

0.1. Кожмяченко А.А., Фаворская А.В., Филиппенко П.С. Сеточно-характеристический метод на химерных сетках для численного моделирования трехмерной задачи ультразвукового неразрушающего контроля рельсового полотна

В условиях длительной эксплуатации железнодорожного полотна в материале рельсов образуются разные контактно-усталостные повреждения, в том числе микротрещины, дефекты, которые могут быть визуально не видны на рабочей поверхности рельса. Поэтому актуально использовать методы неразрушающего контроля [1], позволяющие следить за состоянием различных объектов мониторинга в условиях их длительного срока эксплуатации. Из них ультразвуковые методы [2], основанные на линейной зависимости между временем прохождения волны и напряжением эластичного материала, просты в использовании и демонстрируют высокую эффективность при рассмотрении металлических объектов в виду их сильной проникающей способности и высокой чувствительности [3].

В исследовании представлено численное моделирование прямой задачи ультразвукового неразрушающего контроля рельсового полотна сеточно-характеристическим методом в трехмерной постановке. Сложность задач этого класса обусловлена высокими частотами волн, что накладывает ограничение на размер шага расчетной сетки, а также сложной геометрией самого профиля рельса. В работе рассмотрена возможность использования химерных (наложенных) сеток, позволяющих точно воспроизвести форму рельса. Для создания химерной сетки использован специальный алгоритм, который разбивает криволинейную внутреннюю и внешнюю границы профиля рельса на сегменты. Форма сегментов задается аналитически в соответствии с рассматриваемым профилем и технической документацией. При этом между декартовой сеткой, выступающей в роли фоновой расчетной сетки, и химерной сеткой установлен алгоритм взаимной интерполяции.

На примере рассматриваемой задачи был проведен анализ сеточной сходимости численного алгоритма сеточно-характеристического метода с использованием химерных сеток. При этом рельс относится к типу объектов с повторяющимся криволинейным сечением вдоль выделенного пространственного направления. С учетом этого наблюдения была получена модификация сеточно-характеристического метода на криволинейных сетках, позволяющая снизить количество вычислительных операций за счет использования упрощенных математических выражений [4]. В результате получены трехмерные волновые картины визуализирующие распространение волнового сигнала в задаче ультразвукового неразрушающего контроля, которые могут ис-

пользованы для дальнейшего анализа на предмет присутствия или отсутствия дефектов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-71-10028, <https://rscf.ru/project/20-71-10028/>.

Список литературы

- [1] ROSSINI N.S., DASSISTI M., BENYOUNIS K.Y., OLABI A.G. Methods of measuring residual stresses in components // *Materials and Design*. 2012. Vol. 35. P. 572–588.
- [2] LI Z., HE J., TENG J., WANG Y. Internal Stress Monitoring of In-Service Structural Steel Members with Ultrasonic Method // *Materials*. 2016. Vol. 9(4). P. 223.
- [3] ALANAKOON S., SUN Y.Q., SPIRYAGIN M., COLE C. Rail flaw detection technologies for safer, reliable transportation: a review // *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 2018. Vol. 140(2). P. 020801.
- [4] KOZHEMYACHENKO A., FAVORSKAYA A., PESNYA E., STETSUYUK V. Modification of the Grid-Characteristic Method on Chimera Meshes for 3D Problems of Railway Non-Destructive Testing // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2023. Vol. 44(1) P. 376–386.