

## РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 624.1+534.1

### ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАРНОГО ПОГРУЖЕНИЯ ТРУБЫ В ГРУНТ С СУХИМ ТРЕНИЕМ. Ч. II. ВНЕШНЯЯ СРЕДА ДЕФОРМИРУЕМА

**Н. И. Александрова**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: alex@math.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Исследуется распространение продольных волн в упругой трубе, частично погруженной в среду с сухим трением. Математическая постановка задачи ударного погружения трубы в грунт опирается на модель продольных колебаний упругого стержня с учетом бокового сопротивления. Боковое действие грунта описывается законом контактного сухого трения. Решен ряд задач о продольном нагружении трубы, взаимодействующей с внешней упругой средой, проведено сопоставление численных и аналитических результатов. Сравниваются расчеты, полученные с учетом и без учета деформируемости среды, окружающей трубу.

*Продольные волны, упругий стержень, сухое трение, импульсное нагружение, численное моделирование*

Проблемы “поведения” труб в грунте возникают во многих технологических процессах: забивка и ударное извлечение свай, бестраншейная прокладка подземных коммуникаций с помощью забивания металлических труб в грунт, поведение подземных трубопроводов при землетрясениях. Движение разного рода стержневых элементов в механических системах также сопровождается трением. Одной из важнейших задач при этом является изучение влияния на волновой процесс трения внешней среды и боковой поверхности трубы или стержня. Исследованию вопросов взаимодействия тел с учетом трения посвящена обширная литература [1–40]. В [1–10] можно найти обзоры и исторические очерки по данной тематике.

Впервые волновые процессы в стержнях, окруженных средой, были рассмотрены Н. М. Герсевановым [11] в 1930 г. на основе теории Сен-Венана в связи с проблемой забивки свай в грунт. В дальнейшем задача о распространении продольных волн в стержне, на поверхности которого действует постоянная по амплитуде, но разная по направлению сила сухого трения, исследовалась в [7–25]. В этих работах внешняя среда, окружающая стержень, предполагается недеформируемой. Используется общий метод решения таких задач, который состоит в сведении рассматриваемой нелинейной задачи к ряду решаемых последовательно линейных задач. Основная проблема связана с определением границ областей по времени и продольной коор-