

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**

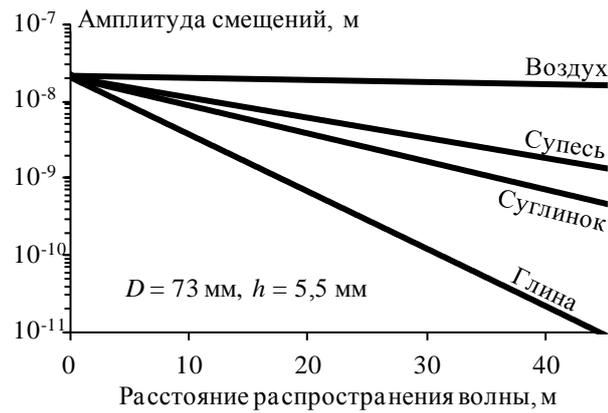
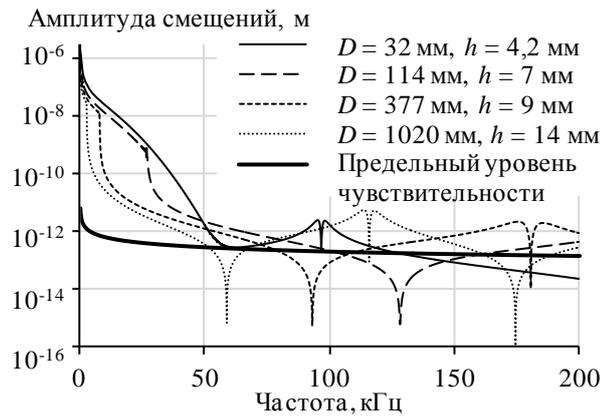
*Мышкин Юрий Владимирович, Муравьева Ольга Владимировна  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования*

*«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).

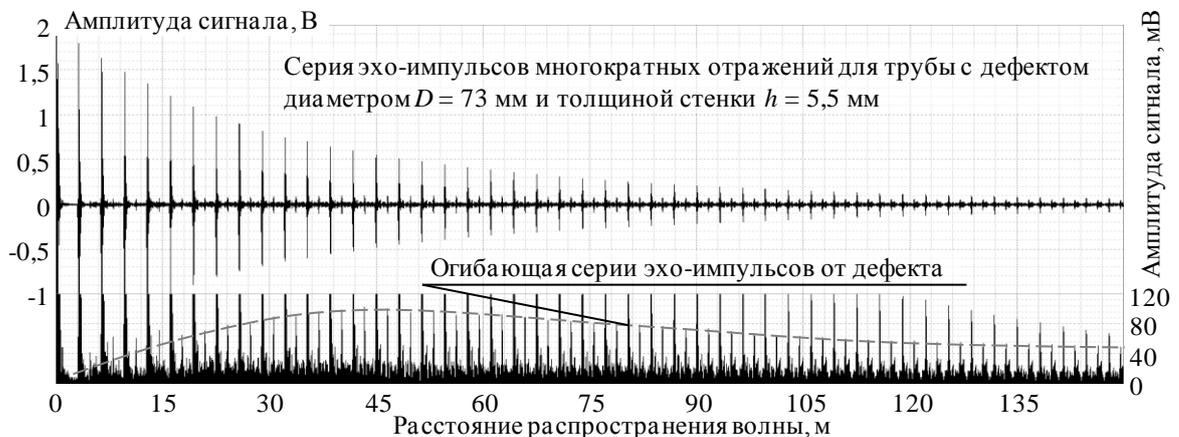


Рис.2. Экспериментальная серия эхо-импульсов многократных отражений крутильной волны от свободных торцов трубы с дефектом

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