

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2023.1.9

ОПРОБОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ С ОПЫТНЫМ МОЛОТОМ

В.Ю. Бобров

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Представлены результаты эксперимента по модернизации серийного молота невзрывного импульсного источника AWD-33 с целью повышения эффективности передачи энергии от источника в грунт. Произведено опробование опытного молота на разных типах поверхности наблюдений. Подтверждена зависимость изменения энергетических показателей сигнала в связи с потерями кинетической энергии при отскоке молота.

Ключевые слова: невзрывная сейсморазведка, механизированный источник упругих колебаний, безынерционный молот.

Введение

В наземной или шахтной невзрывной сейсморазведке предполагается, что при ударе по поверхности наблюдения в среде развиваются идентичные волновые процессы, приводящие к возбуждению упругих колебаний. Регистрируемые полезные отраженные волны при условии сохранения формы колебаний определяются интегралом свертки [1, 1]:

$$a(t) = \int_{\tau} j(t) a_n(t - \tau) dt, \quad (1)$$

где $j(t)$ – распределение значений коэффициентов отражений по разрезу, $a_n(t - \tau)$ – импульс, возбуждаемый невзрывным источником, τ – временная задержка, dt – время контакта. Интенсивность и форма начального импульса зависит от ряда факторов, в том числе от характера взаимодействия источника с грунтом и величины действующей на грунт силы.

Рабочий элемент источника приводится в движение в горизонтальной или вертикальной плоскости. Под действием внешних сил в грунте возникают объемные или сдвиговые деформации, выводя частицы грунта из положения равновесия, вследствие чего происходит формирование упругих волн в среде [3]. Регистрация этих волн на поверхности или в скважинном пространстве позволяет решать задачи, поставленные перед сейсморазведкой.

Для решения широкого круга малоуглубинных и инженерных сейсморазведочных задач на территории Верхнекамского месторождения среди невзрывных источников упругих колебаний успешно применяются механизированные молоты типа «падающий груз» AWD-33 и AWD-40. Энергия воздействия данных источников на грунт обеспечивает формирование волнового поля с широким частотным диапазоном и интенсивностью, достаточной для регистрации отраженных волн в интервале исследуемых глубин [4, 5, 6]. Преимуществами данных источников являются безопасность при эксплуатации, экологичность, дешевизна, транспортабельность и возможность генерации неограниченного числа идентичных по времени и энергии накапливаний.

Условия передачи энергии от источника в грунт зависят от поверхности наблюдений. Работы за чертой города обычно проходят в зоне полей, лесов и болотистой мест-

ности. В данном случае условия передачи энергии в значительной степени зависят от необратимых пластических деформаций, создаваемых при ударе. При выполнении работ в пределах города или на промышленных площадках, где в основном поверхность наблюдения представлена твердым покрытием (асфальт, бетон), характер взаимодействия источника с грунтом изменяется. Возникает отскок молота от поверхности наблюдения при ударе, вследствие чего происходит потеря энергии и образование многократных волн.

Данная работа посвящена опробованию механизированного источника с модернизированным молотом с целью повышения энергетических характеристик генерируемого сигнала и улучшения качества волновой картины.

Теория

Результативность невзрывных источников, как правило, определяется тем, какая часть начальной энергии до удара преобразуется в энергию упругих колебаний после удара [7]. Общий баланс энергии можно описать выражением:

$$E = E_1 + E_2 + E_{\text{п}}, \quad (2)$$

где E – энергия молота до удара, E_1 – энергия, израсходованная на образование упругих колебаний, E_2 – энергия молота после удара (энергия молота после отскока), $E_{\text{п}}$ – энергия необратимых пластических деформаций. Как можно заметить, для увеличения эффективности источника необходимо стремиться к уменьшению E_2 и $E_{\text{п}}$. Для минимизации необратимых пластических деформаций используются промежуточные металлические плиты-подложки, благодаря которым увеличивается площадь удара, понижая давление на грунт [8]. Исходя из этого, открытой проблемой является ослабление ударной силы источника за счет перехода части общей кинетической энергии в энергию молота после удара, сопровождающееся отскоком молота от поверхности наблюдения. Отскок молота наиболее весомо влияет на энергетические характеристики генерируемого сигнала при работах на твердых поверхностях, так как при увеличении плотности грунта высота отскока увеличивается, а необратимые пластические деформации при данных условиях практически отсутствуют. Кроме того, многократные отскоки молота влияют на качество сейсмического материала, создавая помехи в окне полезной записи сигнала (Рис. 1).

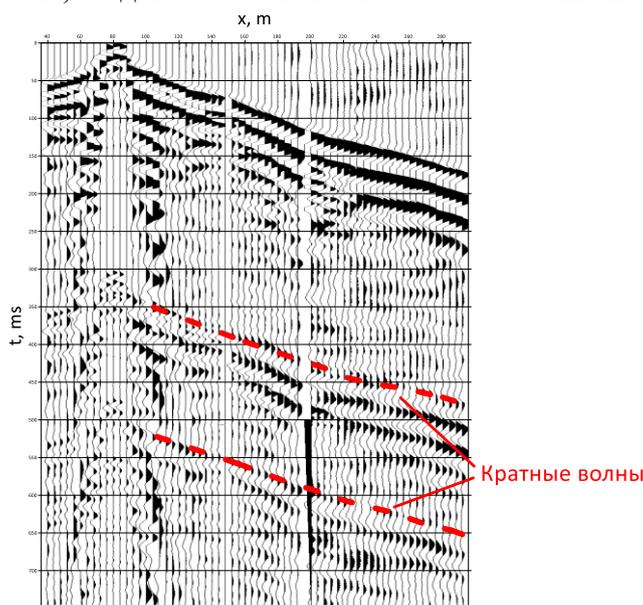


Рис. 1. Сейсмограмма ОПВ с наличием помех в виде кратных волн

Ранние исследования подтверждают зависимость энергетических показателей от величины отскока молота [9]. Произведено опробование плиток-подложек из разного типа металла и разной площади. Благодаря ряду экспериментов выявлено, что использование титановой плиты позволяет минимизировать отскок и добиться наименьших энергетических потерь (Рис. 2). Получив величину коэффициента восстановления [10] можно количественно оценивать потери энергии при разной высоте отскока молота.

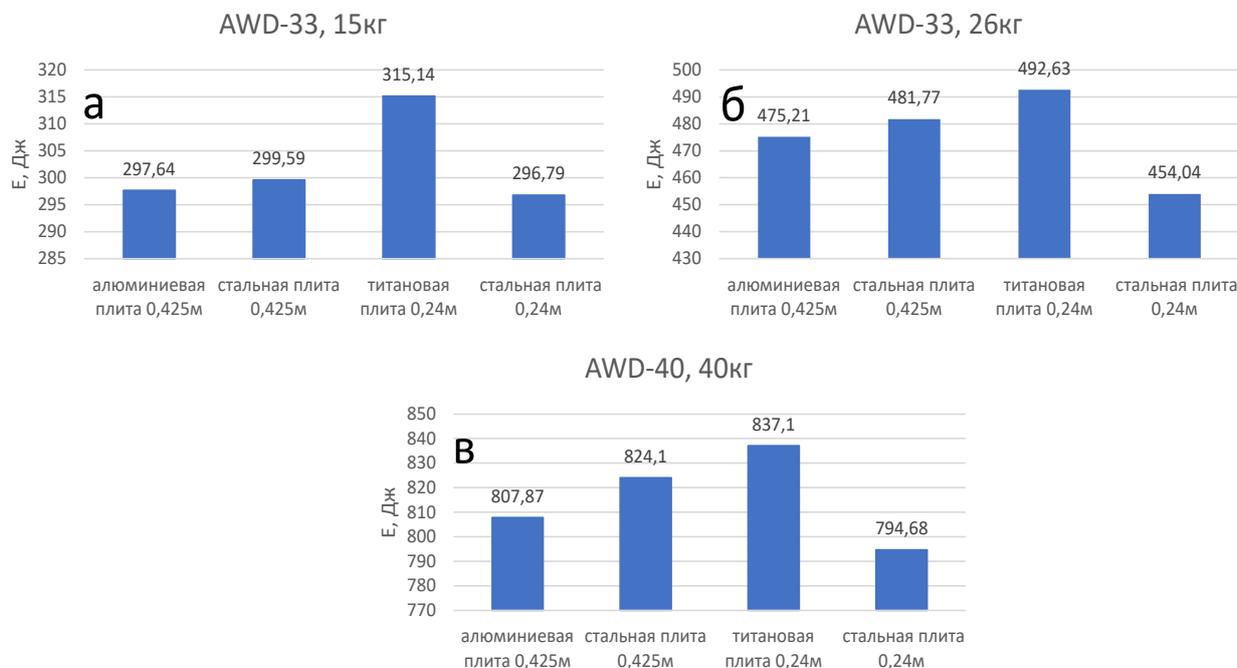


Рис. 2. Распределение энергии, потраченной на образование упругих волн при разных типах плит-подложек:

- а) эксперимент, проводимый с помощью установки AWD-33 15 кг;
- б) эксперимент, проводимый с помощью установки AWD-33 26 кг;
- в) эксперимент, проводимый с помощью установки AWD-40 40 кг

Для того чтобы свести отскок к минимуму, тем самым повысив передачу энергии от источника в грунт, предложено сконструировать опытный молот для механизированного источника AWD-33, взяв за прототип безынерционный молоток.² Данное устройство относится к космической технике, разработано в 70-е годы прошлого века. Отличительной особенностью космического молотка является содержание полости в бойке, которая в свою очередь заполнена сыпучим наполнителем с высокой удельной плотностью. В космическом молотке, разработанным для выполнения технологических операций космонавтами в условиях невесомости, определяют длину полости L при заданных массе молотка M , удельной плотности сыпучего наполнителя ρ и диаметре полости d по зависимости:

$$L = \frac{4(0,4 \div 0,5)M}{\pi d^2 \rho} (1,1 \div 1,2) \quad (3)$$

Важными требованиями для сохранения безынерционных свойств без потерь ударного качества инструмента в земных условиях, являются параметры массы сыпучего

² Патент № RU 2560899

наполнителя m и степень заполнения полости по ее длине l . Данные параметры рассчитываются по формулам:

$$m = (0,4 \div 0,5) M \quad (4.1)$$

$$l = L / (1,1 \div 1,2) \quad (4.2)$$

Принцип работы данной конструкции реализуется следующим образом.

При движении бойка на стадии замаха наполнитель частично смещается в полости к задней стенке бойка, при этом образуются бесконтактные зазоры между частицами и разряжение в среде сыпучего наполнителя.

При движении в направлении нанесения удара корпус бойка опережает сыпучий наполнитель из-за инерционного отставания последнего.

В момент удара происходит начало отскока бойка. Частицы наполнителя вступают в контакт с ударной частью бойка, при этом кинетическая энергия сыпучего наполнителя, уплотнение частиц и трение между частицами обеспечивают сглаживание отскока, обеспечивая равномерный жесткий удар.

Эксперимент

Стандартный молот механического источника AWD-33 выполнен из стали. Выпускается в двух вариациях: литой с массой 33 кг и полый с массой 13 кг. Полость в полном объеме заполняется металлическими шайбами разной массы до необходимого значения в зависимости от конкретных задач.

Опираясь на параметры (4.1) и (4.2), сконструирован молот по типу безынерционного молотка (Таб. 1.). В качестве сыпучего наполнителя использована свинцовая дробь. Для регуляции степени заполненности полости в верхней части молота присутствует штوك, позволяющий зафиксировать верхнюю часть полости в необходимом положении. При реализации не удалось полностью выдержать требуемые параметры в связи с ограничениями конструкции молота серийного производства, что может повлиять на нейтрализацию отскока при ударе.

Таблица 1

Параметры сконструированного молота

1	Масса полого молота (M), кг	13
2	Масса сыпучего наполнителя (m), кг	8
3	Общая масса молота ($M+m$), кг	21
4	Высота молота, м	0,9
5	Длина полости (L), м	0,6
6	Степень заполненности по длине (l), м	0,5

Для сравнения величины отскока и энергетических характеристик генерируемых упругих колебаний опробовано два механизированных источника AWD-33 с серийным и опытным молотами одинаковой массы. Параметры записи, использованные при работах, приведены в таблице 2.

По ходу эксперимента отработано две физических точки с разными поверхностными условиями. На первой точке поверхность наблюдений представлена плотным снежным покровом, а на второй асфальтом проезжей части. Для прослеживания динамики энергетических показателей регистрация сигнала происходила с разным

числом накопчиваний на одной точке наблюдения. Для исключения деформации поверхности наблюдения использовалась алюминиевая плита-подложка с диаметром 0,425 м.

Таблица 2

Параметры системы регистрации

1	Шаг пунктов приема (ПП), м	8
2	Шаг пунктов возбуждения (ПВ), м	8
3	Максимальное удаление ПП – ПВ,	504
4	Количество активных каналов	64
5	Шаг дискретизации, мс	0,5
6	Усиление, Дб	Normal 64

На Рис. 3 представлены выборки сейсмограмм, полученные в результате эксперимента.

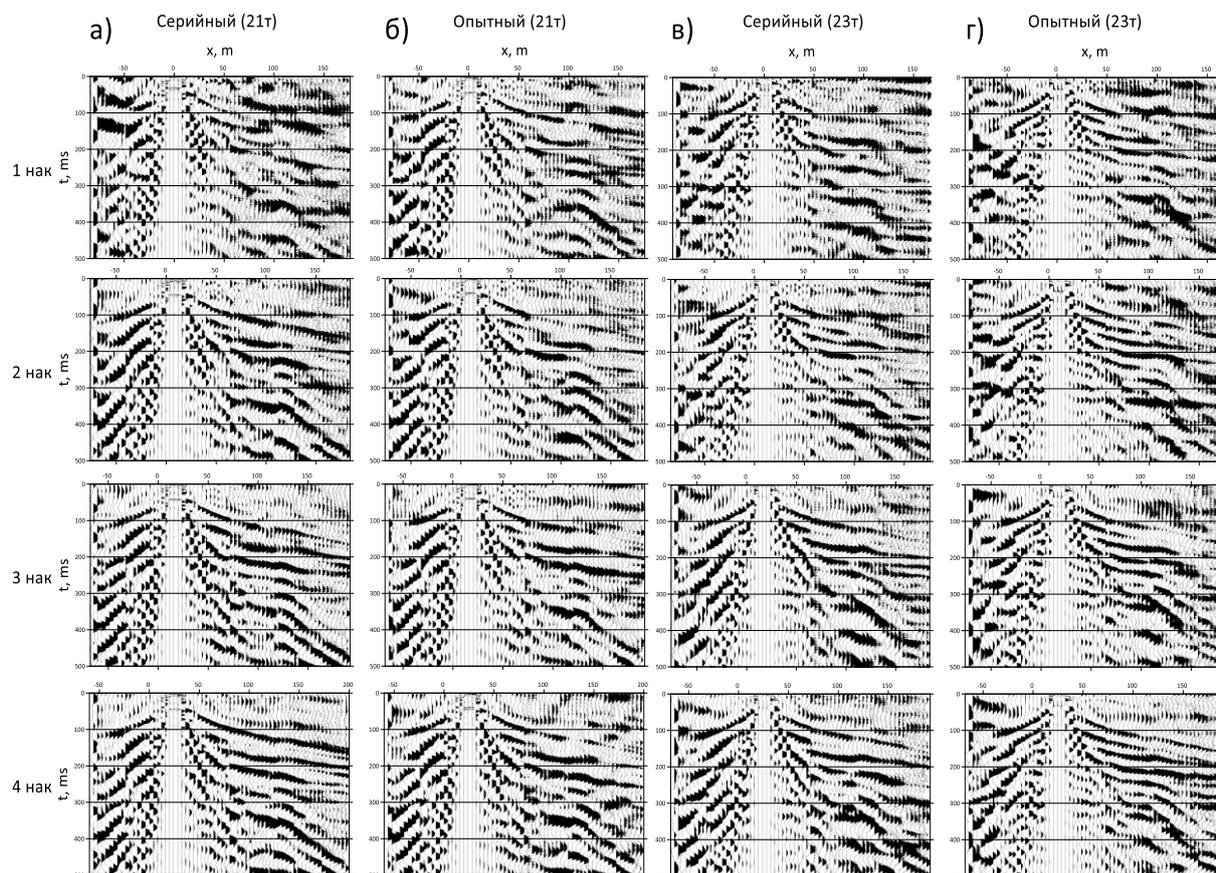


Рис. 3. Сейсмограммы ОПВ полученные в результате удара молота с различным числом накопчиваний: а) серийным молотом по снегу; б) Опытным молотом по снегу; в) серийным молотом по асфальту; г) опытным молотом по асфальту

Визуально сейсмограммы, записанные с использованием разных молотов, с одинаковым числом накопчиваний и при одинаковых поверхностных условиях имеют схожую волновую картину.

Фиксация удара производилась на камеру с частотой записи 240 fps. Увеличенная частота раскадровки позволяет более детально отследить высоту отскока молота при ударе (или его отсутствие). Полученные результаты представлены в таблице 3:

Таблица 3

Средние показатели высоты отскока
серийного и опытного молота от разных поверхностей

	Тип молота	Поверхность наблюдений	Средняя высота отскока h , м
1	Серийный	Снег	0,01 – 0,02
2	Опытный		0,01 – 0,02
3	Серийный	Асфальт	0,04 – 0,05
4	Опытный		0,01 – 0,02

Средняя высота отскока при работах на заснеженной поверхности наблюдений у серийного и опытного молота практически одинакова. Пренебрегая малым коэффициентом восстановления, удар можно классифицировать как абсолютно неупругий [11]. Данный результат объясняется преобладающими необратимыми пластическими деформациями, связанными с утрамбовкой снега. При работах на асфальтовом покрытии характер взаимодействия молота с грунтом изменился. Удар можно классифицировать как не вполне упругий [11]. Необратимые пластические деформации практически отсутствуют. С помощью опытного молота удалось минимизировать средний отскок до 1-2 см, в то время как средний отскок у серийного молота достигает 4-5 см.

На амплитудных спектрах (Рис. 4а), полученных по сейсмограммам ОПВ, в диапазоне полезной записи сигнала прослеживается схожесть энергетических показателей при работах разными молотами на заснеженной поверхности наблюдения.

На асфальтированном покрытии при работе механизированным источником с опытным молотом наблюдается увеличение ширины частотного диапазона (Рис. 4б). В частности, увеличился спектр сигнала в районе 30-40 Гц. Увеличение спектра сигнала сохраняется как при единичном, так и при множественных накапливаниях.

Выводы

Результаты эксперимента подтверждают ранние исследования [9] и указывают на то, что при работах на жестких покрытиях характер передачи энергии от источника в грунт в большей степени зависит от потерь кинетической энергии в связи с отскоком молота.

С помощью опытного молота, спроектированного по прототипу безынерционного молотка, удалось подавить многократные отскоки молота и снизить единичный отскок до 1-2 см от поверхности плиты-подложки, тем самым минимизировав генерацию кратных волн помех. Помимо этого, при применении механизированного источника AWD-33 с опытным молотом замечено увеличение ширины частотного диапазона записываемого сигнала, что в следствии влияет на качество сейсмического материала.

В связи с тем, что параметры опытного молота имеют производственную погрешность, связанную с техническими ограничениями при модернизации серийного экзем-

пляра, не удалось полностью подавить отскок молота. Требуется более детальная проработка конструкции опытного молота для устранения погрешности основных параметров при учете возможности его использования на источнике AWD-33 без серьезных конструктивных изменений последнего.

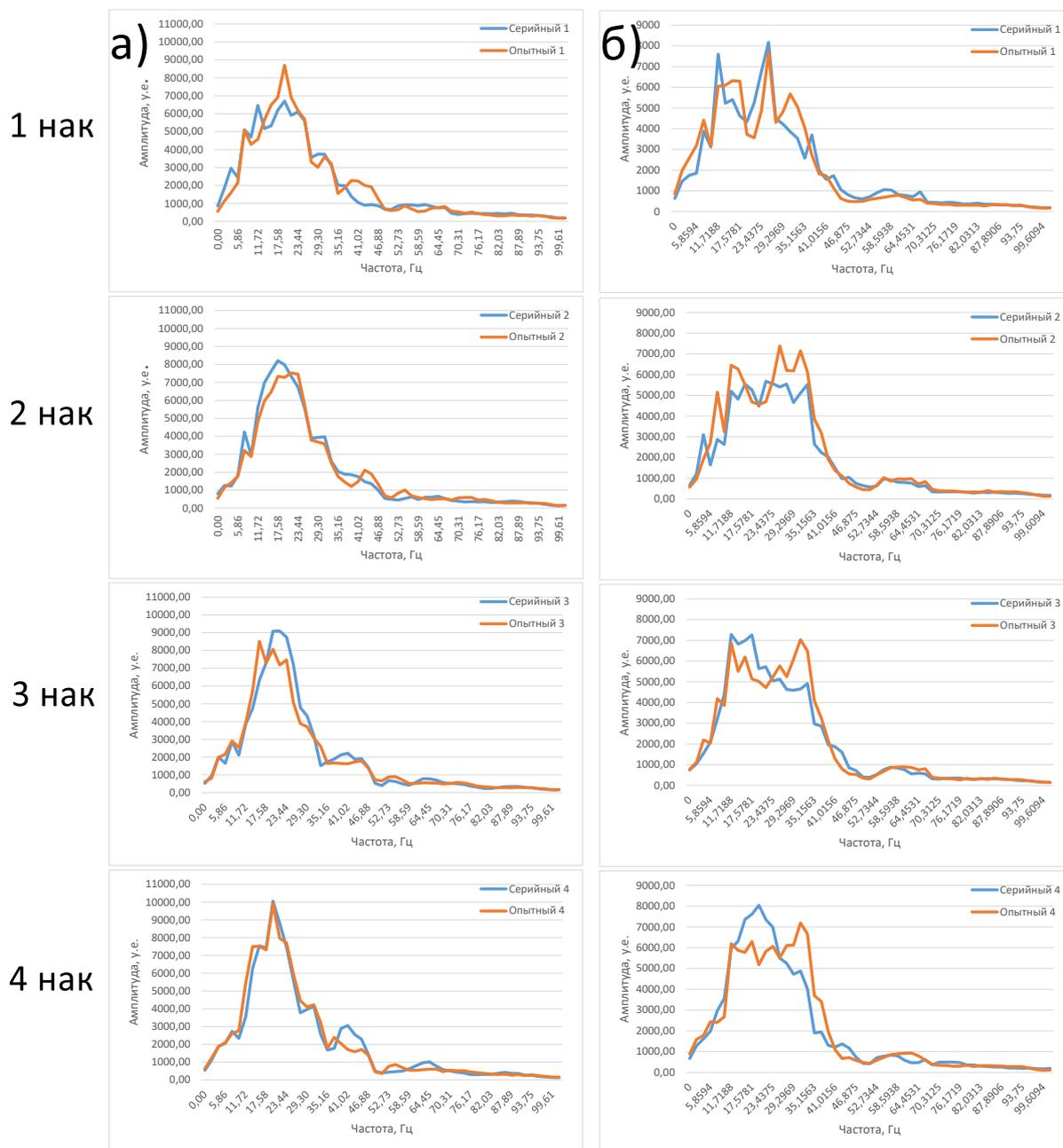


Рис. 4. Амплитудные спектры сейсмограмм ОПВ:
а) поверхность наблюдения снег; б) поверхность наблюдения асфальт

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта №20-45-596030 р_НОЦ_Пермский край.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная сейсморазведка с невзрывными источниками колебаний. – М.: Недра, 1980. – 205 с.: ил.

2. Цифровая обработка сейсмических данных / [Козлов Е.А., Гогоненков Г.Н., Лернер Б.Л. и др.]. – М.: Недра, 1973. – 311 с.: ил.
3. Шнейерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейсморазведка. – М.: Недра, 1988. – 237 с.: ил.
4. Санфиоров И.А., Фаткин К.Б. Сравнительный анализ различных типов невзрывных источников для малоглубинной сейсморазведки // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. конф. / ПГУ. – Пермь, 1997. – С.
5. Бобров В.Ю. Сравнительный анализ источников упругих колебаний для инженерных сейсморазведочных работ // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. материалов / ИГФ УрО РАН [и др.]. – Екатеринбург, 2018. – С.27-29.
6. Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И. О результатах применения малоглубинной сейсморазведки МОГТ на территории ВКМКС // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: тр. Междунар. геолого-геофизич. конф., 05-08 февр. 2018 г. / ООО «Центр анализа сейсмологич. данных МГУ». – М., 2018. – С. 664-668 Р.
7. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 176 с.: ил.
8. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
9. Бобров В.Ю., Герасимова И.Ю. Особенности применения невзрывных источников упругих волн на урбанизированных территориях // Инженерная и рудная геофизика – 2022: сб. материалов 18-ой науч.-практ. конф. и выставки, 5-8 сент. 2022 г. – М., 2022. – С. 98-104.
10. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Малявко Д.П. Соударение тел: учеб.-метод. пособие. – СПб: Ун-т ИТМО, 2015. – 43 с.
11. Краткий технический справочник. Том 1. / под ред. В.А. Зиновьева. — М., Л.: Гос. изд-во технико-теоретич. литературы, 1949. – С. 290.

УДК 550.834.05

DOI:10.7242/echo.2023.1.10

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ МЕТОДА ПЕРВЫХ ВОЛН ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СКОРОСТНОГО ЗАКОНА В ВЕРХНЕМ ИНТЕРВАЛЕ МАЛЫХ ГЛУБИН

И.Ю. Герасимова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В рамках изучения свойств верхнего интервала малых глубин применены данные, полученные на этапе расчета статических поправок. Сформированы карты распределения скоростей, выделены участки, отличающиеся по скоростному строению от вмещающего массива пород.

Ключевые слова: верхняя часть разреза, верхний интервал малых глубин, статические поправки, Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей, малоглубинная сейсморазведка.

В настоящее время одной из сложных и до конца не формализованных задач, возникающих на этапах обработки и интерпретации данных сейсморазведки, является задача корректного учета поверхностных и глубинных неоднородностей, приуроченных к верхней части разреза (ВЧР) и интервалу разреза от уровня приведения (УП) до верхней отражающей границы (ВОГ). В рамках настоящей задачи можно рассматривать два направления исследований: 1) учет ВЧР за счет вычисления и коррекции различных составляющих статических поправок и 2) определение скоростных характеристик в верхнем интервале разреза на этапах ввода и коррекции кинематических поправок. Совместное и грамотное решение указанных вопросов приводит к формированию однозначного и адекватного отображения геометрии и скоростной модели целевых объектов.