

Моделирование колебаний при импульсном воздействии многослойной конструкции в комплексе *Ansys*

*А.В. Черпаков^{1,2}, О.В. Шиляева², С.Ю. Боткин², Э.В. Гаряев²,
Р.С. Кармацких², В.А. Лынный²*

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

²*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

Аннотация: Рассмотрено моделирование многослойной конструкции в конечно-элементном комплексе *Ansys*. Конструкция состоит из 10 слоев, каждый из которых обладает определенными свойствами. Модель является имитацией грунтового основания дорожного покрытия. Рассматривается моделирование в виде упрощенной, плоской постановки задачи. Проведен анализ колебаний при ударном воздействии. Анализируется волновое поле смещений на заданном участке конструкции. На основе численного эксперимента построен подход к оценке характеристик слоя.

Ключевые слова: многослойная конструкция, вибродиагностика, моделирование, МКЭ, *Ansys*, импульсное воздействие, динамика, колебания

Основные методы анализа поведения строительных конструкций можно разделить на аналитические и численные. К первой группе относятся методы, основанные на интегрировании дифференциальных уравнений равновесия элементов конструкции при различных условиях их деформирования. Точные аналитические методы практически применимы лишь в случае небольшого количества элементов, составляющих конструкцию. В этом случае используют хорошо разработанные в строительной механике метод сил и метод перемещений в матричной форме [0]. Для сложных пространственных конструкций наиболее просто применить численные методы анализа, основными из которых являются методы граничных элементов (МГЭ) [2], метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ) [3-5].

Для установления однородности структуры материалов, хорошо себя зарекомендовал вибродиагностический метод исследования. Данный метод является неразрушающим и может быть использован как для выявления

дефектов в структуре материала, так и для оценки эффективности восстановления целостности структуры рассматриваемой конструкции и отдельных ее участков [6,7].

Примеры моделирования элементов простых конструкций при решении задач идентификации параметров дефектов, свойств конструкции представлены в работах [8-10]. Рассматриваются как простые аналитические модели, так и более сложные модели с применением метода конечных элементов в различных пакетах. Применяется также экспериментальное моделирование для подтверждения численных расчетов.

Целью работы является построение модели и отработка принципов решения задачи идентификации параметров слоев в многослойной структуре при импульсном ее возбуждении.

Рассмотрим задачу в плоской постановке. В качестве моделируемой структуры выбран элемент дорожной многослойной конструкции, включающий 10 слоев. На рис. 1 приведен пример физической структуры «базовой» системы «дорожная конструкция – грунт». Цифрами на рисунке обозначены номера элементов системы, физические и геометрические характеристики которых приведены в таблице 1.

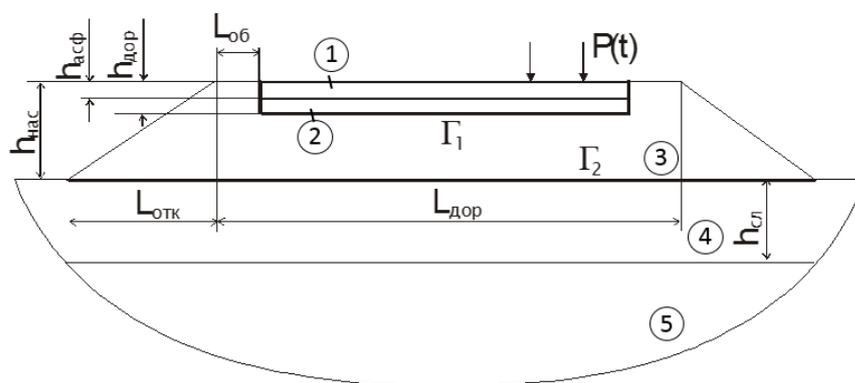


Рис. 1. Геометрические характеристики исследуемой модели

Таблица № 1

Параметры слоев

№ слоя	Наименование	Толщина, м	Е, МПа	ρ , кг / м ³	ν	коэф. затухания
1	Асфальтобетон	0.2	2150	2250	0.33	0.0006
2	Несвязные слои	0.5	283	1900	0.33	0.0005
3	Насыпь	3	47	1700	0.33	0.0005
4	Подстилающий слой	5	47	1700	0.33	0.0005
5..10	Подстилающее полупространство	5	350	1770	0.33	0.00045

Верхний, выделенный элемент конструкции имеет наклонные торцы. Все слои жестко сцепленных между собой и с подстилающим полупространством (рис. 2). В качестве входных параметров рассматривается поле смещений поверхности в результате кратковременного импульсного воздействия. Импульс в виде силы P единичной амплитуды прикладывается в точке 1 (рис. 2). Анализируется волное поле, на участке, прилежащем к точке воздействия на поверхности слоя 1 (рис. 3б). Исследование характеристик волн, распространяющихся в слоистой структуре, проводится на основе реализации МКЭ с использованием комплекса *Ansys*.

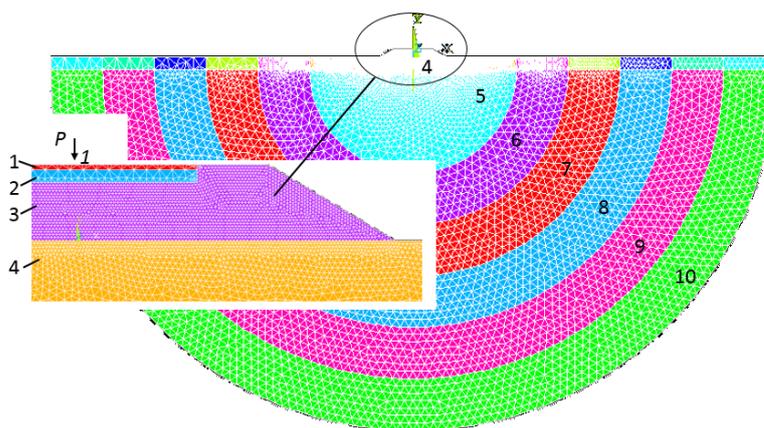


Рис. 2. Схема слоистой конструкции

Вследствие импульсного нагружения возникает волна смещений точек поверхности конструкции. В процессе решения задачи анализируются поперечные смещения в контрольных точках 1-5 конструкции на

определенном временном интервале. На рис. 3б приведены поперечные смещения в различных точках точек поверхности. Анализируется интервал времени 0.005 с.

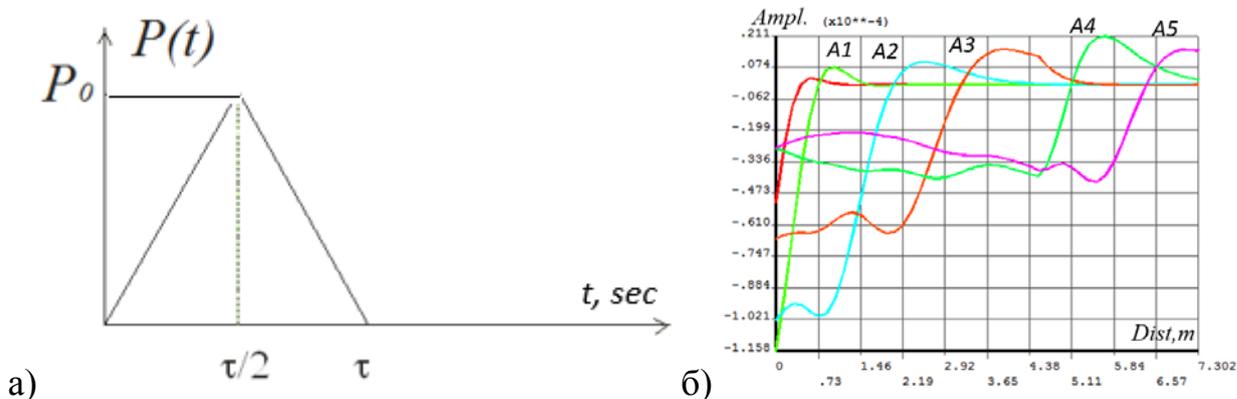


Рис. 3. (а) Диаграмма импульсной нагрузки в виде силы P , приложенной в точке 1. (б). Распределение амплитуд смещений пробегающей поперечной волны в различных точках в различные моменты времени (A1-A5)

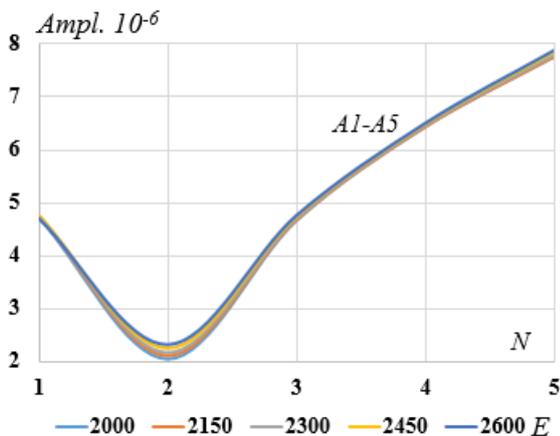


Рис.4. Распределение амплитуд колебаний в 5 различных точках в зависимости при различных вариациях модуля упругости первого слоя
Анализ. Анализ колебаний в точках 1-5 показывает, что волна колебаний при прохождении по поверхности изменяет амплитуду. В точке A1 в зависимости от вариации модуля упругости первого слоя его зависимость от модуля упругости изменяется нелинейно. В точках 2-5, при амплитудах колебаний при различных вариациях модуля упругости зависят линейно. На рис 4

показан пример зависимости амплитуд колебаний при различных вариациях модуля упругости первого слоя.

Заключение. Рассмотрена задача о нестационарных колебаниях при импульсном нагружении слоистой конструкции. Приведены результаты поперечных смещений в контрольных точках конструкции при распространении волны от импульсного возбуждения в определенной точке. При моделировании в качестве анализируемого рассмотрен промежуток времени, в котором не учитываются эффекты обратного прохождения волны. Использование оптимизации в комплексе *Ansys* позволило, ускорить процесс решения задачи. Но данная задача требует сравнения с моделью, использующую 3D полнотелые элементы.

Работа выполнена при частичной поддержке Минобрнауки России № БЧ0110-11/2017-20, РФФИ (проект 16-08-00740 А).

Литература

1. Спицына Д.Н. Строительная механика стержневых машиностроительных конструкций. М.: Высшая школа, 1977. – 248 с.
2. Оробей В.Ф., Дашенко А.Ф., Андриенко Н.Н. Метод граничных интегральных уравнений в расчетах линейных систем. К.: Наукова думка, 1996. – 391 с.
3. Холопов И.С., Лосева И.В. Расчет плоских конструкций методом конечного элемента. Саратов: 2014. 102 с.
4. Михайлин Р.Г. Методика численного моделирования усиления основания дорожных одежд автомобильных дорог георешетками. Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С. 72-76.
5. Черпаков А.В., Шиляева О.В., Нестеренко А.В., Пономаренко А.В., Шенцова К.В., Гераськина В.Е. Моделирование волновых процессов в

стенной конструкции с дефектом в виде трещины // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5430

6. Sergey Shevtsov, Arkady N.Soloviev, Ivan A. Parinov, Alexander V. Cherpakov, Valery A. Chebanenko. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting - Research and Development. Springer Cham, Switzerland. 2018. – 182 p. ISBN: 978-3319756288

7. Cherpakov, A.V., Shlyakhova, E.A., Egorochkina, I.O., Kokareva, Y.A. Identification of concrete properties in beam-type structures with defects based on dynamic methods // Materials Science Forum. Volume 931 MSF, 2018, pp. 373-378

8. Шатилов Ю.Ю. Локализация дефектов железобетонной колонны при помощи методов вибрационной диагностики // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723

9. Шатилов Ю.Ю., Эксюзян К.А. Идентификация повреждений несущих стальных конструкций моста вибрационными методами диагностики // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762

10. Майстренко А.В. Расчет силовых нагрузок конструкций при испытаниях на отрыв // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2097

References

1. Spicyna D.N. Stroitel'naya mekhanika sterzhnevyyh mashinostroitel'nyh konstrukcij [Structural mechanics of rod engineering constructions]. M.: Vysshaya shkola, 1977. 248 p.

2. Orobej V.F., Dashchenko A.F., Andrienko N.N. Metod granichnyh integral'nyh uravnenij v raschetah linejnyh sistem [The method of boundary integral equations in the calculations of linear systems]. K.: Naukova dumka, 1996. 391 p.



3. Holopov I.S., Loseva I.v. Raschet ploskih konstrukcij metodom konechnogo ehlementa [Finite Element Analysis of Flat Structures]. Saratov, 2014. 102 p.
4. Mihajlin R. G. Fundamental research. 2017. № 2. pp. 72-76.
5. Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Nesterenko A.V., Ponomarenko A.V., Shencova K.V., Geras'kina V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/543031
6. Sergey Shevtsov, Arkady N.Soloviev, Ivan A. Parinov, Alexander V. Cherpakov, Valery A. Chebanenko. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting - Research and Development. Springer Cham, Switzerland. 2018. 182 p. ISBN: 978-3319756288
7. Cherpakov, A.V., Shlyakhova, E.A., Egorochkina, I.O., Kokareva, Y.A. Materials Science Forum. Volume 931 MSF, 2018, pp. 373-378.
8. Shatilov Yu.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723
9. Shatilov Yu.Yu, Eksuzyan K.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762
10. Majstrenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2097