

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

научный журнал

Основан в 1965 г.
Выходит 6 раз в год

Учредители:
Сибирское отделение РАН
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН

Главный редактор

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. **В. Н. Опарин**

Заместитель главного редактора

д.ф.-м.н. **Л. А. Назаров**

Ответственный секретарь

д.т.н., проф. **В. М. Серяков**

Редакционная коллегия

Д.т.н., проф. А. А. Барях, акад., д.ф.-м.н., проф. И. В. Бычков, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Г. И. Грицко, д.т.н., проф. С. Г. Емельянов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Д. Р. Каплунов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. В. И. Клишин, д.т.н., проф. А. А. Козырев, д.т.н. С. А. Кондратьев, д.т.н., проф. С. В. Корнилков, д.т.н., проф. А. В. Корчак, акад., д.т.н., проф. М. В. Курленя, д.т.н., проф. В. П. Мазикин, акад., д.т.н., проф. Ю. Н. Малышев, акад., д.т.н., проф. Н. Н. Мельников, д.т.н., проф. В. Е. Миренков, д.т.н. А. А. Ордин, д.т.н. Н. А. Попов, д.т.н., проф. В. П. Потапов, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Л. А. Пучков, д.т.н., проф. И. Ю. Рассказов, д.ф.-м.н., проф. А. Ф. Ревуженко, д.т.н. А. Г. Секисов, д.т.н. Б. Ф. Симонов, д.т.н., проф. Б. Н. Смоляницкий, д.т.н. А. П. Тапси́ев, д.т.н. С. М. Ткач, акад., д.т.н., проф. К. Н. Трубецкой, д.т.н., проф. А. М. Фрейдин, акад., д.т.н., проф. В. А. Чантурия, д.ф.-м.н., проф. А. И. Чанышев, к.т.н. В. И. Ческидов, д.ф.-м.н. Е. Н. Шер, д.т.н., проф. В. Л. Шкуратник, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. В. Л. Яковлев, д.т.н., проф. Д. В. Яковлев

Международный редакционный совет

Д.т.н., проф. М. В. Айзенберг-Степаненко (Израиль), чл.-корр. НАН Украины, д.т.н., проф. А. В. Анциферов (Украина), акад. НАН КР, д.т.н., проф. И. Т. Айтматов (Кыргызстан), д.ф.-м.н. А. А. Баймухаметов (Казахстан), проф. В. Буш (Германия), акад., проф. С. Вуйич (Сербия), проф. Р. Гангули (США), проф. О. Гювен (Турция), проф. П. Дауд (Австралия), проф. Р. Димитракопулос (Канада), проф. К. Дребенштедт (Германия), проф. Й. Дубинский (Польша), проф. А. Касали (Чили), проф. П. Кноль (Германия), проф. М. Коли (Италия), чл.-корр. НАН КР, д.т.н., проф. К. Ч. Кожогоулов (Кыргызстан), проф. Д. Колимбас (Австрия), д.т.н. В. А. Мансуров (Казахстан), проф. Р. Миннит (Южная Африка), проф. Пан И-Шан (Китай), проф. К. Пинто (Бразилия), проф. Л. Тотев (Болгария), акад., проф. Цянь-Циху (Китай)

Журнал переводится на английский язык и издается в США Международной академической компанией "Наука / Интерпериодика" по контракту с Kluwer Academic / Plenum Publishers под названием "Journal of Mining Science"

Заведующая редакцией **В. Н. Валиева**

Адрес редакции: Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия.
Тел.: (383) 217-00-48. Факс: (383) 217-06-78. E-mail: edit@misd.nsc.ru
<http://www.sibran.ru/ftpwpw.htm>, www.misd.nsc.ru/publishing/jms

Новосибирск
Издательство Сибирского Отделения РАН

© Сибирское отделение РАН, 2015
© Институт горного дела СО РАН, 2015

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ

НОМЕР 2, 2015

МАРТ – АПРЕЛЬ

ГЕОМЕХАНИКА

В. Н. Опарин, В. Ф. Юшкин, Н. А. Кулинич, Д. Е. Рублев, А. В. Юшкин

О верификации кинематического выражения для волн маятникового типа по данным сейсмических измерений в условиях рудника Таштагольский и мраморного карьера Искитимский 3

Р. Л. Салганик, А. А. Мищенко, А. А. Федотов

Напряженное состояние в окрестности выработки, пройденной в глубокозалегающем горизонтальном пласте 24

В. И. Юшин, Д. Е. Аюнов

О тепловом эффекте при механическом возбуждении сейсмических волн 34

М. Ройтер, М. Крах, У. Кислинг, Ю. Векслер

Зональная дезинтеграция горных пород вокруг очистных выработок 46

Б. Г. Саксин, И. Ю. Рассказов, Б. Ф. Шевченко

Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты 53

Г. Хаджи-Никович, К. Джокович, С. Вуйич

Влияние абсорбции на активное давление пылеватого грунта 66

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Т. Кабетенов, Х. А. Юсупов, С. Т. Рустемов

Определение рациональных параметров скважинной отбойки с учетом времени действия взрывного импульса 75

ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

И. А. Паначев, И. В. Кузнецов

К методике сохранения ресурса металлоконструкций заднего моста подвески большегрузных автосамосвалов 82

Л. В. Городилов

Исследование динамики гидроударных объемных систем обратного действия 91

Б. Ф. Симонов, М. А. Дыбко, С. В. Брованов, С. А. Харитонов

Методика расчета электромагнитных процессов в многоуровневых полупроводниковых преобразователях для электротехнического оборудования горнодобывающей промышленности 97

А. В. Отроков, Г. Ш. Хазанович, Н. Б. Афонина

Исследования погружных органов с нагребными звездами на физической модели 111

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Г. Д. Перишин, М. С. Уляков

Повышение выхода блоков высокопрочного камня на месторождениях со сложным залеганием природных трещин в массиве	118
---	-----

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

Г. Б. Лялькина, А. В. Николаев

Определение величины и направления общерудничной естественной тяги с заданной доверительной вероятностью	124
--	-----

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Н. Ф. Усманова, В. И. Брагин, А. М. Жижжаев, Е. Н. Меркулова, Ю. Ю. Фисенко

Морфологические разновидности золота в рудном и техногенном сырье коры выветривания	130
---	-----

В. А. Чантурия, Г. П. Двойченкова, О. Е. Ковальчук

Поверхностные свойства алмазов метасоматически измененных кимберлитов и их модификация в условиях переработки минерального сырья	137
--	-----

И. В. Шадрунова, О. Е. Горлова, Е. В. Колодежная, И. М. Кутлубаев

Механизм дезинтеграции металлургических шлаков в аппаратах центробежно-ударного дробления	149
---	-----

Л. А. Саматова, Е. Д. Шепета, С. А. Кондратьев

Изучение флотационных свойств собирателя FX-6 при обогащении шеелит-сульфидных руд	156
--	-----

В. Д. Самыгин, П. В. Григорьев

Моделирование влияния гидродинамических факторов на селективность процесса флотации. Ч. 2. Влияние разделения исходного питания на крупные и мелкие фракции частиц	161
---	-----

М. Костович, П. Лазич, Д. Вучинич, С. Деушич, Р. Томанец

Факторный план эксперимента селективной флотации халькопирита из сульфидных медных руд	167
--	-----

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко

Методология оценки перспективной парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса	177
--	-----

Г. В. Калабин

Комплексное развитие территорий освоения недр — реальный механизм поэтапного перехода к эколого-экономической модели развития общества	188
--	-----

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 550.3 + 551 + 622.33.013.3 + 681:624.1

О ВЕРИФИКАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЛН МАЯТНИКОВОГО ТИПА ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА ТАШТАГОЛЬСКИЙ И МРАМОРНОГО КАРЬЕРА ИСКИТИМСКИЙ

**В. Н. Опарин^{1,2}, В. Ф. Юшкин¹, Д. Е. Рублев¹,
Н. А. Кулинич¹, А. В. Юшкин¹**

¹Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: 114@ngs.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия,

²Новосибирский государственный университет, E-mail: 114@ngs.ru,
ул. Пирогова, 2 630090, г. Новосибирск, Россия

Приведены экспериментальные данные, свидетельствующие об изменении скорости распространения сейсмических волновых пакетов в зависимости от энергетических уровней механических импульсных воздействий при распространении упругих волн в системе “рудное тело – порода разломной зоны – рудное тело” на примере подземной выработки рудника Таштагольский (Кемеровская область), а также карстового разлома мраморного карьера Искитимский (Новосибирская область). Показано, что установленные зависимости первых вступлений сейсмических волновых пакетов от энергетических уровней наносимых ударов (источников) отвечают кинематической зависимости, характерной для волн маятникового типа в напряженных геосредах со структурой.

Рудный массив, мраморный карьер, волны маятникового типа, упругие волновые пакеты, энергетические уровни импульсных воздействий, кинематическая связь, напряженно-деформированное состояние, структурные блоки, разломные зоны

ВВЕДЕНИЕ

Минувшие два десятилетия ознаменовались открытием нелинейных упругих волн маятникового типа в массивах горных пород, динамико-кинематические характеристики которых несут информацию о напряженно-деформированном состоянии, структуре и физико-механических свойствах геосреды, а также важных параметрах источников излучения [1–9]. Полученные феноменологические результаты дали импульс теоретическим разработкам по созданию основ теории волн маятникового типа [1, 5, 9–20; и др.].

Эти достижения, формирующие основы нелинейной сейсмологии [7–9], свидетельствуют об их большом прикладном потенциале, в том числе в геотехнологическом аспекте [6, 21]. В настоящее время очевидную актуальность приобретают фундаментальные вопросы синтеза

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта ОНЗ РАН-3.1, партнерского интеграционного проекта № 100.

достижений динамической теории упругости в механике сплошных сред и динамического поведения фрагментированных геосред с нелинейно связанными между собой “абсолютно твердыми телами” в стесненных условиях — в виде сопряженных физических маятников, иерархически вложенных друг в друга [22, 23].

Как показали натурные эксперименты [24], волны маятникового типа обладают рядом особенностей, определяемых механизмом их распространения в напряженных массивах горных пород блочно-иерархического строения [7–9]. В этой связи возникают вопросы о выполнимости широко применяемого в сейсморазведке и сейсмотомографии геометрического “принципа взаимности” [25–28], а также наличия фактической связи между скоростными характеристиками нелинейных упругих волн от энергетических параметров источников их излучения [5, 6, 9].

Согласно принципу взаимности [27], при перемене местами источника и приемника моно-типных сейсмических волн время распространения последних не должно изменяться. При этом в сложно построенных геосредах, когда сейсмические волны, излучаемые источником и удовлетворяющие принципу Ферма, распространяются с близкими временами, использование принципа взаимности на практике сопряжено с определенными трудностями.

Принцип Ферма — один из основных в геометрической сейсмике (равно как и в оптике). В соответствии с этим принципом траектория движения фронта сейсмической волны в лучевом приближении определяется критерием достижения экстремума времени распространения сейсмической волны из одной точки в другую по сравнению с иными возможными траекториями. Волновую поверхность (фронт сейсмической волны) в последующий момент времени можно построить по предыдущей, опираясь на принцип Гюйгенса, когда каждая точка предыдущего волнового фронта (поверхности) рассматривается как элементарный источник сейсмических волн для последующего, с соответствующим суммированием излучаемых ими волн по направлениям (использование принципа суперпозиции).

Применение обсуждаемых физических принципов к нелинейным сейсмическим волнам, например маятникового типа, становится проблематичным. Так, из кинематического выражения для волн маятникового типа [5, 9] следует, что их скоростные характеристики зависят непосредственно и “одновременно” как от вида напряженно-деформированного состояния горных пород (а значит, и степени смыкания структурных отдельностей геосреды — вещественных носителей упругой энергии), так и от мощности источника излучения — при соблюдении известного [29] безразмерного энергетического критерия их возникновения и распространения в напряженных геосредах.

Отмеченные зависимости приводят к тому, что на практике задача распознавания “монотипности” той или иной группы сейсмических волн существенно усложняется. При определенных условиях скоростные характеристики маятниковых волн становятся трудно отличимыми от линейных продольных и поперечных волн (P и S -волны), обладая при этом специфическими волноводными свойствами [9]. Последние значительно отличаются по механизму своего происхождения от волноводов для P - и S -волн и, следовательно, необязательно совпадают их геометрические характеристики.

При совместном распространении линейных (P , S) и нелинейных (маятникового типа) упругих волн реализуется механизм нелинейной интерференции сейсмических волн [1, 10–20], что приводит к проблеме поиска “развитых признаков” для идентификации продольных, поперечных и маятниковых волн. Наиболее ярко она выражена при анализе сейсмических волновых пакетов, регистрируемых в так называемых ближней и переходной зонах от источников динамических событий (толчки, горные удары, взрывы), подлежащих координатной привязке и энергетической оценке источников. Так, в работе [30] на примере мониторинга процесса бу-