

УДК 517.9

Н. И. Хохлов, В. И. Голубев

Московский физико-технический институт

(государственный университет)

E-mail: w.golubev@mail.ru

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ТЫЛЬНОГО ОТКОЛА

Целью данной работы являлось исследование процесса формирования откольной тарелки при соударении деформируемых твердых тел. Рассмотрена модель образования трещин при разрушении материала, что приводит к изменению реологии. Получено численное решение данной задачи в двумерной постановке.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, разрушение материала, реологические соотношения.

#### Постановка задачи

В двумерной постановке динамическое состояние деформируемого твердого тела описывается следующей системой уравнений [1]:

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial V_x}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y}, \\ \rho \frac{\partial V_y}{\partial t} &= \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y}, \\ \dot{\sigma}_{ij} &= q_{ijkl} \dot{\varepsilon}_{kl}.\end{aligned}$$

Здесь  $\rho$  – плотность среды,  $V_x$ ,  $V_y$  – компоненты скорости движения,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{kl}$  – компоненты тензоров напряжения и деформаций линейно-упругого тела, которое рассматривалось в работе, имеем

$$q_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}).$$

© Н. И. Хохлов, В. И. Голубев, 2018

© Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

В этом соотношении  $\lambda$  и  $\mu$  – упругие постоянные Ламе,  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера.

Для решения записанной системы уравнений использовался сеточный характеристический метод на гексаэдральных сетках [2]. Дискретизация процесса разрушения позволяла производить учет изменения реологии материала. На каждом временном шаге расчета производился анализ деформированного состояния в каждом узле расчетной сетки. При достижении порогового напряжения обозначалось создание новой трещины с нормалью, перпендикулярной главному напряжению. При дальнейшем расчете устранялись нормальные и тангенциальные компоненты тензора напряжений, что соответствует раскрытой трещине.

#### Результаты моделирования

На рис. 1 приведены результаты тестового расчета. Толщина откольной тарелки составляла 1/10 толщины мишени. Виден процесс тыльного откола откольной тарелки. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2888.2017.9.



Рис. 1. Процесс тыльного откола откольной тарелки и внутренних трещин в деформируемом твердом теле

#### Литература

1. Мезанжа енлошной среды. Т. 1. – М.: Наука, 1970. – 492 с.
2. Хохлов Н. И., Голубев В. И. Сеточно-характеристические численные методы. – М.: Наука, 1988. – 288 с.

Получено 30.04.2018

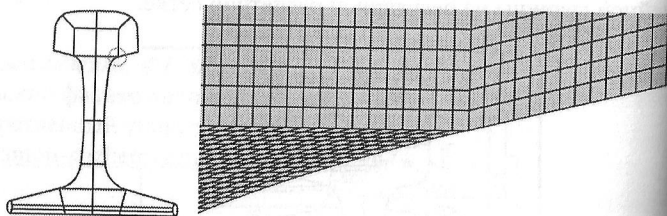


Рис. 2. Построенная компьютерная модель Р-65

### Заключение

Созданы расчетные криволинейные сетки, повторяющие геометрию железнодорожного рельса Р-65. Исследуемый метод покрытия можно применить к железнодорожным рельсам любой другой формы. Поперечные профили железнодорожных рельсов можно использовать для моделирования пространственных динамических волновых процессов и решения прикладных вычислительных задач ультразвуковой дефектоскопии с применением нейронных сетей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, ОАО «РЖД» в рамках научного проекта № 17-20-01096.

### Литература

1. Петров И.Б., Голубев В.И., Хохлов Н.И., Фаворская А.В., Миряха В.А., Семенов А.В., Беклемишева К.А. Динамическая диагностика элементов пути // Вестник института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2013. № 4. – С. 82–95.
2. Петров И.Б., Фаворская А.В., Голубев В.И., Хохлов Н.И., Миряха В.А., Семенов А.В. Мониторинг состояния подвижного состава с помощью высокопроизводительных вычислительных систем и высокоточных вычислительных методов // Математическое моделирование. 2014. – Т. 26, № 7. – С. 19–32.
3. Biryukov, V.A., Miryakha, V.A., Petrov, I.B., Khokhlov, N.I. Simulation of elastic wave propagation in geological media: Intercomparison of three numerical methods // International Mathematics and Mathematical Physics. 2016. – V.6, N 56. – P. 1086–1095.

Получено

Фаворская, А. С. Кабанова  
Физико-технический институт  
Государственный университет  
favorskaya@yandex.ru, kabanova@phystech.edu

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ИНФРАСТРУКТУРУ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Основной задачей данной работы является создание численной модели взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути, позволяющей учитывать различные типы вагонов и локомотивов, а также различные земляные полотна и грунты, состав железнодорожного пути.

**Ключевые слова:** железная дорога, сеточно-характеристический метод, поперечный расчет нагрузки пути, граничное условие.

### Введение

Численное моделирование взаимодействия железнодорожного пути и подвижного состава позволяет исследовать процессы, происходящие при движении поездов в рельсах и колесных парах вагонов или локомотивов.

### Постановка задачи

Представлена модель ж/д пути в координатах, принятых в ПО «Математическое моделирование» для расчета нашей модели. Границы каждого элемента задаются координаты вида (AXIS, SIDE): левая – (0, 0), правая – (1, 0), нижняя – (1, 1).

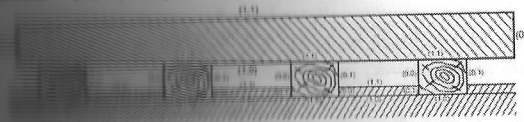


Рис. 3. Модель ж/д пути и области интегрирования

© 2018  
Физико-технический институт (государственный университет), 2018