алексеевна  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[lizasedanova@mail.ru](mailto:lizasedanova@mail.ru)*

Хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) является неотъемлемым этапом замкнутого ядерно-топливного цикла. Этап «сухого» хранения ОЯТ осуществляется с использованием герметичных пеналов, представляющих собой сварные цилиндрические конструкции [1]. В ходе производства и эксплуатации пеналов происходят изменения в структуре материала, вызывающие появление механических напряжений, которые при определенной концентрации могут приводить к значительному снижению прочности сварных швов. В связи с этим важным становится вопрос диагностики сварного соединения неразрушающими методами контроля, позволяющими сохранить работоспособность изделия. Для проведения инспекции материалов атомной отрасли допустимыми методами являются рентгенография и ультразвуковая томография. Метод ультразвуковой томографии позволяет реконструировать объект с достаточной точностью, а также снижает радиационное воздействие на персонал.

Однако даже в случае, если дефекты были обнаружены и признаны допустимыми, значительные механические нагрузки, связанные с процедурой постановки пенала на хранение или с проведением мониторинга состояния, могут вызвать разрушение сварного соединения. Таким образом, разработка методики количественной оценки дефектов с целью расчета механических напряжений в сварных соединениях пенала для хранения ОЯТ является актуальной задачей.

В рамках данной работы было рассмотрено влияние различных характерных дефектов сварного шва на его прочность. На основании проведенного аналитического обзора был разработан способ расчета критических напряжений, возникающих в пеналах для хранения ОЯТ при наличии дефектов. Способ основывается на использовании данных ультразвуковой томографии, на основе которых производится последующий расчёт механических напряжений, создаваемых дефектом в сварном соединении.

Разработанный способ предназначен для образцов, выполненных из стали марки 12Х18Н10Т. Сварное соединение выполняется по технологии аргонодуговой сварки неплавящимся электродом. В качестве исходных данных для выполнения количественной оценки дефектов сварных соединений были использованы трехмерные вексельные данные, полученные в результате томографической реконструкции сварного шва контролируемого объекта по методу Digitally Focused Array.

Результат эксперимента позволил обнаружить в образце несплошность типа «поры», с учетом чего была проведена апробация способа расчета. По результатам расчёта по формуле (1) механическое напряжение, создаваемое порой диаметром 0,4 мм, составляет 177 МПа. На рисунке 1 продемонстрирована зависимость напряжения, создаваемого порой в сварном соединении, от величины доли дефекта от ширины шва.

$$\sigma = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{n}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{пред}}$  – предельное напряжение, вызывающее разрушение элемента или значительные остаточные деформации;

$n$  – нормативный запас прочности.

Предельное напряжение было рассчитано по формуле:

$$\sigma_{\text{пред}} = \begin{cases} \sigma_{\text{В}}^{(\text{ОМ})} \text{ при } \theta \leq \frac{\sigma_{\text{В}}^{(\text{МШ})}}{\sigma_{\text{В}}^{(\text{ОМ})}} - 1, \\ \sigma_{\text{Т}}^{(\text{МШ})}(1 - \theta) + (\sigma_{\text{В}}^{(\text{МШ})} - \sigma_{\text{Т}}^{(\text{МШ})})(1 - \theta)(1 + 0,65\theta) \text{ при } \theta > \frac{\sigma_{\text{В}}^{(\text{МШ})}}{\sigma_{\text{В}}^{(\text{ОМ})}} - 1, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\theta=1/S$  – относительный размер дефекта, то есть размер дефекта  $l$ , отнесенный к толщине шва  $S$ .

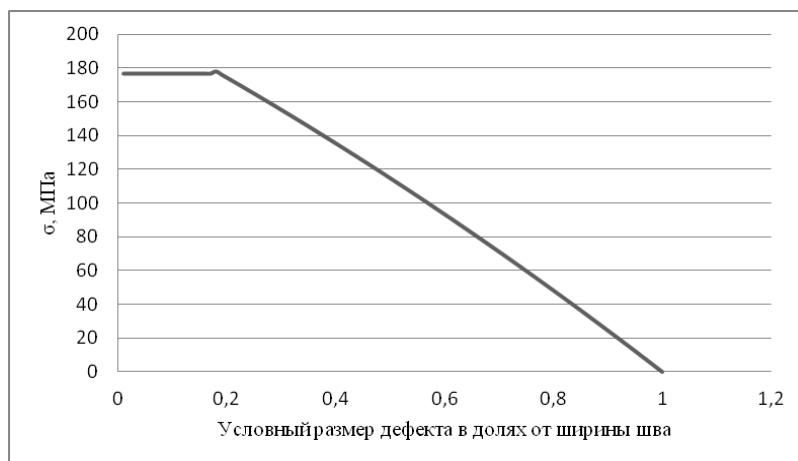


Рис. 1. Зависимость предельного напряжения от условного размера дефекта в долях от ширины шва

\*Выполнено при финансовой поддержке проекта №11.3683.2017/ПЧ

Список литературы:

[1] Калинин В.И., Анисимов О.П., Размашкин Н.В., Тихонов Н.С. // *Хранение ОЯТ – обязательное условие развития атомной энергетики. 2006. Материалы конференции «Стратегия безопасности использования атомной энергии».* Москва. С.286.

## ПОЛНАЯ ОЦЕНКА СВАРОЧНЫХ ОБЪЕМНЫХ ДЕФЕКТОВ В ИНТРАКОРОНАРНОМ ПРОВОДНИКЕ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*Хегай Артем Григорьевич, Батранин Андрей Викторович*

*Томский политехнический университет*

*Батранин Андрей Викторович,*

*aluminaze@gmail.com*

Объектом исследования является медицинское изделие – интракоронарный проводник, который является частью системы доставки. Данные системы широко применяются в хирургических операциях по стентированию кровеносных сосудов [1]. Проводник выполнен из никелида титана. Конструкция изделия представляет собой проволоку, сверху покрытую спиральной оплеткой с нанесенным снаружи покрытием. Диаметр интракоронарного проводника не превышает 1 мм.

В работе была применена рентгеновская компьютерная томография высокого разрешения. Данный метод хорошо подходит для количественного исследования внутренней структуры изделий и материалов. Целью работы была полная оценка внутренних дефектов, образующихся в процессе сварки внутренней проволоки и внешней оплетки со стороны жесткого конца интракоронарного проводника.

Исследования проводились на рентгеновском микрофотографе «Орел-МТ» [2]. Источником рентгеновского излучения служит рентгеновская микрофокусная трубка XWT 160-TC компании X-RAY WorX GmbH (Германия), для регистрации ослабленного рентгеновского излучения используется матричный детектор PaxScan-2520V компании Varian Medical Systems (США).

Были выбраны следующие параметры томографического сканирования:

- расстояние от источника до объекта – 17 мм;
- расстояние от источника до детектора – 500 мм;
- размер вокселя – 4,3 мкм;
- ускоряющее напряжение источника – 100 кВ;
- анодный ток трубки – 40 мкА;
- шаг вращения объекта – 0,3 град.;
- число проекций – 1200.

С помощью программного обеспечения Bruker micro-CT NRecon реконструировали поперечные сечения исследуемого объекта по проекционным снимкам.



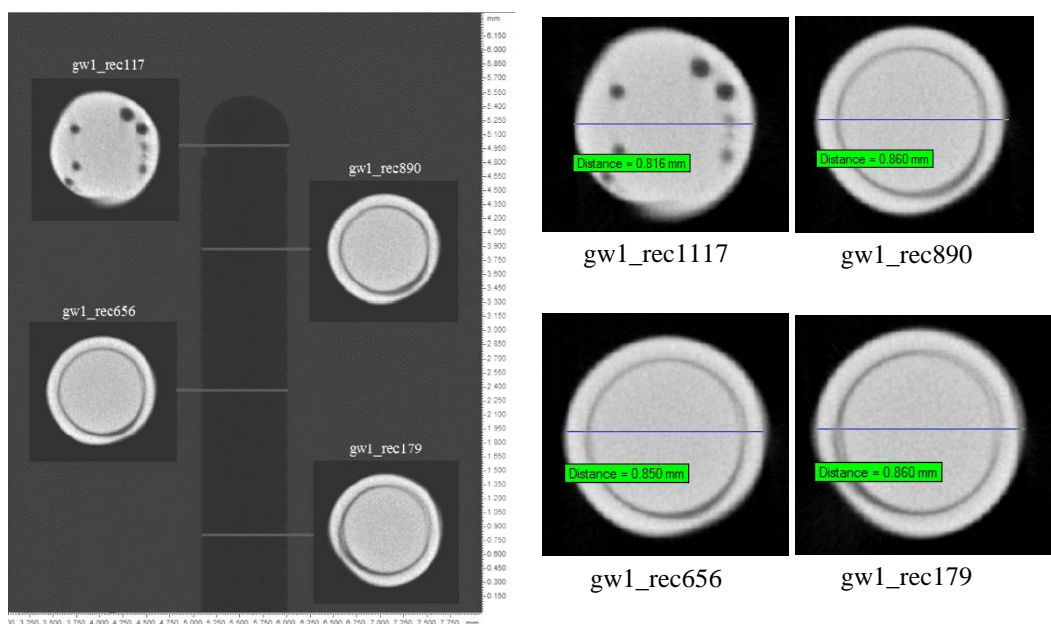


Рис. 1. Проекция поперечных сечений интракоронарного проводника на разных уровнях по высоте.

Томограммы на рис. 1 показывают, что имеется зазор между внутренней проволокой и внешней оплеткой. Также хорошо просматриваются поры в области сварки внутренней и наружной частей.

Томограммы подвергались сегментации (бинаризации) для последующего количественного анализа числа и размера пор в сварном соединении. Было использовано программное обеспечение CT-Analyser (CTAn). Дополнительно была получена модель изделия, в которой внутренняя и внешняя части разделены, а поры в сварном соединении представлены самостоятельным объектом.



Рис. 2. Модель интракоронарного проводника.

Рентгеновская микротомография позволяет качественно и количественно проводить исследования медицинских изделий небольших размеров и сложной формы. К тому же, создание цифровых моделей реальных объектов по томографическим данным открывает широкие возможности по исследованию поведения объектов, если использовать современные методы физического моделирования методом конечных элементов.

Список литературы:

- [1] Карпова Ю. Стентирование кровеносных сосудов [Электронный ресурс] // Стентирование: что это такое?: электр. инт. журн. URL: <https://doctor-cardiologist.ru/stentirovanie-cto-eto-takoe>
- [2] Корпоративный портал ТПУ [Электронный ресурс] // Рентгеновский микротомограф "Орел-МТ": Национальный исследовательский ТПУ 2017. URL: [http://portal.tpu.ru:7777/departments/laboratory/rkn/products/orel\\_tomo](http://portal.tpu.ru:7777/departments/laboratory/rkn/products/orel_tomo)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Якунин Алексей Григорьевич, Хуссейн Шиабат Аль Хамд Могахед Хуссейн  
ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
Якунин Алексей Григорьевич  
[yakunin@agtu.secnf.ru](mailto:yakunin@agtu.secnf.ru)

В последнее время непрерывный оперативный контроль с возможностью автоматического выявления нештатных ситуаций получает все большую востребованность при решении многих задач технического и природного мониторинга [1,2], однако, существующие решения по выявлению таких ситуаций имеют очень ограниченные возможности [3,4]. Кроме того, с удешевлением устройств первичного сбора данных резко возрос объем измерительной информации, что привело к проблеме ее своевременной потоковой обработки, передачи, хранения и обеспечения к ней оперативного доступа. В этой связи становится актуальной разработка программно-технических средств и алгоритмических решений, способных эффективно выявлять аномалии и нарушения закономерностей в контролируемых процессах с учетом их особенностей.

Как одним из возможных вариантов уменьшения вычислительной сложности алгоритмов выявления нештатных ситуаций, проявляющихся в виде нарушений регулярности протекания контролируемых процессов, является применение методов средних скоростей, представляющих собой модификации и дальнейшее развитие статистических методов обнаружения аномалий и идентификации [5-9].

Их суть основана на сравнении средних скоростей на смежных, равно протяженных и содержащих по  $n$  отсчетов временных интервалах, на которые разбиваются результаты измерений информативного сигнала  $x(t)$ . Для реализации метода сначала для каждого из этих интервалов вычисляется среднее значение контролируемой величины:

$$x_k = \frac{1}{n} \sum_{i=(k-1)n+1}^{kn} x(t_i); \quad (1)$$

Затем по этим значениям по двухточечной схеме находится усредненная производная сигнала  $x(t)$ , то есть фактически средняя скорость изменения контролируемого параметра по времени:

$$v_k = (x_k - x_{k-1})/n. \quad (2)$$

Далее по найденным значениям  $v_k$  вычисляется средняя разность  $v_{av}$  для  $N$  интервалах, предшествующих текущему интервалу:

$$v_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k |v_i|. \quad (3)$$

На следующем шаге находится отклонение текущей средней скорости от ее среднего значения:

$$\Delta v_k = v_k - v_{av} \cdot \text{sign}(v_k) \quad (4)$$

Порог допустимых отклонений значения скорости  $\delta$  вычисляется как модифицированное стандартное отклонение скоростей на отдельных интервалах:

$$\delta = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=k-N+1}^k \Delta v_k^2} \quad (2)$$

В зависимости от соотношения значения порога допустимых отклонений и значения отклонения текущей скорости изменения сигнала от ее среднего значения выполняется классификация анализируемой временной зоны на нормальную, критическую зоны или зону перепада:

$$|\Delta v_k| < \delta - \text{нормальная зона}; \quad |\Delta v_k| < k_\varepsilon \delta - \text{критическая зона}; \quad |\Delta v_k| < k_\varepsilon \delta - \text{аномальный перепад}, \quad (2)$$

где  $k_\varepsilon$  – коэффициент для задания порога допустимых отклонений. Для его выбора был проведен вычислительный эксперимент, показавший, что при  $k_\varepsilon=2$  минимизируется вероятность суммарной ошибки идентификации, складывающейся из ошибок 1 и 2 рода, что иллюстрируется рисунком 1а.

Для оценки влияния величины шума на вероятность появления ошибок идентификации перепада как первого, так и второго рода и для его выбора оптимального значений был проведен вычислительный эксперимент  $k_\varepsilon$  был проведен вычислительный эксперимент, показавший, что при  $k_\varepsilon=2$  минимизируется вероятность суммарной ошибки идентификации, что иллюстрируется рисунком 1а. На рисунке 1 б для сравнения показаны зависимости ошибки обнаружения перепадов от величины шума для байесовского метода, часто применяемого для аналогичных целей [10]. Из него видно, что байесовский метод более чувствителен к шуму, чем предлагаемый метод средних скоростей.

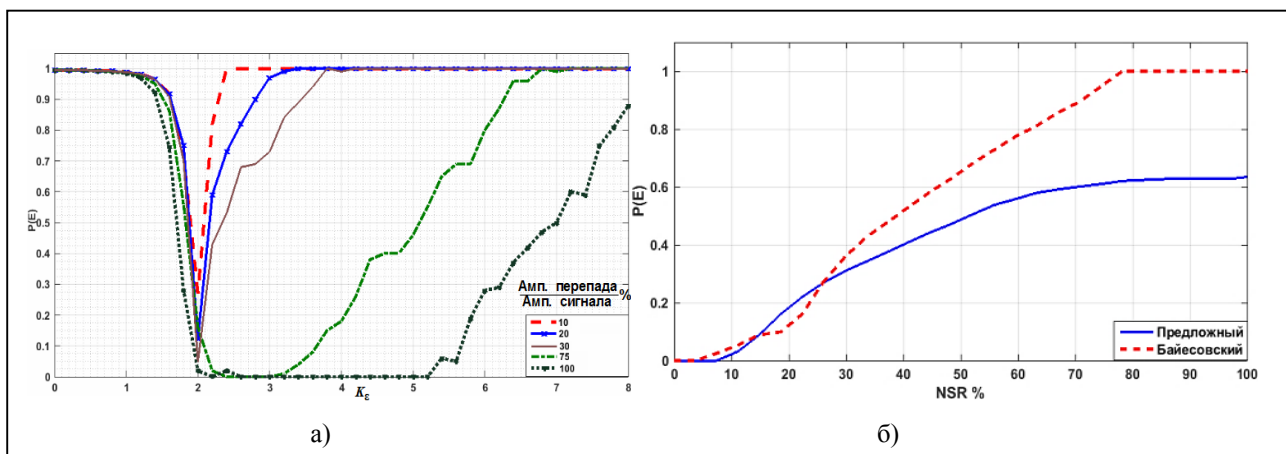


Рис.1. Зависимости вероятности ошибки идентификации перепада от  $k_c$  для разных значений амплитуд перепадов (а) и вероятности ошибки от отношения шума к сигналу (NSR) для предложенного и байесовского методов (б)

#### Список литературы:

- [1] Brock F. V. *Meteorological Measurement Systems* / F. V. Brock, J. R. Scott // Oxford University Press, 2001. 304 p.
- [2] Хуссейн Х.М. Проектирование и внедрение систем для климатического и технологического мониторинга / Х. М. Хуссейн, Р. В. Куниц, Л. И. Сучкова, А. Г. Якунин // Известия АГУ. 2013. №. 1/1/2013. С. 210–214.
- [3] Xiuyao S. *Conditional anomaly detection* / S. Xiuyao, W. Mingxi, C. Jermaine, S. Ranka // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2007. Vol. 19. No.5. pp. 631–644.
- [4] Chatzigiannakis V. *Hierarchical anomaly detection in distributed large-scale sensor networks* / V. Chatzigiannakis, S. Papavassiliou, M. Grammatikou, B. Maglaris // Proceedings - International Symposium on Computers and Communications. 2006. pp. 761–766.
- [5] Матвеев В. И. // ЖЭТФ. 2003. Т. 124. № 5(11). С. 1023.
- [6] Есеев М. К., Матвеев В. И. // Физический вестник Поморского университета. Архангельск: Изд-во Поморского ун-та. 2006. № 4. С.35.
- [7] Scott A.J. *A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance* / A. J. Scott, M. Knott // Biometrics. 1974. Vol. 30. No.3. pp. 507–512.
- [8] Fryzlewicz P. *Wild binary segmentation for multiple change-point detection* / P. Fryzlewicz // Annals of Statistics. 2014. Vol. 42. No. 6. pp. 2243–2281.
- [9] Исхаков С.Ю. *Методическое обеспечение процесса выявления инцидентов в работе комплексных сетей систем безопасности* / С. Ю. Исхаков 2015.
- [10] Ruggieri E. *A Bayesian approach to detecting change points in climatic records* / E. Ruggieri // International Journal of Climatology. 2013. Vol. 33. No.2. pp. 520–528.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ

Стариков Егор Сергеевич, Сучкова Лариса Иннокентьевна  
 Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова  
 Сучкова Лариса Иннокентьевна, д.т.н.

[yegor.inc@live.ru](mailto:yegor.inc@live.ru)

В связи с ростом промышленного производства и использования природных ресурсов предъявляются дополнительные требования к уровню безопасности техногенных систем. Часть промышленных потенциально-опасных объектов не соответствует современным требованиям промышленной безопасности и устойчивости при возникновении чрезвычайных ситуаций, так как создана по устаревшим технологиям. Как правило, проектирование и строительство промышленных объектов производится в непосредственной близости от потребителей, по этой причине в крупных городах появляется все больше потенциально-опасных объектов [1,2]. В этой связи особую актуальность приобретает вопрос оценки безопасности природных и техногенных потенциально-опасных объектов, а Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» устанавливает требования о необходимости анализа риска опасных производственных объектов.

Для оперативного контроля безопасности техногенных объектов предлагается использовать интеллектуальную систему, основанную на гибридных паттернах поведения и сочетающую в себе

представления и алгоритмы, характерные для различных методов оценки безопасности и анализа техногенных объектов.

В основе гибридного подхода лежит использование закономерностей в группе временных рядов, описанных с применением матричных и/или лингвистических нечетких паттернов [3,4]. Основой временных рядов служат данные измерений, вычисленные или полученные с датчиков. Матричные паттерны интегрируют связанную измерительную информацию, они удобны для идентификации и прогнозирования состояния техногенного объекта. Лингвистические паттерны служат для поиска закономерностей в данных путем экспертного описания согласно правилам темпоральной грамматики, оперирующей с терминами лингвистических переменных. Общая задача интеллектуальной системы оценки безопасности заключается в идентификации и прогнозировании состояния объекта, включая в первую очередь нештатные ситуации и их предвестники.

Рассмотрим архитектуру и принципы построения разработанной интеллектуальной системы оценки безопасности техногенных объектов более подробно.

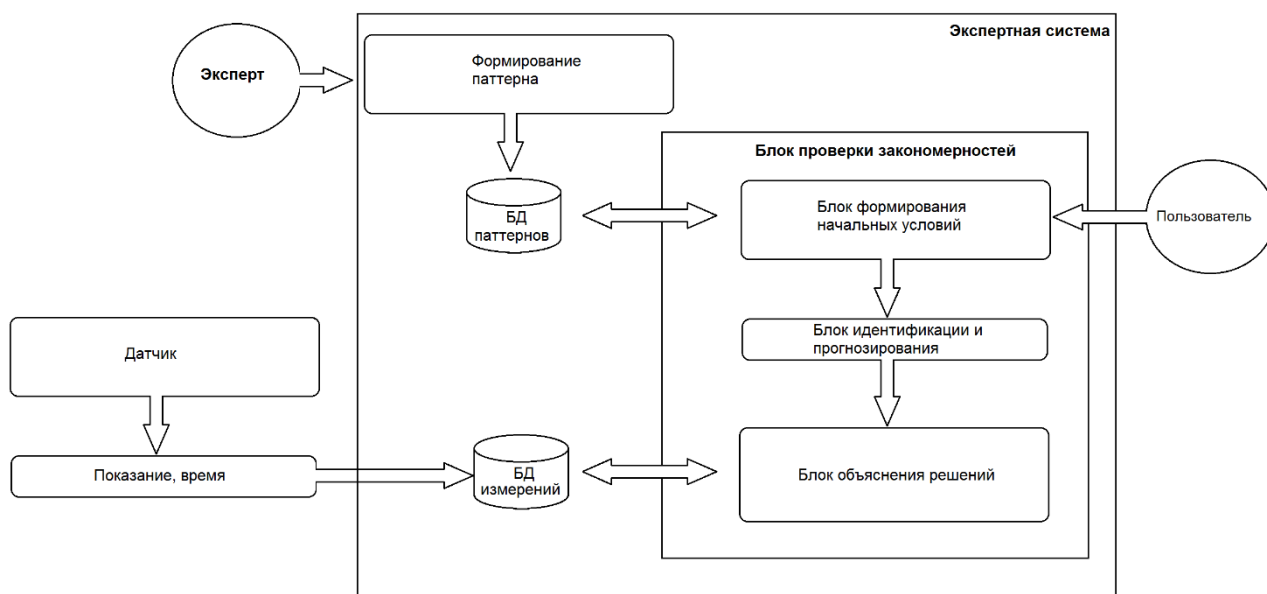


Рис.1. Обобщенная структура интеллектуальной системы

В основе интеллектуальной системы оценки безопасности техногенного объекта лежит разработанная экспертная система, обобщенная структура которой приведена на рис. 1.

Основные принципы построения интеллектуальной системы:

1) Первичными данными являются результаты измерений, имеющие темпоральный аспект и хранящиеся в БД измерений.

2) Матричные нечеткие паттерны, используемые для принятия решений, хранятся в БД паттернов.

3) БД матричных паттернов пополняется путем проверки на архивных данных лингвистических гибридных паттернов, представляющих собой описанные на формальном языке экспертные знания и предположения о динамике контролируемых параметров процессов.

4) Проверка достоверности лингвистического паттерна выполняется посредством блока проведения экспериментов.

5) Блок проведения экспериментов состоит из трех частей: блока формирования начальных условий, блока идентификации и прогнозирования и блока объяснения решений. Для проверки предположений используется блок формирования начальных условий, где определяются временные границы выборки данных и выполняется подбор паттерна, который будет применяться. На этапе идентификации и прогнозирования происходит формирование групп временных рядов по правилам паттерна, которые в дальнейшем преобразуются для сопоставления с проверочной матрицей. В результате анализа сравнения определяется состояние объекта наблюдения и строится прогноз. В блоке объяснения решений отображаются результаты идентификации и прогнозирования.

Предложенные принципы построения интеллектуальной системы оценки безопасности позволяют использовать экспертный опыт при описании шаблонов поведения и применить их для принятия решений при оперативном контроле состояний техногенных объектов. Данные принципы обеспечивают независимость данных паттерна от программного обеспечения самой системы оперативного контроля, удобство выявления

новых закономерностей в данных измерений и автоматизацию формирования матричных нечетких паттернов принятия решений.

Список литературы:

- [1] Сенюшкин Н. С., Ахтямов Р. Г., Доценко В. А., Харитонов В. Ф. // *Оценка состояния потенциально опасных объектов. Молодой ученый.* — 2011. — №11. Т.1. — С. 59-61.
- [2] Ветошкин А. Г., Таранцева К. Р. // *Техногенный риск и безопасность.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. С. 171.
- [3] Сучкова Л. И. // *Применение гибридно-лингвистических паттернов в системе мониторинга.* – *Ползуновский вестник* 2014, № 2.
- [4] Сучкова Л. И., Чумаков И. А., Якунин А. Г. // *Идентификация воздействий в приборах охраны предупреждающего типа [Текст]: монография / Л.И. Сучкова, – Deutschland, Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing. – 2013. -181 с.*

## **ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПОРТАЛ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Сотников Игорь Юрьевич, Завозкин Сергей Юрьевич  
Кемеровский государственный университет  
Гудов Александр Михайлович, д. т. н.  
[mxtfonlife@mail.ru](mailto:mxtfonlife@mail.ru)*

Техногенная среда, созданная человеком, несет в себе множество потенциальных и реальных угроз для окружающей среды и для самих людей. Для формирования системных представлений необходимо изучение роли и последствий воздействия техногенных факторов на среду обитания и человека. Примером техногенных объектов, оказывающих значительное негативное влияние на окружающую среду, являются предприятия угольной промышленности. Развитие предприятий угольной промышленности связано с увеличением водопотребления, как для добычи, так и для последующего обогащения угля. Соответственно увеличивается количество сточных вод на предприятиях угольной промышленности, которые являются серьезным источником загрязнения водных ресурсов. Многие из входящих в состав сточных вод компоненты способны накапливаться в водоемах, аккумулироваться водными организмами, вызывая необратимые последствия в водной среде. В частности, внедрение на шахтах высокомеханизированных комплексов со сложной сетью гидросистем привело к большому расходу нефтепродуктов при ведении горных работ, часть из которых попадает в шахтную воду и дополнительно загрязняет ее. Поэтому важную роль играет развитие методов очистки сточных вод. В частности, на данный момент одним из наиболее эффективных с точки зрения затрат, является метод очистки сточных вод в отработанных горных выработках затопленных угольных шахт.

В связи с этим важными задачами являются: оценка текущего уровня техногенной безопасности объекта, прогнозирование возникновения угроз и оценка эффективности способов их устранения. Для решения представленных задач, как правило, используется специализированное программное и аппаратное обеспечение. Зачастую, приходится иметь дело сразу с целым рядом программ, разными способами взаимодействия с ними, форматами входных и выходных данных. Не всегда такое программное обеспечение является открытым и общедоступным. Коммерческие продукты обладают высокой стоимостью лицензии на его использование. Кроме того, проведение вычислительных экспериментов требовательно к аппаратным вычислительным возможностям, вследствие чего появляется необходимость использования высокопроизводительных вычислительных ресурсов и технологий.

Снижение затрат на проведения вычислительных экспериментов может быть достигнуто за счет использования модели облачных вычислений, при которой оплата производится только за аренду программного обеспечения и используемые вычислительные ресурсы. В соответствии с данной моделью в Кемеровском государственном университете разработан Инженерный вычислительный портал, предоставляющий набор сервисов для решения наукоемких задач, в том числе связанных с техногенной безопасностью.

В основу портала положена сервис-ориентированная архитектура (COA), используемая для построения распределенных систем, которые предоставляют свои функциональные возможности в виде сервисов для других систем или других сервисов. COA упрощает интеграцию новых компонентов для расширения возможностей портала. В качестве реализации COA используется технология Web-сервисов, базирующаяся на таких стандартах как WSDL – используется для описания Web-сервиса, SOAP – представляет формат сообщения для взаимодействия с Web-сервисом, и BPEL – используется для описания бизнес-процессов



(оркестровки). Бизнес-процесс представляет собой высокоуровневый Web-сервис, комбинирующий возможности уже существующих.

Web-сервисы могут быть разработаны с учетом возможности их повторного использования. Например, один Web-сервис отвечает за некоторые вычисления, второй – за визуализацию данных, третий – за конвертацию результатов первого сервиса, для использования вторым. С помощью оркестровки, можно выстраивать цепочку из взаимодействия с этими Web-сервисами, и тем самым описать решение требуемой задачи. Бизнес-процессы также могут быть использованы для накладывания ограничений на возможности Web-сервиса, предоставляя пользователю только то, что ему действительно нужно, тем самым сэкономив его затраты.

На данный момент реализованы следующие основные системы и сервисы портала:

- Сервис для решения задачи о затоплении шахты, использующий многопараметрическую математическую модель, которая позволяет исследовать процессы течения и распространения, оседания нерастворенных примесей, с возможностью изменения формы выработки из-за накопления осадка. Сервис предоставляет функции для проведения численных экспериментов с возможными экологическими последствиями использования затопленных подземных горных выработок как очистные сооружения, а также для визуализации получаемых результатов;

- Сервис для управления хранилищем файлов пользователя. Результаты вычислений, выполнения пользовательских программ и программные проекты хранятся в выделяемых для каждого пользователя хранилищах;

- Сервис для удаленного взаимодействия с высокопроизводительными вычислительными ресурсами;

- Система «Onlide» для разработки собственных последовательных и параллельных программ. Основными функциями системы являются: создание многофайловых программных проектов; загрузка имеющегося исходного кода и скачивание созданного с помощью системы; компиляция и запуск на предлагаемых вычислительных ресурсах, в т.ч. высокопроизводительных; сохранение результатов работы программы на рабочую машину пользователя;

- Сервис отладки параллельных программ, которая базируется на подходе автоматизированного контроля корректности. Для пользователей предусмотрена возможность самостоятельного определения ситуаций в MPI-программе, которые должны быть обнаружены системой;

- Система «Виртуальный лабораторный практикум», функциями которой являются предоставление учебных материалов по теории и технологиям высокопроизводительных вычислений, а также проведение виртуальных лабораторных практикумов по параллельному программированию;

- Сервисы для организации аренды имеющихся сервисов портала и доступных вычислительных ресурсов.

Разработанный инженерный вычислительный портал внедрен в Кемеровском государственном университете. Он используется для проведения вычислительных экспериментов, обучения теории и технологиям высокопроизводительных вычислений. Данное комплексное решение доступно для широкого круга инженеров, студентов, аспирантов и научных работников. Сервисы портала, а также вычислительные ресурсы предоставляются пользователям на правах аренды, что призвано снизить их затраты.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ДЕРЕВЯННЫЕ СТРОЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ**

*Сопруненко Элина Евгеньевна, Перминов Валерий Афанасьевич  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

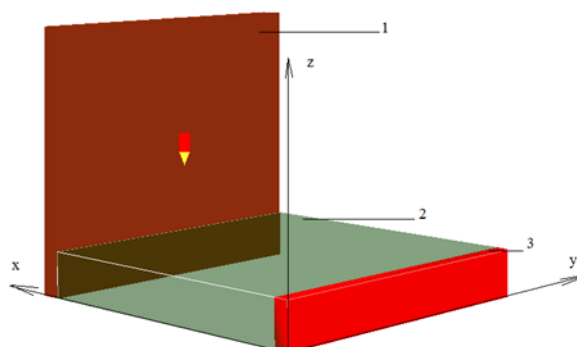
*Перминов Валерий Афанасьевич*

[soprunenko.elina@yandex.ru](mailto:soprunenko.elina@yandex.ru)

При борьбе с лесными пожарами первостепенная цель – остановить его распространение, или по крайней мере, свести к минимуму его негативное влияние на людей и социальную инфраструктуру. Активная разработка методов борьбы с лесными пожарами началась еще в начале XX века, когда последние стали серьезной угрозой, как для безопасности самого человека, так и для существующей инфраструктуры населенных пунктов. Лесные пожары и сегодня остаются большой угрозой для поселений, расположенных вблизи лесных массивов.

В данной работе приводятся результаты исследований воздействия фронта низового лесного пожара на деревянный образец при различных внешних условиях. Для описания процесса используется система дифференциальных уравнений, выражающих законы сохранения массы, импульса и энергии. Математически

задача сводится к решению системы уравнений, полученной на основе общей математической модели лесных пожаров [1]. В рассматриваемой модели, лесной горючий материал представлен слоем опавшей хвои толщиной 0.03 м в области размером  $4.2 \times 1 \times 0.9$  м. Зажигание производилось от начала слоя горючего материала размером  $0.2 \times 0.2 \times 0.03$  м в направлении скорости ветра, и равномерно по всей его ширине. Слой хвои вплотную прилегает к деревянному образцу так, чтобы исключить захлестывание пламени снизу [2]. Скорость ветра составляет 0 – 3 м/с, влагосодержание лесного горючего материала 5.8% (рис. 1).



*Рис.1. Область построения модели  
(1 – деревянный образец, 2 – площадка ЛГМ,  
3 – полоса зажигания)*

Значения температуры были получены на поверхности стенки образца, противоположной полосе зажигания, в диапазоне высот  $0.015 < h < 0.15$  м, в различных точках по всей ширине образца по истечению одной, двух и трех минут с начала распространения пожара от заданной полосы зажигания.

Созданная модель воздействия теплового фронта низового лесного пожара на деревянное строение в дальнейшем может служить эффективным инструментом для оценки и анализа текущего состояния лесного пожара, и что самое важное, для моделирования возможных его сценариев в будущем. Исследование влияния внешних условий при переходе лесного пожара на деревянные конструкции играет важную роль для понимания и решения проблем, связанных с угрозой уничтожения огнем поселений и дачных участков, расположенных вблизи лесных массивов.

Список публикаций:

[1] Сопруненко Э. Исследование воздействия фронта низового лесного пожара на деревянные строения// Сборник трудов XX Всероссийской научной конференции с международным участием "Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии", Томск, 21-23 сентября 2016. - Томск: ТГУ, 2016 - Т. 2 - С. 52-54.

[2] Сопруненко Э. Е. Математическое моделирование комплексной оценки воздействия лесных пожаров на окружающую среду// XXI век. Техносферная безопасность: Изд-во: Иркутского национального исследовательского университета. 2016. №4. С.133-140.

## **ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Коломеец Андрей Олегович*

*Сибирский государственный университет путей сообщения*

*Научный руководитель: Бехер Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент*

*andreykolomeec@yandex.ru*

На Западно-Сибирской железной дороге перед пунктом технического осмотра (далее ПТО) грузовых вагонов станции Инская установлен и запущен в эксплуатацию комплекс динамического контроля воздействия подвижного состава на верхнее строение пути. В процессе движения поезда измерительная тензометрическая система «Динамика-3» регистрирует сигналы с тензодатчиков, установленных на шейке рельса. Комплекс работает в автоматическом режиме: контроль запускается по сигналу извещения о приближении поезда и останавливается после проезда последнего вагона по измерительному участку. В рамках данной работы разработаны алгоритмы анализа первичных сигналов и вычисления их информативных параметров. Алгоритмы с использованием временной, частотной фильтрации и корреляционного анализа



позволяют выделить из сигналов тензометрической системы три составляющие деформаций рельса: от воздействия колес, шпал и импульсного воздействия дефекта поверхности катания.

В сигналах симметричных и асимметричных деформаций воздействие колес с дефектами поверхности катания проявляется в виде импульсов. В сигналах симметричных деформаций ударное воздействие приводит к появлению импульсов отрицательной полярности, связанных со сжатием шейки под действием приращения динамической силы. В сигналах асимметричных деформаций могут возникать как положительные, так и отрицательные импульсы. Полярность импульса зависит от траектории движения колеса по рельсу, боковой силы и эксцентриситета приложенной вертикальной силы. Повышение вероятности обнаружения дефектов поверхности катания достигается за счет использования алгоритмов, основанных на фильтрации пиковых составляющих сигналов на двух и более парах тензодатчиков. Критерием обнаружения дефекта является совпадение отрицательных пиков деформаций на двух и трех парах тензодатчиков, произведение которых превышает установленный порог. Для каждого зарегистрированного сигнала от дефекта определялись амплитудные параметры сигналов и амплитудное значение динамической силы. Результаты измерений сравнивались с результатами натурального осмотра поверхности колесных пар после остановки поезда на ПТО.

В целом, временные характеристики коррелируют с протяженностью дефектов поверхности катания, а коэффициент отношения амплитуд – с динамической силой. Достоверность результатов оценки косвенно подтверждается совпадением получаемых значений на двух независимых парах тензодатчиков. Определение коэффициента отношения амплитуд является ресурсоёмкой задачей и требует применения алгоритмов распознавания образов. Это связано с многообразием форм сигналов и их зависимостью от профиля дефекта, траектории движения колеса, характеристик подрельсового основания. Для оценки динамического воздействия дефекта поверхности катания на рельсы предложено использовать информативный параметр, равный произведению амплитуды импульсов деформаций на соседних парах тензодатчиков, вызванных воздействием дефектов поверхности катания. Зависимость силы от данного параметра  $P_3$  носит корреляционный характер (рис. 1) с коэффициентом корреляции 0,83. Зависимость близка к линейной и описывается выражением (1):

$$F = 0,048 \cdot P_3 + 147 \quad (1)$$

где  $F$  – динамическая сила, кН; 0,048 и 147 – коэффициенты аппроксимации, полученные методом наименьших квадратов;  $P_3$  – произведение амплитуды деформаций соседних пар тензодатчиков,  $\text{млн}^{-2}$ .

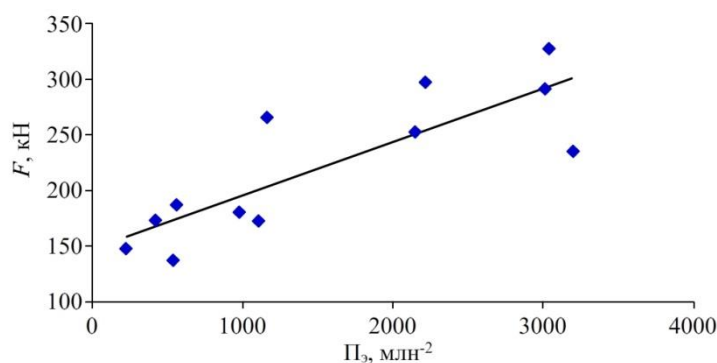


Рис. 1. График зависимости динамической вертикальной силы  $F$ , действующей от колес с дефектами поверхности катания на рельсы, от произведения амплитуды симметричных деформаций соседних пар тензодатчиков  $P_3$

При малых значениях параметра  $P_3$  вертикальная сила  $F = 147$  кН, что соответствует динамической силе воздействия бездефектного колеса. Корреляционный характер зависимости связан с влиянием положения места взаимодействия дефекта с рельсом относительно мест расположения пар тензодатчиков. Используя полученные экспериментальные данные по 10 поездам, получено распределение количества обнаруженных дефектов по амплитудному значению вредней динамической силы. Динамическое воздействие в области малых значений силы характеризуется экспоненциальным распределением. В случае нормального качения колеса амплитудное значение силы составляет 140–150 кН и не превышает 200 кН для 90 % колесных пар. Локальный максимум амплитудного распределения динамической силы в области от 270 до 300 кН содержит около 9 % колесных пар. Все колесные пары, вызывающие динамическое воздействие свыше 280 кН, содержат дефекты поверхности катания, размеры которых близки к браковочному уровню.

Особенности прохождения бездефектных колесных пар по измерительному участку характеризуется амплитудным распределением силы, оцениваемым по зависимости количества колесных пар от значения

нормальной силы. Используя критерий Пирсона доказано, что распределение амплитуд динамических сил не принадлежит нормальному закону распределения с уровнем значимости 5 %. В амплитудных распределениях силы дифференцируются два локальных максимума над всеми шпалами. Для определения причины их наличия построены распределения силы отдельно для первых и вторых колесных пар в тележке грузового вагона вместе с общим распределением по всем колесам. При этом распределения объясняют наличием локальных максимумов в суммарном распределении. Движение первой колесной пары происходит по ненагруженному («мягкому») пути, при этом средние значения силы и средние квадратические отклонения на шпале  $y = 3,5$  м составляют 100 кН и 13 кН соответственно. Для второй колесной пары, которая движется по нагруженному пути аналогичные величины имеют следующие значения: 119 и 6 кН. Эпюра силы реакции шпал на измерительном участке существенно зависит от осевой нагрузки подвижного состава. На шпале со значительными вертикальными перемещениями около 6 мм относительная сила реакции опоры увеличивается в два раза при переходе от подвижного состава с нормальной силой от колеса от 55 до 115 кН. Амплитудное распределение сил описывается суперпозицией двух различных колоколообразных распределений от первого и второго колес тележки. Все распределения не соответствуют нормальному по критерию Пирсона с уровнем значимости 5 %. Средняя сила от второго колеса в тележке грузового вагона почти на 20 % превышает силу от первого колеса, что связано с увеличенной жесткостью подрельсового основания, нагруженного первым колесом.

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ВОЗБУЖДЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДНОМ КОНТРОЛЕ ТРУБ**

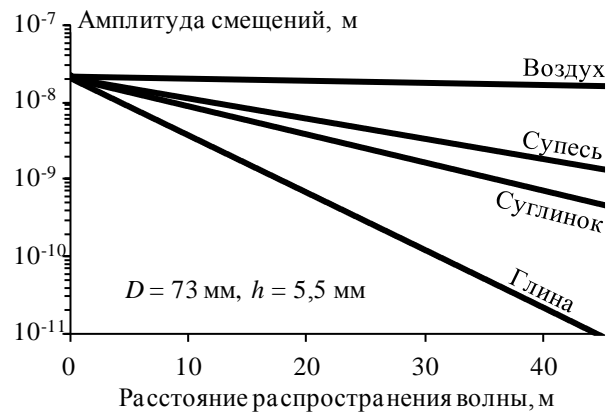
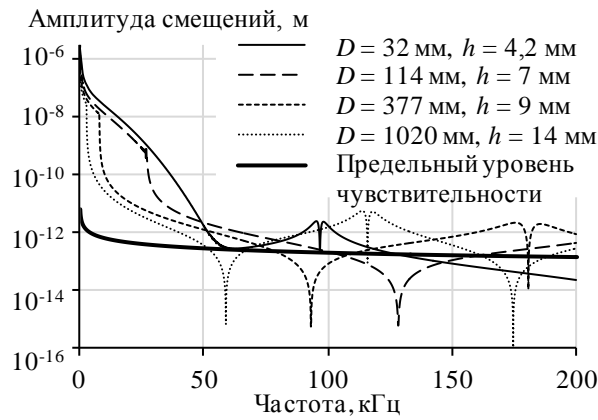
*Мышкин Юрий Владимирович, Муравьева Ольга Владимировна  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашиникова»*

*E-mail: [mubm@yandex.ru](mailto:mubm@yandex.ru)*

В последние десятилетия активное развитие получили волноводные методы акустического неразрушающего контроля (НК) труб, в основе которых лежит использование нормальных упругих волн, способных распространяться вдоль протяженных объектов на значительные расстояния, что позволяет существенно повысить производительность контроля при экспресс-диагностике трубопроводов [1]. Использование крутильной волны при контроле труб целесообразно по причине отсутствия дисперсии скорости, более высокой чувствительности к дефектам, меньшему затуханию. Для оценки возможностей волноводного метода контроля требуется анализ особенностей распространения, эффективности возбуждения и отражения от дефектов крутильных волн в зависимости от условий нагружения, геометрических размеров труб и частоты возбуждения.

В работе получены обобщенные интегральные решения задачи возбуждения и распространения крутильных волн электромагнитно-акустическими преобразователями в свободных трубах и в условиях нагружения на контактные вязкоупругие среды, учитывающие параметры возбуждения (частота, геометрия преобразователей), геометрию, вязкость и упругие характеристики материала трубы и окружающих ее сред [2, 3, 4]. Исследованы особенности и эффективность возбуждения крутильных волн в свободных трубах, а также влияние вязкоупругих параметров окружающих сред и условий контакта на амплитуды угловых смещений крутильных волн в трубах с позиций выбора частотного диапазона, оценки дальности прозвучивания и чувствительности метода волноводного контроля труб (*рис. 1*). Проведены сравнительные экспериментальные исследования влияния условий нагружения на вязкоупругие внутренние и наружные среды на ослабление крутильной, симметричной, антисимметричной волн Лэмба в трубе.



а

б

Рис.1. Зависимость амплитуды смещений крутильной волны от частоты в трубах различного типоразмера (а) и от расстояния распространения волны в трубе при её нагружении контактными вязкоупругими средами (б)

Разработана модель акустического тракта волноводного метода при контроле труб в условиях многократных отражений, оценена чувствительность волноводного метода контроля в зависимости от количества регистрируемых отражений, силы прижатия акустического преобразователя, геометрических параметров объекта, позволившая оптимизировать основные параметры аппаратуры. Обоснованы новые информативные характеристики (коэффициенты отражения от дефектов на любых отражениях, затухание импульсов многократных отражений, скорость распространения волны, эффективность ЭМА-преобразования) и предложена методика их оценки с минимальной погрешностью для реализации возможностей дефектоскопии и структуроскопии волноводным методом [5]. Исследованы факторы, влияющие на амплитуду мешающих мод, представляющих собой акустический шум и ограничивающий чувствительность к дефектам (рис. 2).

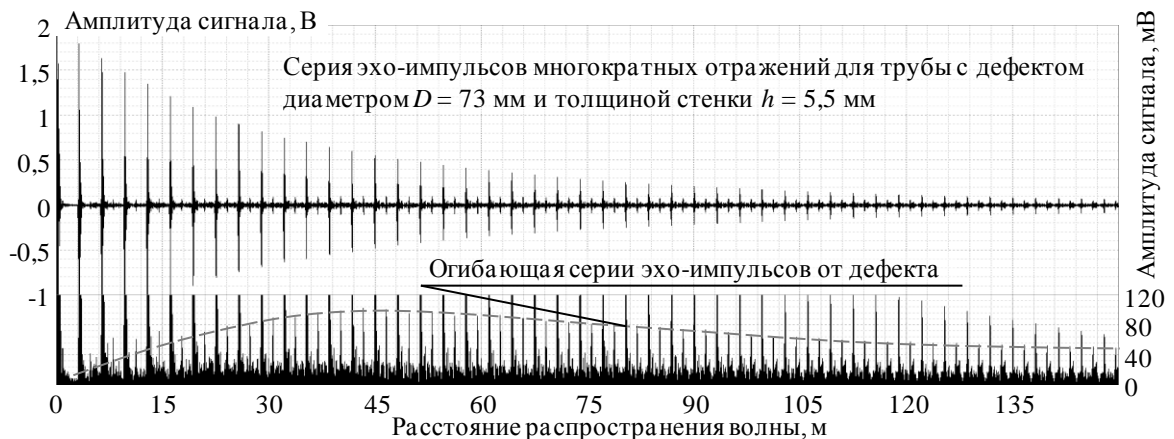


Рис.2. Экспериментальная серия эхо-импульсов многократных отражений крутильной волны от свободных торцов трубы с дефектом

Разработанная теория возбуждения и распространения крутильных волн в бесконечной трубе в условиях нагружения на контактные вязкоупругие среды, учитывающая параметры возбуждения, геометрию, вязкость и упругие характеристики трубы и окружающих ее сред, численная модель и реализующий ее алгоритм могут быть положены в основу теоретического обоснования параметров контроля в части выбора частотного диапазона, оценки дальности прозвучивания и чувствительности метода при разработке методик волноводного контроля трубопроводов различных типоразмеров в различных условиях эксплуатации.

*Работа выполнена в рамках проекта № 15-19-00051 Российского научного фонда.*

Список литературы:

- [1] Муравьева О. В., Стрижак В. А., Злобин Д. В., Мурашов С. А., Пряхин А. В., Мышкин Ю. В. // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 9. С. 110-115.
- [2] Murav'eva O. V., Len'kov S. V., Murav'ev V. V., Myshkin Y. V., Murashov S. A. // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2016. T. 52. No. 2. P. 78-84.
- [3] Murav'eva O. V., Myshkin Y. V., Len'kov S. V. // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2016. T. 52. No. 9. P. 485-491.
- [4] Murav'eva O. V., Len'kov S. V., Murashov S. A. // *Acoustical Physics*. 2016. T. 62. No. 1. P. 117-124.
- [5] Murav'eva O. V., Zlobin D. V. // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2016. T. 49. No. 2. P. 93-99.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ НАНОДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ**

*Кырмакова Ольга Сергеевна, Назаренко Ольга Брониславовна, Сечин Александр Иванович  
Томский политехнический университет  
Сечин Александр Иванович, д.т.н.  
E-mail автора работы*

Нанодисперсные металлы представляют большой интерес для современной промышленности благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. При хранении нанопорошков (НП) металлов происходят изменения их свойств, в том числе показателей пожаровзрывоопасности. Производство НП металлов и область их применения быстро расширяется, в связи с чем особую актуальность приобретают исследования свойств НП металлов при старении.

Электрический взрыв проводников (ЭВП) – один из методов получения НП металлов, это неравновесный процесс, при котором материал проводника в результате протекания через него мощного импульсного электрического тока разрушается с образованием нанодисперсных порошков. Электровзрывные НП металлов непосредственно после получения способны к самовоспламенению при контакте с воздухом. Одним из способов стабилизации НП металлов является создание оксидно-гидроксидной защитной оболочки на частицах в процессе медленного напуска воздуха в разрядную камеру. Известно, что пассивированные порошки относительно устойчивы к окислению при хранении и характеризуются высокой химической активностью при нагревании.

Целью данной работы являлось изучение влияния длительного хранения в условиях окружающей среды на свойства металлических нанопорошков, полученных методом ЭВП: термической стабильности, фазового состава, скорости распространения пламени в насыпном слое порошков.

В работе исследованы НП алюминия (получены методом ЭВП в аргоне и в смеси аргона с азотом), НП железа и цинка (получены в среде аргона), а также НП меди (получены в среде аргона и углекислом газе). Все исследованные НП были получены в 2000 г. и хранились в воздухе при температуре окружающей среды. Термическую устойчивость НП металлов исследовали с помощью совмещенного термоанализатора ТГА/ДСК/ДТА SDT Q600 в режиме линейного нагрева (10 °С/мин) в атмосфере воздуха в интервале температур от 20 до 1000 °С. Фазовый состав порошков определяли с помощью рентгеновского дифрактометра «Shimadzu» XRD-7000. Размер и форму частиц анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-7500FA. Для записи ИК-спектров НП металлов использовали ИК-Фурье спектрометр Nicolet 5700. Оценку скорости распространения пламени в насыпном слое порошков проводили согласно ГОСТ 10433-88 «Скорость распространения пламени. Приложение 5», для чего создавали заданную конфигурацию и размеры насыпного слоя НП металлов, зажигали его и определяли скорость распространения фронта пламени. Прибор для экспериментального определения скорости распространения пламени порошков состоял из емкости длиной 250 мм треугольного сечения (высота равнобедренного треугольника 10 мм, длина основания – 20 мм), двух металлических пластинок длиной (250×16×0,5 мм), пластины из негорючего материала низкой теплопроводности с размерами 250×20×2 мм. Измерение длины зоны горения проводили с

помощью линейки измерительной, времени испытания – секундомером, класс точности 3. При проведении экспериментов наблюдали особенности во фронте пламени: фронт горения имел вытянутую форму по сечению образца, с разницей между верхом и низом. Скорость распространения пламени  $V$  (мм/с) рассчитывали по формуле:

$$V = 200/t, \quad (1)$$

где 200 – длина пути, пройденного фронтом пламени, мм;  $t$  – время, с.

Результаты термического анализа показали, что термическая устойчивость НП металлов зависит от газа-среды при получении и способа пассивирования. Наличие защитных оксидно-гидроксидных оболочек на частицах НП алюминия и железа объясняет их высокую активность при нагревании даже после длительного хранения в воздухе. В то же время, в исследуемых образцах за длительный период хранения произошли качественные изменения. Наблюдается повышение содержания окисленных фаз в порошках, особенно в НП меди, что подтверждается результатами рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии, причем оксидные фазы НП алюминия и железа остаются рентгеноаморфными, а НП меди содержит кристаллические фазы оксидов  $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Проведена сравнительная оценка скорости распространения пламени в насыпном слое НП металлов после получения (2000 г.) и после длительного хранения (2016 г.). Определены значения протяженности фронта пламени и его линейной скорости. На рис. 1 представлены фотографии вида насыпного слоя НП алюминия в процессе испытания.

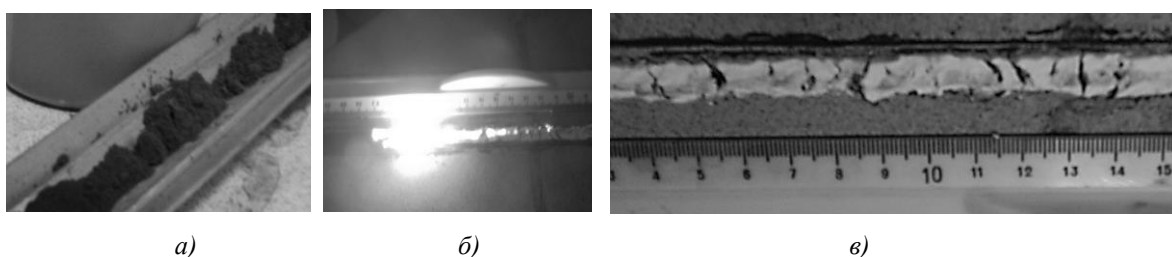


Рис. 1. Вид насыпного слоя НП алюминия (а), фронт горения (б), продукты горения (в)

Изменения качественного состава НП металлов, произошедшие в процессе их хранения, привели к уменьшению параметров скорости распространения пламени. НП меди охарактеризованы как трудногорючие.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке элементов технологического использования наноматериалов, а также мероприятий по их тушению в случае чрезвычайных ситуаций.

## НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

### АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

*Жданов Дмитрий Сергеевич, Костелей Яна Валерьевна, Чехоцкая Евгения Васильевна*

*ООО «Диагностика +», Томский государственный университет*

*Бурев Артем Шамильевич*

[dim@diagnostic.tom.ru](mailto:dim@diagnostic.tom.ru)

Коллективом авторов в рамках выполнения соглашения № 14.579.21.0019 (уникальный идентификатор проекта - RFMEFI57914X0019) на тему «Разработка устройства суточного мониторинга состояния плода и матери во время беременности посредством контроля параметров сердечно-сосудистой системы на основе акустических данных» создан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий неинвазивную регистрацию и анализ фонокардиограмм плода и матери. При выполнении работ был создан автономный вариант устройства, включающий в себя мобильное приложение, позволяющее осуществить расчет значимых

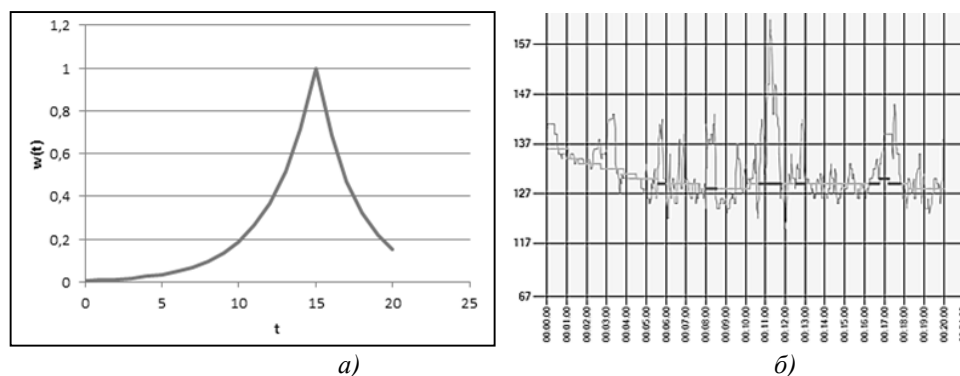
параметров, характеризующих функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) плода в утробе матери. Фонокардиограммы плода передаются на мобильное приложение посредством Bluetooth. Помимо функции предварительной обработки мобильным приложением осуществляется интерпретация функционального состояния ССС плода. При этом происходит расчет базального ритма, акцелераций, децелераций, вариабельности (в том числе и короткой вариабельности (STV)) и осцилляций [1,2]. На основании интерпретации рассчитанных параметров по балльной шкале Фишера выносится заключение о состоянии ССС плода. Опишем процесс выявления базального ритма плода. Под ним понимается средняя частота сердечных сокращений плода, сохраняющаяся неизменной за период, равный 10 мин и более, при этом акцелерации и децелерации не учитываются [3]. Его расчет происходит на основании сформированных кардиоинтервалограмм плода и включает в себя ряд последовательных операций.

Сначала происходит децимация (с вещественным коэффициентом) полученной кардиоинтервалограммы на количество раз кратное 3,75 и 5 сек. Затем из кардиоинтервалограммы удаляются участки длительностью более 600 мс. и менее 300 мс. После этого производится анализ окрестности текущего отсчета размера от 1 отчета до 15 минут влево и от 1 отчета до 5 минут вправо. В качестве анализа данной окрестности используется построение взвешенной гистограммы и поиска ее моды, которая будет являться значением анализируемого отсчета. Функция взвешенной гистограммы [4,5] представлена формулой (1).

$$w(t) = \begin{cases} e^{a(t)}, & t \in [0,15] \ a(t) \in (0; 5) \\ e^{b(t)}, & t \in [15,20] \ a(t) \in (2; 0.1), \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

где  $w(t)$  - значение весовой функции;  $a(t), b(t)$  - значения линейного разложения.

Таким образом, на «пике» графика функции будет лежать доля текущего отсчета в гистограмме, а в слева и права – доля окрестности точки. Пример расчета базального ритма представлен на *рис. 1*.



*Рис. 1. Пример расчета базального ритма плода (а – весовая функция; б – базальный ритм плода)*

В результате выполнения анализа фонокардиограмм плода выдается заключение о его состоянии (по балльной шкале Фишера), включающее в себя численные показатели, необходимые акушеру-гинекологу для самостоятельной оценки функционального состояния ССС плода. Созданное мобильное приложение в 2016 году было апробировано в ходе проведения биомедицинских исследований на базе ООО «Центр Перинатального Здоровья» (г. Томск) и перинатального центра Северской клинической больницы (ПЦ СКБ ФГБУ СибФНКЦ ФМБА России, г. Северск). Погрешность расчета базального ритма плода относительно примененного референтного оборудования составила  $\pm 2$  уд/мин.

#### Список публикаций:

- [1] Сидорова И.С., Кулаков В.И., Макаров И.О. *Определение реактивности сердечно-сосудистой системы плода по данным кардиотокографии во время беременности и в родах // Руководство по акушерству. – 2006.*
- [2] Kiseleva E., Zhdanov D., Zemlyakov I., Vaganova E., Yuryev S./ *Allocation of Fetal Heart Tones During Non-stop Monitoring of Pregnant Women // Advances in Computer Science Research. – 2016.*
- [3] Ирышков Д.С., Тактаев А.П. *Анализ антенатальной КТГ // Основы антенатальной кардиотокографии. – 2010. – с. 7-8.*
- [4] Dawes G.S., Moulden M., Redman C.W.G. *Short-term fetal heart rate variation, decelerations, and umbilical flow velocity waveforms // ObstetGynecol. – 1992. – Vol.80 No 673 – P. 8.*
- [5] Anderson S. *Acceleration and Deceleration Detection and Baseline Estimation // Chalmerss university of technology, Göteborg, Sweden. – 2011. – No EX037.*

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

*Дикман Екатерина Юрьевна, Жданов Дмитрий Сергеевич, Костелей Яна Валерьевна, Буреев Артем Шамильевич*

Томский государственный университет

Трифонов Андрей Юрьевич

dim@diagnostic.tom.ru

Одной из основных стратегических задач системы здравоохранения РФ является снижение смертности населения, в том числе в ходе проведения реанимационных мероприятий [1]. Повысить качество проведения сердечно-легочной реанимации (далее - СЛР) людьми, не обладающими достаточными навыками проведения реанимационных мероприятий, можно за счет создания технических средств, которые позволят проводить оценку качества проведения непрямого массажа сердца (далее - НМС) и искусственной вентиляции легких, а так же координировать действия реаниматора. При клинической смерти возникает централизация кровообращения, поэтому достоверно автоматизировано оценить качество проведения НМС можно путем определения наличия динамики кровотока в сонных артериях пациента методом анализа акустических данных.

Коллективом авторов был разработан программно-аппаратный комплекс для контроля процедуры СЛР (далее – устройство) [2]. Для выполнения функций оценки качества проведения реанимационных мероприятий и их корректировки были определены требования к устройству:

- определение наличия кровотока в сонных артериях, что позволяет оценить корректность проведения непрямого массажа сердца и определить наличие собственного сердцебиения;
- координация действий реаниматора в ходе проведения СЛР с помощью световых и звуковых сигналов;
- оценка текущего состояния реанимируемого и возможного использования в качестве простейшего монитора состояния пациента.

Алгоритмы, входящие в состав разрабатываемого устройства можно разделить на несколько групп [3]:

- 1) алгоритмы предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека, обеспечивающие удаление шумовой составляющей сигнала;
- 2) алгоритмы определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, с целью контроля проведения НМС и контроля наличия самостоятельной сердечной деятельности пациента;
- 3) алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС.

Для решения задач предварительной обработки акустического сигнала был выбран полиномиальный фильтр Баттерворта. Основным его преимуществом является минимальное искажение сигнала в полосе пропускания. Частотный диапазон шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий лежит в пределах от 20 до 60 Гц.

Алгоритмы определения наличия шумов кровотока, обеспечивают поиск участков сигнала, соответствующих искомым состояниям кровотока в местах бифуркаций сонных артерий человека, возникающих на различных стадиях проведения СЛР. Каждому состоянию соответствует информационное представление, то есть набор характеристических фрагментов сигнала, обладающих определенными параметрами, такими как степень вклада некоторой полосы частот в спектр участка сигнала и скорость изменения амплитуды сигнала на участке.

После определения наличия сердечных сокращений, запускаются алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС. В ходе работы алгоритмов происходит создание массива значений энергии Шеннона анализируемого сигнала, а так же нормализация, обработка сигнала медианным и пороговым фильтром. На *рис. 1* представлен внешний вид созданного программно-аппаратного комплекса.





Рис. 1- внешний вид программно-аппаратного комплекса для контроля проведения процедуры СЛП

Разработка устройства проводилась в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от 28.11.2014 г. № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы».

Список литературы:

- [1] Улумбекова Г.Э. *Здравоохранение России. Что надо делать. Научное обоснование «Стратегии развития здравоохранения РФ до 2020 года. Краткая версия* – М: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 96с.
- [2] Bureev A., Dikman E., Zemlyakov I., Osipov A., Seleznev A., Khohlova L. *Principles of a prototype model of a device for automatic control of cardio-pulmonary resuscitation procedures. MATEC Web of Conferences 7 01011 (2016).*
- [3] Bureev A.Sh., Zhdanov D.S., Kiseleva E.Yu., Kutsov M.S. *An Algorithm for the Evaluation of the Dynamics of Blood Flow in the Carotid Arteries and the Air Flow in the Trachea of the Resuscitated Patient. Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016), p.471-474.*

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

*Неуен Данг Куанг, Авдеева Диана Константиновна, Иванов Максим Леонидович, Наталинова Наталья Михайловна, Неуен 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] *Karlsn 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 Kalliyayalil 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 BM 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 BPT BP 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 ATmega8 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.

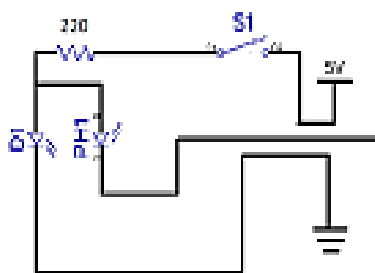


Рис .1 Клипса для измерения глюкозы

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.

## РАЗРАБОТКА ОДНОКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЛУБИНЫ АНЕСТЕЗИИ

Симон Всеволод Алексеевич, Герасимов Владимир Александрович, Кострин Дмитрий Константинович,  
Селиванов Лев Михайлович  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В. И. Ульянова (Ленина)

При проведении хирургических операций зачастую необходимо перевести пациента в состояние потери чувствительности (анестезии). Такая мера предотвращает появление болевых ощущений и связанных с ними физиологических механизмов защиты, препятствующих проведению операции. Обычно различают местную, региональную и общую анестезию. Последний тип анестезии связан с отключением сознания человека, что проявляется в отсутствии чувства боли, расслаблении мышц и потере памяти на время оперативного вмешательства.

При анестезии проводится, как минимум, мониторинг содержания кислорода в крови и артериального давления, а также регистрируется электрокардиограмма. Однако при общей анестезии необходимо знать глубину искусственного сна, в который погружен организм пациента, чтобы не допустить как внезапного пробуждения во время операции, так и чрезмерно глубокого наркоза [1].

Эта задача может быть решена с использованием электроэнцефалографического (ЭЭГ) сигнала, отражающего активность головного мозга. В состоянии глубокого наркоза спектр ЭЭГ сигнала смещается в низкочастотный диапазон: появляются относительно высокоамплитудные (несколько сотен микровольт) колебания частотой 1-4 Гц, получившие название дельта-ритма. Автоматизированное определение глубины анестезии возможно путем вычисления энтропии ЭЭГ сигнала во временной и частотной области и приведения полученных значений энтропии к единой шкале [2].

Регистрация ЭЭГ сигнала с целью получения информации для мониторинга глубины анестезии не требует применения многоканального электроэнцефалографа. Достаточно использовать одноканальный электроэнцефалограф, который регистрирует разность потенциалов на лобной области скальпа с помощью двух электродов. В качестве «точки отсчета» принимается потенциал сосцевидного отростка височной кости, к которому подключается третий электрод, называемый опорным.

Разработанный одноканальный электроэнцефалограф состоит из входного каскада, содержащего инструментальный усилитель со схемой смещения по постоянной составляющей [3, 4], активные аналоговые фильтры и аналого-цифровой преобразователь с последовательным цифровым интерфейсом передачи данных.

Устройство питается от двух литий-ионных батарей (номинальное напряжение каждой составляет 3,7 В), одна из которых подключена к электроэнцефалографу и обеспечивает его работу, а вторая заряжается от внешнего источника питания. Когда первая батарея разрядилась, электроэнцефалограф подключается ко второй, заряженной батарее, а первая батарея подключается к внешнему источнику питания для зарядки. Таким способом осуществляется гальваническая изоляция устройства от промышленной сети переменного тока.

Электроэнцефалограф по последовательному интерфейсу с гальванической изоляцией подключается к монитору глубины анестезии, представляющему собой компьютер на основе встраиваемого процессорного модуля. Программное обеспечение компьютера рассчитывает энтропию ЭЭГ сигнала и выводит на экран наркозного аппарата коэффициент, соответствующий глубине анестезии и сам ЭЭГ сигнал. Эта информация поможет врачу-анестезиологу обеспечить необходимую глубину наркоза и поддерживать ее во время оперативного вмешательства, способствуя успешному проведению хирургической операции с минимальным риском для пациента.

Список литературы:

- [1] Musizza B., Ribaric S. // *Sensors*. 2010. №10(12). P.10896–10935.
- [2] Немирко А. П., Манило Л. А., Калинин А. Н., Волкова С. С. // *Биотехносфера*. 2010. №3(9). С.3–10.
- [3] Uhov A. A., Gerasimov V. A., Selivanov L. M., Kostrin D. K., Simon V. A. // *Proc. IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conf. Saint Petersburg*. 2016. P.797–799.
- [4] Simon V. A. // *Transactions of XII Russian-German Conference on Biomedical Engineering. Suzdal*. 2016. P.144–147.

## БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ МИКРОВОЛНОВАЯ СВЧ ДИАГНОСТИКА

Беличенко Виктор Петрович, Запасной Андрей Сергеевич, Мироньчев Александр Сергеевич  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
[bvp@mail.tsu.ru](mailto:bvp@mail.tsu.ru)

Сверхвысокочастотное (СВЧ) электромагнитное излучение обладает достаточно высокой проникающей способностью и при использовании эванесцентных СВЧ полей в целом ряде ситуаций удается значительно превзойти фундаментальный предел Релея на разрешающую способность. Поэтому ближнепольная СВЧ диагностика получила к настоящему времени широкое распространение не только при проведении научных исследований, но и для решения весьма разнообразных практических задач. По мере развития данного вида диагностики все более зримыми становились перспективы её применения в медицине. Однако биологические ткани и среды уже сами по себе представляют собой очень сложные объекты исследования. Трудности их СВЧ диагностики обусловлены как сильным поглощением излучения в биологической ткани, так и сложным строением биологических тканей.

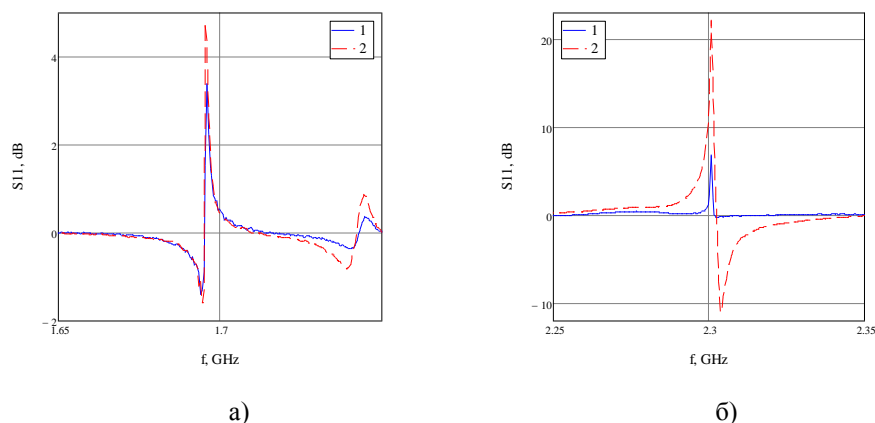
Отмеченное обстоятельство потребовало проведения обстоятельных теоретических и экспериментальных исследований для выявления характерных особенностей в зависимостях от частоты диэлектрических свойств образцов биологических тканей или их фантомов [1-3]. Исследования, представленные в [4, 5], имели конечной целью разработку способов высокоточной и достоверной неинвазивной диагностики онкологических заболеваний. При этом основное внимание было обращено на определение характеристик тканей молочной железы. Перспективным представляется техническое решение, предложенное в [6].

Теоретические и экспериментальные результаты, опубликованные несколькими группами исследователей, показывают, что для увеличения разрешающей способности и чувствительности ближнепольной СВЧ диагностики наряду с традиционным «квазистатическим» пространственным масштабом большое значение имеет так называемый «волновой» масштаб (см., например, [7]). Однако этот вывод был сделан при подробном изучении технологии «одностороннего» ближнепольного зондирования. Результаты нашей работы [8] указывают на то, что в условиях осуществления зондирования перекрывающимися эванесцентными полями нескольких активных зондов наблюдается проявление существенно иного пространственного масштаба, который мы называем интерференционным.

Нами предложено максимально упрощенное по структуре схемное решение технологии ближнепольного интерференционного зондирования. Создан макет устройства и проведены тестовые экспериментальные исследования, направленные на оценку его разрешающей способности и чувствительности при диагностике фантомов биологических сред. Макет содержит следующие основные элементы: анализатор цепей PNA-L Network Analyzer (N5230C); подключенный к его выходу через коаксиальный кабель делитель мощности; два коаксиальных конических рупора (зонда), входы которых соединены с выходами делителя мощности с использованием отрезков коаксиальных линий передачи, чем обеспечивается создание требуемого сдвига фаз полей зондов. Анализатором цепей регистрировалась частотная зависимость комплексного коэффициента отражения (S11) одного из зондов. При этом полоса частот составляла 500 МГц – 1 ГГц, а шаг дискретизации был равен 250 кГц, так как измерения производились в 2000 точек. Для удобства восприятия производилась нормировка измеряемых данных.

На рисунке 1 иллюстрируется частотная зависимость коэффициента отражения для фантома биологической среды в виде сухой (а) и увлажненной (б) пластины поролона с включениями. Включения представляли собой два вида гелиевых шариков: в первом случае шарик был пропитан водой, а в другом – спиртом; их диаметры варьировались от 8 до 12 мм. Наличие включений вполне отчетливо проявляется во всем диапазоне частот (от 0,1 до 6 ГГц). Для наглядности на рисунках представлены отклики в полосе частот не превосходящей 0,1 ГГц. Сдвиг максимумов сигнала по частоте и увеличение их уровня можно объяснить тем, что увлажненная губка поролона имеет большую  $\epsilon$  по сравнению с сухой и, следовательно, сильнее отражает. Особо подчеркнем, что включения не удавалось надежно фиксировать при использовании только одного зонда.

Таким образом, наличие явно выраженного пространственного «интерференционного» масштаба подтверждено нами в экспериментах с макетом ближнепольного интерференционного микроволнового микроскопа, содержащего два коаксиальных конических рупора для зондирования исследуемой среды перекрывающимися эванесцентными полями этих зондов.



а) б)  
 Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения для фантома биологической среды (кривая 1 – шарик пропитан водой, кривая 2 – шарик пропитан спиртом).

#### Список литературы:

- [1] Gabriel S., Gabriel S., Corthout E. // *Phys. Med. Biol.* 1996. V. 41. No. 11. P. 2231-2249.  
 [2] Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C. // *Phys. Med. Biol.* 1996. V. 41. No. 11. P. 2251-2269.  
 [3] Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C. // *Phys. Med. Biol.* 1996. V. 41. No. 11. P. 2271-2293.  
 [4] Hagl D.M., Popovic D., Hagness S.C., Booske J.H., Okoniewski M. // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.* 2003. V. 51. No. 4. P. 1194-1206.  
 [5] Lazebnik M., McCartney L., Popovic D., Watkins C.B., Lindstrom M.J., Harter J., Sewall S., Magliocco A., Booske J.H., Okoniewski M., Hagness S.C. // *Phys. Med. Biol.* 2007. V. 52. No. 10. P. 2637-2656.  
 [6] Пат. 2381008 РФ, МПК А61В5/04, А61В5/05. Способ измерения электродинамических параметров биологических тканей и устройство для его осуществления / В.Е. Загайнов, А.В. Костров, А.В. Стриковский, Д.В. Янин, Г.Г. Горохов, С.А. Васенин, Г.А. Пантелева, И.Н. Дружкова (РФ). № 2 008 122 815 / 14; заявл. 05.06.2008; опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4. – 2 с.  
 [7] Reznik A.N. // *Journal Applied Physics.* 2014. V. 115. No. 8. P. 084501-8.  
 [8] Беличенко В.П., Запасной А.С., Шестаков П.В. // *Оптика и спектроскопия.* 2015. Т. 118. № 4. С. 633-636.  
 [9] Harrington R.F. // *New York: Wiley,* 2001. 480 p.  
 [10] Резник А.Н., Юрасова Н.В. // *Журнал технической физики.* 2006. Т. 76. № 1. С. 90-104.

### СИСТЕМА УФ-ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ

Калиниченко Алексей Николаевич<sup>1</sup>, Лобанова Ирина Сергеевна<sup>1</sup>, Калиниченко Николай Петрович<sup>2</sup>, Соснин Эдуард Анатольевич<sup>3</sup>, Гальцева Ольга Валерьевна<sup>1</sup>

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»<sup>1</sup>

Аттестационный региональный центр специалистов неразрушающего контроля, г. Томск<sup>2</sup>

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»<sup>3</sup>

[lex-k@tpu.ru](mailto:lex-k@tpu.ru)

Люминесцентный метод капиллярного контроля, в отличие от цветного должен проводится в условиях затемнения и требует применения ультрафиолетовых (УФ) облучателей, так как поверхностные дефекты обнаруживаются по светящимся индикаторным следам на проявляющем покрытии (проявителе) в местах расположения несплошностей. [1] Для увеличения флуоресценции пенетрантов в видимой области спектра и, соответственно, повышения контрастности изображения, существует два направления развития. Это разработка новых химических составов дефектоскопических материалов [2] и/или использование высокоэффективных УФ-облучателей, обеспечивающих увеличение интенсивности возбуждения состояний пенетранта. В последнее время наиболее популярными источниками УФ-излучения в люминесцентном методе контроля являются ртутные и светодиодные.

УФ-лампы имеют широкий спектр излучения, который ограничивают светофильтром, выделяя диапазон от 300-315 до 400 нм и обеспечивая максимум излучения на длине волны 365 нм [3]. Облучение такими лампами позволяет увеличить интенсивность свечения индикаторных следов. Недостатком таких



устройств является наличие в колбе лампы опасного элемента – ртути. Лампы сильно нагреваются и требуют охлаждения потоком воздуха, что усложняет конструкцию и увеличивает вес оборудования. Это в свою очередь усложняет реализацию способа в полевых условиях.

Светодиодные фонари не требуют специального охлаждения, не являются источниками озона, обеспечивая спектр излучения, близкий по составу к спектру ртутных ламп, хотя и не содержат ртути. Недостатком использования светодиодных фонарей является узкая фокусировка светового луча, что делает затруднительным осмотр габаритных объектов и регистрацию протяженных дефектов. Кроме того, высокая яркость излучения светодиодов вызывает размывание контуров дефекта в фокусном пятне, что затрудняет их фото и видеофиксацию.

В рассматриваемой системе для облучения УФ-излучением используют эксилампы на молекулах ХеСl\*, имеющие максимум интенсивности излучения на 308 нм, полуширину спектров до нескольких нанометров [4]. Такие лампы удовлетворяют следующим требованиям к облучателям для люминесцентного контроля: 1) обеспечивают энергетическую достаточную облученность для проведения контроля по всем классам чувствительности; 2) выходят на рабочий режим за несколько секунд; 3) обеспечивают непрерывную работу в течение 8 ч и более и способны работать в диапазоне рабочих температур от – 10 до + 35 °С; 4) имеют вес до 1 кг; 5) не содержат ртути и сравнительно электробезопасны, что снижает количество факторов опасности для оператора.

Конкретным примером, доказывающим работоспособность способа, является сравнительный эксперимент, проведенный с использованием эксиламп на молекулах ХеСl\* с одной стороны и таких источников УФ-излучения как ртутная лампа Magnaflux ZB-100F и светодиодный фонарь Labino Torch Spotlight. После проведения процедуры капиллярного контроля по II классу чувствительности проводили регистрацию выявленных индикаторных следов с применением дефектоскопических наборов Magnaflux, Вусотест и Sherwin. Результаты, полученные с использованием люминесцентного пенетранта Magnaflux ZL-60С представлены на рис. 1. При использовании остальных дефектоскопических наборов получили схожие результаты – все несплошности выявляются уверенно.

Сравнительный анализ результатов, полученных с использованием трех различных источников УФ-излучения выявил следующее:

- при облучении ртутной лампой индикаторные следы просматриваются хорошо, но образуется эффект засветки изображения в виде красноватого фона вследствие отражения УФ-лучей от объекта контроля;
- засветка при облучении светодиодным фонарём более яркая, чем при облучении другими источниками, но индикаторные следы, попадающие во «внешнюю» область фокусного пятна светодиодного фонаря просматриваются слабо;
- эксилампа позволяет уверенно зарегистрировать индикаторный след, который хорошо контрастирует с фоном, а засветка отсутствует.

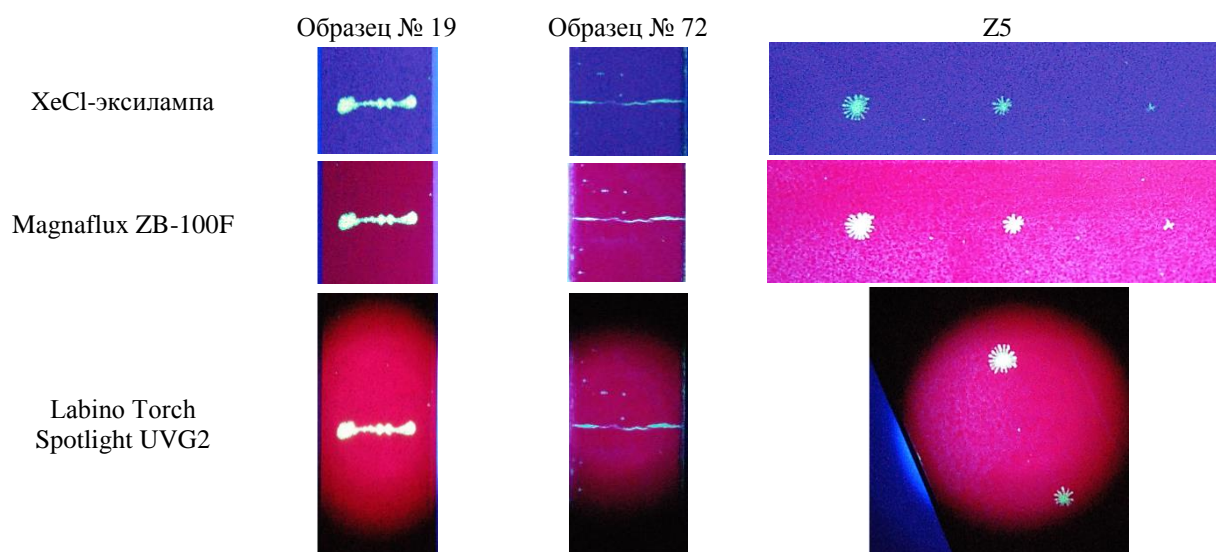


Рис.1 Сравнительная таблица результатов контроля с использованием пенетранта Magnaflux ZL-60С

Таким образом, испытания показали, что в сравнении с другими способами предложенная система обеспечивает получение ровных контуров индикаторных следов с одновременным сохранением простоты и оперативности процедуры. В отличие от светодиодов эксилампа позволяет освещать протяженные объекты, а в силу её компактности её удобно применять не только в лабораторных, но и в полевых условиях.

#### Список литературы:

- [1] Н.П. Калининко, А.Н. Калининко // Капиллярный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Томский политехнический университет, Томск: Изд-во ТПУ, 2010. - 292 с.
- [2] Глазков Ю.А., Пономарева О.В., Хролова О.Р. Пенетрант для цветной капиллярной дефектоскопии // Патент RU № 2331061. G 01 N 21/91. Приоритетная дата: 26.03.2007.
- [3] Еремин Н.И., Филимонова Е.А. Физические основы люминесцентной и цветной дефектоскопии. В кн.: Физико-химические исследования металлов / под ред. И.Р. Крякина: Труды ЦНИИТМАШ, 1960. № 11, С. 88-101.
- [4] Бойченко А.М., Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Ультрафиолетовые и вакуумно-ультрафиолетовые эксцилмпы: физика, техника и применения. Томск: STT, 2011. 512 с.

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

### ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ГОРОДЕ КАРАГАНДА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*Якупова Оксана Валерьевна, Булатбаев Феликс Назымович  
Карагандинский государственный технический университет  
Юрченко Алексей Васильевич, доктор технических наук, профессор  
[ok-1979@mail.ru](mailto:ok-1979@mail.ru)*

Вопросами неразрушающего контроля (НК) в Караганде занимаются 16 аттестационных центров и компаний, которые не только проводят экспертизы в области промышленной безопасности, но и ведут подготовку, переподготовку, повышение квалификации и аттестацию специалистов. В соответствии с требованиями ИСО/МЭК 17024 осуществляется управление и администрирование системой сертификации (при необходимости, с привлечением уполномоченных организаций), включая все процедуры, необходимые для подтверждения достаточной квалификации кандидата для выполнения работ по конкретному методу неразрушающего контроля в секторе продукции или промышленном секторе, с получением сертификата

Основной задачей является независимая от заинтересованных сторон аттестация специалистов на соответствие квалификационным уровням согласно требованиям промышленной безопасности.

Организационная структура аттестационных центров НК, обеспечивает охват всех аспектов аттестации специалистов. Структура включает в себя: группу обеспечения – Научно-инженерный отдел; экзаменационный центр – Учебная часть; группу аттестации – Отдел аттестации.

Обучение слушателей курсов проводится на основе методик и учебных программ, разработанных специалистами аттестационных центров НК и согласованных с Департаментом по ЧС Карагандинской области. Учебные программы соответствуют требованиям нормативно-технической документации РК, а также требованиям международных стандартов.

Аттестационными центрами выполняются работы на декларируемых объектах, выдаются документы, удостоверяющие соответствие технических устройств, технологий и материалов требованиям промышленной безопасности, проводятся экспертизы в области промышленной безопасности, проводится подготовка, аттестация, переаттестация и повышение квалификации специалистов в области неразрушающего контроля. В настоящее время, это квалифицированный и сертифицированный персонал в следующих областях:

- специалисты по НК
- специалисты программы по трубопроводам
- инспекторы стационарного оборудования
- инженеры по коррозии.

Сертификация на профессиональный (квалификационный) уровень проводится по одному или нескольким методам неразрушающего контроля:

- a) акустико-эмиссионный контроль;
- b) контроль вихревыми токами (вихретоковый);
- c) инфракрасный термографический контроль;
- d) течеискание (за исключением гидравлических испытаний);
- e) магнитный контроль;
- f) контроль проникающими жидкостями;
- g) радиографический контроль;

- h) контроль напряженно-деформированного состояния (тензометрический контроль);
- i) ультразвуковой контроль;
- ж) визуальный контроль (за исключением прямого визуального контроля без применения оптических и других приборов и средств, а также визуальный контроль в процессе проведения другого метода НК).

Аттестационные центры ведут постоянное увеличение объема и качества предоставляемых услуг, включающих в себя:

- инспекционные работы методами неразрушающего контроля
- контроль за коррозией
- инспекция по контролю и обеспечению качества

Неразрушающий контроль является одним из важнейших факторов повышения качества и надежности продукции в различных сферах промышленности: энергетике, тяжелом и химическом машиностроении, на железнодорожном транспорте и т.д. Ежегодно НК подвергаются сотни тысяч метров сварных соединений металлоконструкций, десятки тысяч трубных соединений, котлоагрегатов, а также им оценивается качество деталей железнодорожного подвижного состава, сосудов и аппаратов высокого давления, поковок, труб, листового проката и другой продукции. Основной задачей является исследование состояния металлопродукции различных отраслей промышленности неразрушающими методами контроля.

Испытательные лаборатории, занимаются исследованиями металлопродукции различных отраслей промышленности. Основными видами деятельности лабораторий являются:

- лабораторные исследования металла и сварных соединений неразрушающими методами контроля;
- определение причины разрушения металлоизделий;
- определение возможности дальнейшей эксплуатации металлоизделий;
- анализ и оценка состояния металла и определение возможности дальнейшей эксплуатации элементов теплоэнергетического оборудования;
- определение возможности дальнейшей эксплуатации металлических резервуаров для хранения жидкого топлива и воды;
- определение возможности дальнейшей эксплуатации сосудов, работающих под давлением;
- обследование металлоконструкций грузоподъемных механизмов;
- технические консультации.

Имея в своем составе аттестованных высококвалифицированных специалистов, лаборатории совместно с научно-инженерным и учебным отделами имеют широкие перспективы развития в области применения современных методов и средств контроля, таких как методы магнитной памяти металла и фазированных решеток, расширению сферы деятельности и развитию исследовательских изысканий.

Список литературы:

[1] Электронный ресурс <http://karaganda.allcorp.ru/nerazrushayushchiy-kontrol.html>.

[2] СТ РК ISO 9712-2014 Национальный стандарт Республики Казахстан. Контроль неразрушающий. Классификация и сертификация персонала по неразрушающему контролю.

[3] Электронный ресурс <http://www.ndtcc.kz/>.

## **ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

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

*Томский политехнический университет*

*Юрченко Алексей Васильевич, д.т.н.*

[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.

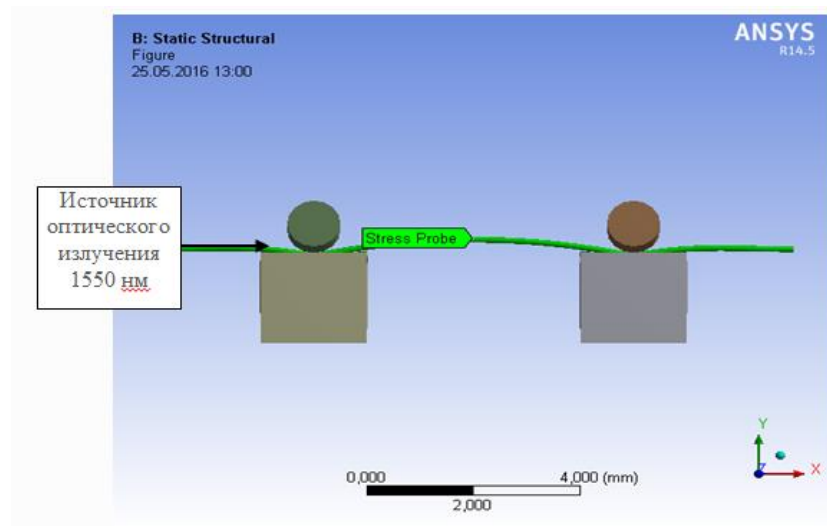


рис.1. Модель ВОД для исследования на механические воздействия

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, Малышев Андрей Владимирович*

Томский политехнический университет  
Суржиков Анатолий Петрович, д.ф.-м.н.  
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 течение 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

Образец	$T_{сп}$ , °С	$\mu$	$\rho_{dc}$ , Ом·см	$\rho$ , $\text{г}/\text{см}^3$	$\Theta$ , %	$D_{cp}$ , мкм	$\sigma_s$ , $\text{Гс} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	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] Прутулов 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., Малышев А. В. // *Неразрушающий 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.*



## СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ .....	2
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ. Степанов А.В., Усачев Е.Ю., Косарина Е.И. ....	2
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ. Ашихин Д.С., Беркутов И.В., Яковлев Ю.О. ....	3
КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В АРМИРОВАННОМ БЕТОНЕ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ. Петров М.В., Фурса Т.В., Данн Д.Д. ....	3
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ И НУЛЕВАЯ ЭНЕРГИЯ ЗДАНИЙ: РОЛЬ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ. Алдошина О.В., Юрченко А.В. ....	5
ИЗМЕРЕНИЯ СТРУКТУРЫ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОМОГРАФИЧЕСКИМ, ОПТИЧЕСКИМ И ВЕСОВЫМ МЕТОДАМИ. Стучебров С.Г., Батрагин А.В., Бондаренко С.Л., Смирнов С.В. ....	7
ВОЗМОЖНОСТИ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА НА МНОГОКРАТНЫХ ОТРАЖЕНИЯХ. Петров К.В., Муравьева О.В., Зорин В.А., Габбасова М. А. ....	8
ПОСТРОЕНИЕ РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКИ. Шипилов С.Э., Еремеев А.И., Якубов В.П., Антипов В.Б. ....	9
ЭВОЛЮЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ В ИНСТИТУТЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Темник А.К., Чахлов В.Л., Штейн М.М., Чахлов С.В., Осипов С.П., Удод В.А. ....	11
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. Барило А.Е. ....	12
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДВУХСЛОЙНЫХ НЕМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ ИМПУЛЬСНЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ МЕТОДОМ. Славинская Е.А., Савин И.С. ....	13
ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ С ЛИНЕЙНЫМ МИКРОФОКУСОМ, ГЕНЕРИРОВАННОЕ В УЗКИХ МИШЕНЯХ В БЕТАТРОНЕ Б-18. Смолянский В.А., Рычков М.М., Каплин В.В., Маликов Е.Л. Степанов И.Б., Луценко А.С., Генцельман В., Васьковский И.К. ....	14
РЕНТГЕНОВСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ОСНОВЕ КОНТУРНОЙ ТОМОГРАФИИ. Оздиев А.Х., Владимир А.С., Крючков Ю.Ю. ....	15
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОПАР. Абуеллаиль А.А., Солдатов А.А. ....	18
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ДУАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ. Осипов С.П., Удод В.А., Ван Яньчжао ....	20
КОММУНИКАЦИОННЫЙ СИМУЛЯТОР БЕТАТРОНА. Чжун Ян, Чахлов С.В., Ван Яньчжао ....	22
ЭКРАННЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК УРОВНЯ РАСПЛАВА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ. Савин И.С., Славинская Е.А. ....	22
ТРЕХОСЕВАЯ ОРТОГОНАЛЬНАЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩАЯ КАТУШКА ДЛЯ ВИХРЕТОКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ. Суханов Д.Я., Завьялова К.В., Гончарик М.А. ....	24
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ БЕТАТРОННОГО ТОМОГРАФА. Кайралатов Д.У., Мамырбаев Т.А., Чахлов С.В., Осипов С.П. ....	25
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНЫХ НАГРУЗОК В СВАРНЫХ ШВАХ СО СТРУКТУРОЙ МЕТАСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА. Ильинский А.В., Котовщиков И.О., Костюхин А.С. ....	27

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТА. Зятьков Д.О., Юрченко В.И., Балашов В.Б. ....	28
ИССЛЕДОВАНИЕ С ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ МЕТОДОМ ИК ТЕРМОГРАФИИ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СПЛАВА TI - 45 МАС. % NB В КРУПНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СОСТОЯНИИ. Орлова Е.С., Скрипняк В.В., Чулков А.О., Козулин А.А. ....	29
ОЦЕНКА СОБСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ ТОЧКИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ПАНЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Осипов С.П., Осипов О.С., Чинь Ван Бак .....	30
МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СВОЙСТВ АНГИДРИТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА. Федорчук Ю.М., Замятин Н.В., Смирнов Г.В., Русина О.Н., Саденова М.А. ....	32
МЕТОДИКА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ВОДОРАСТВОРИМОГО СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ В НЕКОТОРЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЯХ. Матвиенко В.В., Русина О.Н. ....	33
СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ. Тригуб М.В., Евтушенко Г.С. ....	34
КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ SUBR-ЛАЗЕРА ДЛЯ ВИЗУАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ. Тригуб М.В., Лунев А.Г. ....	36
ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ В ЗАДАЧАХ СКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ. Шидловский С.В. ....	37
ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ. Шашев Д.В. ....	38
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЛИЧНОСТИ. Кузнецов Д.Н., Сырямкин В.И. ....	39
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЕЙ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ. Торгаев С.Н., Кулагин А.Е. ....	40
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЯРКОСТИ НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ. Мусоров И.С., Торгаев С.Н. ....	41
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ПРОГНОЗНЫЙ КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ. Московская Ю.М. ....	42
УСИЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕХОДАХ АТОМА НАТРИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ. Петухов Т.Д., Геннадий С.Е., Торгаев С.Н., Тельминов Е.Н. ....	45
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА БЕТАТРОНА МИБ-7.5/4. Затонов И.А., Штейн М.М. ....	47
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАДАРА ПОДПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С КОММУТИРУЕМОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМОЙ. Балзовский Е.В., Буянов Ю.И. ....	49
ВИХРЕТОКОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ. Белянков В.Ю., Гольдштейн А.Е. ....	50
АНТЕННАЯ РЕШЕТКА 2X2 С РАСШИРЕННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ СО СПЕКТРОМ В ДИАПАЗОНЕ 0.01-2 ГГц В ЗАДАЧАХ БЕСКОНТАКТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И СРЕД. Балзовский Е.В., Буянов Ю.И., Кошелев В.И., Некрасов Э.С. ....	52
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ ПРИ АКУСТИКО- ЭМИССИОННОМ КОНТРОЛЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ. Бобров А.Л. ....	54
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ПРОГНОЗНОГО КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ. Московская Ю.М., Артамонов А.С., Егоров А.Н., Давыдов Г.Г., Бойченко Д.В., Бобровский Д. В., Никифоров А.Ю. ....	55

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ. Галахов А.Н., Митин А.Г., Кондрашов Д.А., Леер А.В., Ефимов В.Г., Охотникова А.Н. ....	57
РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В АО «ФНПЦ «АЛТАЙ». Скоков А.А. Карих В.П., Вьюшков А.В., Охотников А.А., Привалов Г.А. ....	58
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ МАТЕРИАЛА. Попков А.А., Бехер С.А. ....	59
МЕТОД ИНФРАКРАСНОЙ РАДИОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД. Беспалько А.А., Федотов П.И., Чулков А.О., Штирц В.А., Яворович Л.В. ....	61
ПРИМЕНЕНИЕ ТГ(М) МЕТОДА В ИССЛЕДОВАНИЯХ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТОВ. Астафьев А.Л., Лысенко Е.Н. ....	62
ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. Беркутов И.В., Кинжагулов И.Ю., Быченков В.А. ....	64
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТОПОРОШКОВОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. Чеснокова А.А. ....	65
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА ПО ПАРАМЕТРАМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА НА УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ. Данн Д.Д., Фурса Т.В., Петров М.В. ....	67
ТРЕХМЕРНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК. Долматов Д.О. ....	68
НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА МИКРОФОКУСНЫХ ПЯТЕН РЕНТГЕНОВСКИХ ТРУБОК. Усачев Е.Ю., Гнедин М.М., Валиков В.В., Гелевер В.Д., Чернов Е.Б. ....	69
THE MONITORING SYSTEM OF SOLAR CELLS PARAMETERS BASED ON SOC. Yan Yuhao .....	71
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ .....	74
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ. Бехер С.А. ....	74
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ДЕФЕКТОБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ. Степанова К.А., Могутов Т.С., Богоцкая А.С. ....	76
КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТВЭЛОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ. Чинь Ван Бак, Осипов С.П., Батрагин А.В. .....	77
ПРИБОР ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ПРОВОДА. Вавилова Г.В., Гольдштейн А.Е., Мазиков С.В. ....	78
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ Т-ОБРАЗНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ТЕРАОММЕТРАХ. Ермошин Н.И., Якимов Е.В. ....	79
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ. Батрагин А.В., Стариков Н.Н. ....	81
ПРАКТИЧЕСКАЯ ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ПРИНЦИПОВ SAFT С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATLAB. Абрамец В.В., Салчак Я.А., Долматов Д.О. ....	82
К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УСТАНОВКИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ. Кырмакова О.С., Скорюпина К.С., Сечин А.И. ....	83

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СВОЙСТВ АНГИДРИТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА. Русина О.Н., Замятин Н.В., Смирнов Г.В., Саденова М.А. ....	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. Глиненко Е.В., Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Мельнов К.В., Хайруллин А.Р. ....	85
КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ. Герасимов С.И., Сыч Т.В. ....	86
ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ. Иванова Е.И. ....	88
СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. Иванова Е.И. ....	88
ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОТЕРМОКАПИЛЛЯРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗМЕРОВ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НЕТЕПЛОПРОВОДНОМ МАТЕРИАЛЕ. Зыков А.Ю., Иванова Н.А. ....	89
КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ НАЛИЧИИ ПОРИСТОСТИ. Седанова Е.П., Седнев Д.А., Салчак Я.А. ....	90
ПОЛНАЯ ОЦЕНКА СВАРОЧНЫХ ОБЪЕМНЫХ ДЕФЕКТОВ В ИНТРАКОРОНАРНОМ ПРОВОДНИКЕ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ. Хегай А.Г., Батрагин А.В. ....	91
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ. Якунин А.Г., Хуссейн Ш.А.Х.М.Х. ....	93
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНЫХ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ. Стариков Е. С., Сучкова Л.И. ....	94
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПОРТАЛ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Сотников И.Ю., Завозкин С.Ю. ....	96
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ДЕРЕВЯННЫЕ СТРОЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ. Сопруненко Э.Е., Перминов В.А. ....	97
ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА. Коломеец А.О. ....	98
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ВОЗБУЖДЕНИЯ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДНОМ КОНТРОЛЕ ТРУБ. Мышкин Ю.В., Муравьева О.В. ....	100
ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ НАНОДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ. Кырмакова О.С., Назаренко О.Б., Сечин А.И. ....	102
НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ....	103
АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПЛОДА В СИСТЕМЕ МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА. Жданов Д.С., Костелей Я.В., Чехоцкая Е.В. ....	103
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ЧЕЛОВЕКА. Дикман Е.Ю., Жданов Д.С., Костелей Я.В., Буреев А.Ш. ....	105
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ НА НАНОСЕНСОРАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА. Нгуен Данг Куанг, Авдеева Д.К., Иванов М.Л., Наталинова Н.М., Рыбалка С.А., Турушев Н. В. ....	106
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬ ИНСУЛИНА. Арышева Г.В., Аверкиев А.А. ....	108
РАЗРАБОТКА НЕИНВАЗИВНОГО ГЛЮКМЕТРА. Мезенцева М., Юрченко Е., Юрченко А. ....	108

РАЗРАБОТКА ОДНОКАНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЛУБИНЫ АНЕСТЕЗИИ. Симон В.А., Герасимов В.А., Кострин Д.К., Селиванов Л.М. ....	109
БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ МИКРОВОЛНОВАЯ СВЧ ДИАГНОСТИКА. Беличенко В.П., Запасной А.С., Мироньчев А.С. ....	110
СИСТЕМА УФ-ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ. Калиниченко А.Н., Лобанова И.С., Калиниченко Н.П., Соснин Э.А., Гальцева О.В. ....	112
ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ .....	114
ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ГОРОДЕ КАРАГАНДА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН. Якупова О.В., Булатбаев Ф.Н. ....	114
ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ. Нешина Е.Г., Мехтиев А.Д., Алькина А.Д. ....	115
МЕТОД КОНТРОЛЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРИТОВОЙ КЕРАМИКИ. Петрова А.Б., Малышев А.Д. ....	117

Научное издание

**Sibtest 2017: Сборник тезисов**

IV международная конференция по инновациям в неразрушающем  
контроле SibTest

**Издано в авторской редакции**

Компьютерная верстка: *А.В. Охорзина*

