

Секция «Математика и механика»

Исследование сейсмических волн в упругом полупространстве от движущихся нагрузок

Кузнецова Мария Сергеевна

Студент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,

Робототехника и комплексная автоматизация, Москва, Россия

E-mail: kuzn-maria@yandex.ru

В работе исследуется задача о волнах, распространяющихся в упругом полупространстве от движущихся нагрузок. Эта задача имеет важное практическое значение, т.к. волны, возникающие от движущихся нагрузок внутри полупространства, являются аналогом антропогенных волн, возникающих при движении железнодорожного или автомобильного транспорта внутри туннелей.

Динамические задачи о распространении акустических волн в упругой полуплоскости или полупространстве, по-видимому, впервые рассмотрены в статье [4], где намечен путь сведения внутренней и внешней задач Лэмба о движущихся нагрузках к системе интегральных уравнений. Решение полученных Лэмбом интегральных уравнений удалось получить с помощью метода Каньяра [2] лишь в предположении о равномерном и прямолинейном движении вертикальной нагрузки внутри или на поверхности полупространства.

С задачей о движущихся нагрузках связаны две другие задачи, также рассмотренные Лэмбом [5], - это задача о динамическом действии на границу полупространства или полуплоскости сосредоточенной силы, меняющейся во времени (внешняя задача Лэмба); и аналогичная задача о силе, меняющейся во времени и приложенной внутри упругого полупространства или полуплоскости (внутренняя задача Лэмба). Надо отметить, что аналитические решения этих задач, существенно более простых, чем задачи о движущихся нагрузках, в случае импульсных нагрузок, меняющихся во времени как функция Хевисайда, получены значительно позднее [1].

В настоящей работе задачи Лэмба о движущихся и неподвижных нагрузках исследованы с помощью явных разностных схем при интегрировании по времени в сочетании с методом конечных элементов по пространственным переменным.

На первом этапе в работе проведен конечноэлементный анализ решений внешней задачи Лэмба от неподвижной сосредоточенной силовой нагрузки, меняющейся во времени в виде дельта-импульса. Осуществлено сравнение численных результатов с аналитическими; показано, что в непосредственной близости от эпицентра рэлеевские волны доминируют над объемными, что подтвердило полученные ранее асимптотические оценки [1]. Исследовано влияние вариации размеров конечных элементов на динамические поля перемещений. Показано, что, как при тетраэдральных, так и гексагональных элементах наблюдается сходимость полученных численных значений перемещений в точках наблюдения при уменьшении размеров конечных элементов (сходимость сеточных аппроксимаций). В рамках исследовавшихся конечноэлементных аппроксимаций численной неустойчивости не обнаружено.

На втором этапе для той же внешней задачи Лэмба исследовалось применение конечных элементов с большой вязкостью, моделирующих неотражающие границы. В

соответствии с рекомендациями [3], в этих элементах вязкость принималась численно равной произведению скорости быстрой объемной волны на плотность. Обнаружено, что в исследованном классе задач такие элементы весьма эффективно гасят как продольные, так и поперечные отраженные волны.

На завершающем этапе, по-видимому, впервые с помощью конечноэлементного метода исследовались динамические поля, вызванные движением груза внутри упругого полупространства. Далее, на основе разработанной методики для решения внутренней задачи Лэмба о движущейся нагрузке создана пространственная модель туннеля мелкого заложения с нагрузкой, движущейся внутри туннеля. Решение этой задачи осуществлялось с помощью метода конечных элементов в сочетании с явными разностными схемами. При анализе динамических полей перемещений, определяемых на вершине рельса, обнаружено появление бегущих волн Рэлея-Лэмба, распространяющихся со скоростью, незначительно превышающей скорость рэлеевской волны в грунте. Интересно отметить, что при вариации скорости движения груза в весьма широком (дозвуковом) диапазоне эффектов изменения скорости волн Рэлея-Лэмба не обнаружено. Проведенные исследования выявили еще один интересный эффект, сопровождающий движение нагрузки в туннеле. Этот эффект связан с появлением короткопериодных колебаний и соответствующих коротких волн в исследуемой системе. Появление этих короткопериодных колебаний может быть объяснено «проседанием» рельса под грузом между соседними шпалами.

Литература

1. Поручиков В.Б. Методы динамической теории упругости. М.: Наука, 1986.
2. Cagniard L. Reflexion et refraction des ondes seismiques progressives. Paris: Gauthier-Villard, 1939. 255 p.
3. Fish J., Belytchko T. A first course in finite elements. NY: Wiley, 2007, 336p.
4. Lamb H. On waves due to a travelling disturbance, with an application to waves in superposed fluids, *Philosophical Magazine*, 1916, vol.13, pp. 386-399, 539-548.
5. Lamb H. On the Propagation of Tremors over the Surface of an Elastic Solid, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser.A*, 1904, vol. 203, pp. 1-42.