

## ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ТРУБОПРОВОДОВ КРУТИЛЬНЫМИ ВОЛНАМИ

© 2025 г. **Василий Юрьевич Чертищев<sup>1\*</sup>, П.В. Соломенчук<sup>2\*\*</sup>**

<sup>1</sup> – ООО «НПЦ «ЭХО+», 123458 Москва, ул. Твардовского, д. 8

<sup>2</sup> – ООО «Константа», 198097 Санкт-Петербург, Огородный переулок, д. 21

\* - [svu@echoplus.ru](mailto:svu@echoplus.ru); \*\* - [pavel257@mail.ru](mailto:pavel257@mail.ru)

Выявление и прогнозирование развития дефектов в протяженных, труднодоступных для других способов контроля объектах, например, дорожных подземных, водных и воздушных переходах и т.п., является сложной и не всегда решаемой задачей. Нормальные волны широко используются для обследования трубопроводов большой протяженности благодаря их характеристикам распространения с низким затуханием. Волноводный контроль позволяет проводить контроль труб без сканирования и использует методику прозвучивания, где низкочастотный импульс запускается с поверхности длинномерного объекта, распространяется по телу и, отразившись от дефекта или особенности геометрии, возвращается обратно и регистрируется. Эхо-сигнал, отраженный от дефекта, меняется не только в зависимости от его глубины, но и от его длины с учетом частоты контроля. Оценка размеров дефектов при контроле крутильными волнами является сложной задачей [1]. Помимо этого, в стадии разработки и внедрения по всему миру находится несколько систем мониторинга на основе контроля крутильных волн [2, 3]. Из-за высокой зашумленности и изменения скорости звука и влияния продукта записанные периодические сигналы могут существенно отличаться. Приведены результаты изысканий, направленных на создание подхода к точному измерению оцениваемых размеров дефектов с автоматической калибровкой к единому уровню величин.

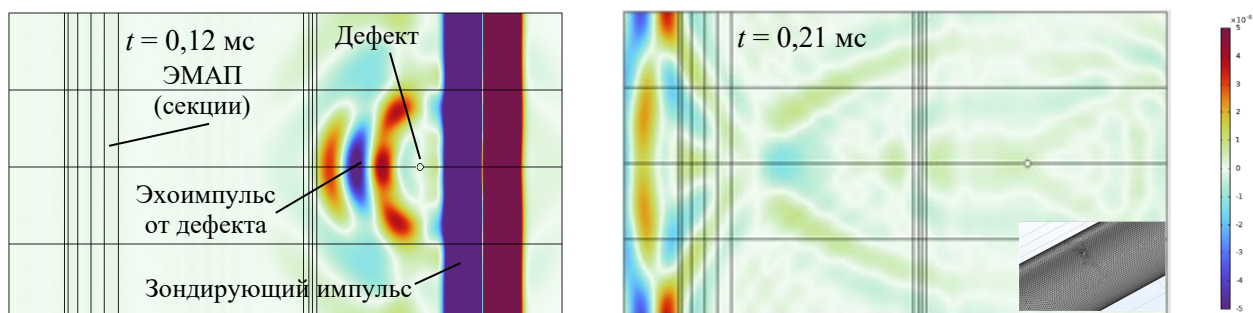


Рис. 1. Развертка внешней поверхности трубы с цветовой картой крутильной компоненты смещений при отражении от сквозного отверстия диаметром 6 мм

Анализ процесса распространения эхо-импульса частотой 64 кГц от дефекта в трубе диаметром 89 мм с толщиной стенки 4 мм на основе конечно-элементного моделирования (Рис. 1) показал, что его фронт является цилиндрическим (расходящимся), но стремится к плоскому с увеличением расстояния от дефекта. Получены цветные карты распределения

смещений крутильных волн и всех компонентов смещений в разные моменты времени при отражении от сквозного круглого отверстия.

Для расчета амплитуды сигналов, отраженных от дефекта, используют аналитическую модель, базирующуюся на известных зависимостях прохождения акустического импульса через границу с иными акустическими свойствами. Расчет аналитической модели проводится с использованием методов спектрального анализа и реализуется в средах типа MathCAD. Для нескольких типов отражателей выполнено сравнение результатов аналитической модели с результатами конечно-элементной модели в программной среде COMSOL (с учетом связанных явлений и мультифизики). На рис. 2 приведен пример данных для отражателя в виде кольцевой проточки. Предложена методика частотнозависимой оценки размеров дефекта с калибровкой по опорному отражателю: площади в процентах от площади поперечного сечения и осевой протяженности. Выполнено успешное экспериментальное опробование предложенной методики для труб диаметрами 89 и 108 мм с искусственными дефектами в виде сегментных пазов и сверлений. Предложены направления дальнейших изысканий.

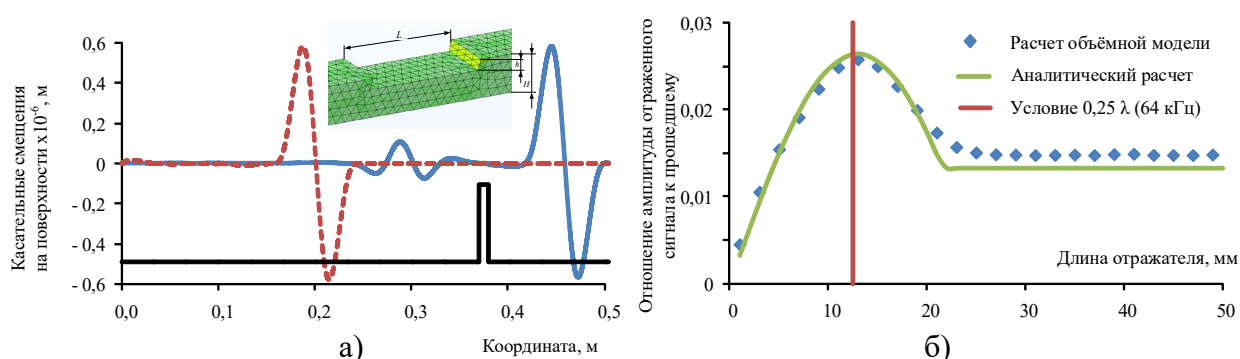


Рис. 2. Амплитуды сигналов, отраженных от дефекта: а) касательные смещения при движении зондирующего импульса и сигнал, отраженный и прошедший через дефект; б) сравнение результатов аналитической и конечно-элементной моделей

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муравьева О.В., Муравьев В.В., Стрижак В.А., Мурашов С.А., Пряхин А.В. Акустический волноводный контроль линейно-протяженных объектов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 234 с.
2. Славин А.В., Далин М.А., Диков И.А., Бойчук А.С., Чертищев В.Ю. Современные тенденции развития акустических методов неразрушающего контроля в авиационной отрасли (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 12(106). С. 96–106.
3. Yi-Gon Kim, Hong-Sik Moon, Kyung-Jo Park, Jeong-Ki Lee. Generating and detecting torsional guided waves using magnetostrictive sensors of crossed coils // NDT&E International. 2011. V. 44. No. 2. P. 145–151.