

Секция «Математика, информационные технологии и их приложения»

## О КОНТРОЛЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИИ

*Терентьев Владислав Александрович*

*Аспирант*

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Факультет математики и информационных технологий, Саранск, Россия

*E-mail: gtx05112000@gmail.com*

Надежность трубопроводных систем и механических узлов, используемых при транспортировке флюидов, фундаментально зависит от качества цилиндрических труб и штанг. Для обеспечения их безаварийной работы перспективным является зеркально-теневой метод (ЗТМ) неразрушающего контроля с использованием проходных электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП). Данный метод позволяет возбуждать упругие волны бесконтактно и выявлять дефекты по изменению параметров многократно переотраженных эхо-импульсов.

Математическая модель процесса представляет собой слабосвязанную систему дифференциальных уравнений в частных производных: квазистационарных уравнений Максвелла для расчета вихревых токов и объемной силы Лоренца, а также волнового уравнения эластодинамики для описания распространения упругих волн. Ранее данная задача была решена К.В. Петровым с применением коммерческого пакета COMSOL Multiphysics. Было показано, что в цилиндре возникает акустическая фокусировка, а наличие овальности сечения вызывает амплитудную модуляцию эхо-сигналов.

Однако использование проприетарного программного обеспечения имеет ряд недостатков. Закрытая архитектура (black-box) не позволяет глубоко модифицировать вычислительное ядро, а жесткие лицензионные ограничения препятствуют масштабированию вычислений на суперкомпьютерных кластерах. Это критически затрудняет массовую генерацию синтетических данных, необходимых для современных систем машинного обучения.

Анализ показал, что при численном моделировании акустических волн методом конечных элементов (МКЭ) необходимо учитывать строгие вычислительные ограничения. Чтобы виртуальная волна не искажалась, требуется создание очень мелкой расчетной сетки, размер ячейки которой в несколько раз меньше длины волны. Кроме того, стандартные алгоритмы расчета во времени часто вносят погрешности и искусственно «гасят» высокочастотные колебания. Поэтому разрабатываемая архитектура открытого решателя (на базе библиотек семейства FEniCS или SfePy) будет использовать специализированные математические схемы, позволяющие сохранять энергию ультразвука на протяжении множества отражений без потери точности.

В настоящий момент сформирован математический аппарат и вычислительные критерии для разработки программного комплекса. На первом этапе реализации планируется автоматизация параметрических расчетов через интеграционные Python-обертки, что позволит сгенерировать масштабный массив синтетических осциллограмм. В дальнейшем этот датасет будет использован для решения обратной задачи дефектоскопии труб с помощью алгоритмов машинного обучения.

### Источники и литература

- 1) Петров К.В. Зеркально-теневой метод контроля цилиндрических изделий с использованием электромагнитно-акустических преобразователей: дис.... канд. техн. наук. Ижевск, 2020. 134 с.

- 2) [fenicsproject.org](http://fenicsproject.org) (The FEniCS computing platform).
- 3) [mph.readthedocs.io](http://mph.readthedocs.io) (MPh: Pythonic scripting interface for Comsol Multiphysics)