

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2849724

**СПОСОБ МОНИТОРИНГА ВОЗНИКНОВЕНИЯ
РЕЗОНАНСА ПРИ СЕЙСМОВЗРЫВНОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРИКОНТУРНЫЙ МАССИВ**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Афанасьев Павел Игоревич (RU), Белов Андрей
Алексеевич (RU)*

Заявка № **2025118190**

Приоритет изобретения **01 июля 2025 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **28 октября 2025 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **01 июля 2045 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01V 1/003 (2025.08); G01V 1/284 (2025.08)

(21)(22) Заявка: 2025118190, 01.07.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.07.2025

Дата регистрации:
28.10.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.07.2025

(45) Опубликовано: 28.10.2025 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II",
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Афанасьев Павел Игоревич (RU),
Белов Андрей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

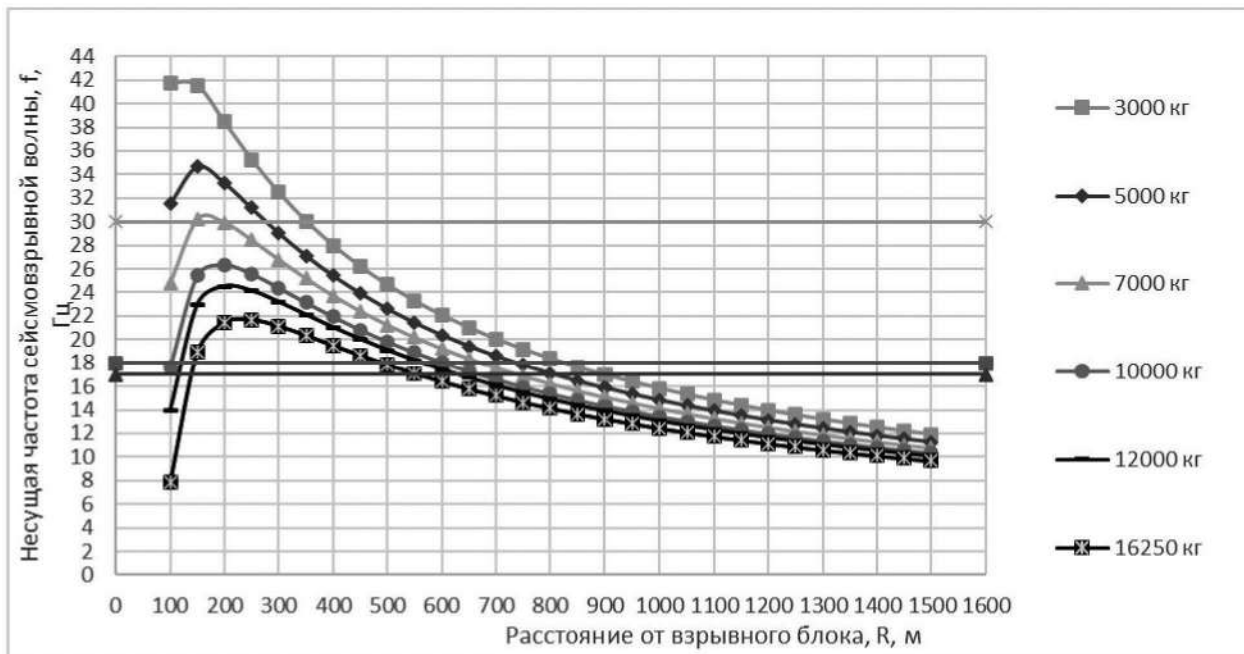
о поиске: Афанасьев П.И., Медина С.Я.,
Савон В.Ю., Картайя П.М., Гарсия де ла Круз
М.И. Анализ устойчивости откосов горной
дороги месторождения Camarioca Este
компании Comandante Ernesto Che Guevara,
Безопасность труда в промышленности, 2024,
номер 4, с.78-84. Aldas GGU, Explosive charge
mass and peak particle velocity (PPV)-frequency
relation in mining (см. прод.)

(54) СПОСОБ МОНИТОРИНГА ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕЗОНАНСА ПРИ СЕЙСМОВЗРЫВНОМ
ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПРИКОНТУРНЫЙ МАССИВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к горному делу и может быть использовано при мониторинге сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив карьера по амплитудно-частотным характеристикам взрыва. Повышение устойчивости уступов и бортов карьеров осуществляется за счет прогнозирования возникновения резонансных зон, что позволяет выявлять участки совпадения частот сейсмовзрывной волны и собственных частот массива; корректировки параметров буровзрывных работ через снижение массы зарядов за ступень замедления для перемещения

резонансных зон за пределы борта карьера или локализации их в геологически устойчивых участках; а также за счет постоянного контроля динамических воздействий с использованием расчетных методов и сейсмомониторинга, обеспечивающего соблюдение допустимых скоростей колебаний, что в совокупности предотвращает разрушение породного массива и минимизирует образование новых трещин, сохраняя устойчивость бортов карьера при ведении взрывных работ. Техническим результатом является повышение устойчивости уступов и бортов карьеров. 3 ил.



Фиг. 1

(56) (продолжение):

blast, Journal of Geophysics and Engineering, v. 7, iss. 3, September 2010, p. 223-231. Богацкий В.Ф., Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах, М.: Недра, 1978, с. 98-106. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию, М.: Стандартинформ, 2008 г., с. 11-15. SU 1162969 A1, 23.06.1985. RU 2723418 C1, 11.06.2020.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G01V 1/003 (2025.08); *G01V 1/284* (2025.08)(21)(22) Application: **2025118190, 01.07.2025**(24) Effective date for property rights:
01.07.2025Registration date:
28.10.2025

Priority:

(22) Date of filing: **01.07.2025**(45) Date of publication: **28.10.2025** Bull. № 31

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet
imperatritsy Ekateriny II", Patentno-litsenzionnyj
otdel**

(72) Inventor(s):

**Afanasev Pavel Igorevich (RU),
Belov Andrei Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia "Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II" (RU)**

(54) **METHOD FOR MONITORING OCCURRENCE OF RESONANCE DURING SEISMIC EXPLOSION
IMPACT ON PERIPHERAL ARRAY**

(57) Abstract:

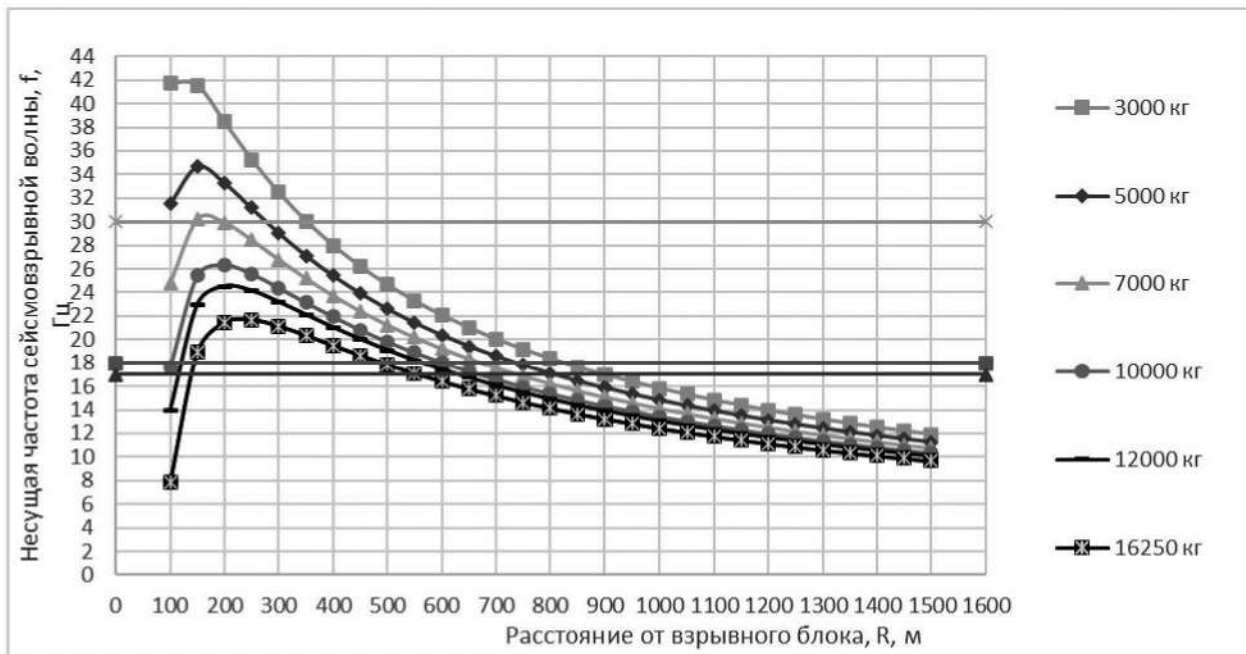
FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention can be used to monitor the seismic impact on the contour array of a quarry based on the amplitude-frequency characteristics of the explosion. The stability of quarry benches and walls is improved by predicting the occurrence of resonance zones, which allows identifying areas where the frequencies of seismic waves coincide with the natural frequencies of the rock mass; adjusting the parameters of drilling and blasting operations by reducing the mass of charges per delay stage to move resonance zones

beyond the quarry wall or localise them in geologically stable areas; as well as through constant monitoring of dynamic effects using calculation methods and seismic monitoring, ensuring compliance with permissible vibration speeds, which together prevents the destruction of the rock mass and minimises the formation of new cracks, maintaining the stability of the quarry walls during blasting operations.

EFFECT: increased stability of quarry benches and sides.

1 cl, 3 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к горному делу и может быть использовано при мониторинге сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив карьера по амплитудно-частотным характеристикам взрыва.

Известен способ мониторинга сейсмического действия взрыва в массиве горных пород (Мосинец В.Н. «Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах». М., «Недра», 1976. – С. 218-230), который включает определение массы и геометрии заряда на проектируемом взрывном блоке, замер и оценку коэффициента сейсмичности K и коэффициента затухания n на месторождении. Данный способ показывает, что скорость колебаний массива является функцией приведённого расстояния; амплитуда скорости колебаний прямо пропорциональна разрушениям, возникающим при взрывных работах, и определяет величину энергии сейсмовзрывной волны. Далее рассчитывается скорость колебания и сравнивается с допустимыми нормами. Способ позволяет учитывать свойства среды, в которой распространяется сейсмовзрывная волна.

К недостаткам следует отнести то, что физико-механические характеристики среды могут измениться по пути распространения сейсмовзрывной волны в широком диапазоне, не учитывается частотный спектр колебаний сейсмовзрывной волны, также не учитываются резонансные явления, возникающие при совпадении частот в приконтурном массиве.

Известен способ оценки воздействия вибрации, сейсмических волн, на здания и сооружения, образуемые в результате взрывов (ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. – М.: Стандартинформ, 2008 г. С. 11-15), который измеряет вибрации у наблюдаемого объекта, путем установки сейсмоматчиков для регистрации скорости колебаний и частотного спектра. Затем определяется изгибающее напряжение, возникающее в железобетонной балке при колебаниях, с учетом максимальной интенсивности воздействия по всей ее длине.

К недостаткам следует отнести то, что при определении предельного значения скорости колебаний применяют поправки, характеризующие тип грунта, расстояние между источником вибрации и видом источника вибрации. Данные поправки варьируются в широком диапазоне, что затрудняет их применение для описания сейсмовзрывного воздействия на приконтурный массив.

Известен способ расчета безопасного расстояния от сейсмовзрывного воздействия (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 года № 494: вступ. в силу с 01.01.2021 г. С. 104-113), который учитывает следующие параметры буровзрывных работ, а именно массу заряда и геометрию скважин. Далее выбирается вид объекта из классификации и коэффициент k , зависящий от степени опасности объекта. Рассчитывается безопасное расстояние от сейсмовзрывного воздействия для зданий и сооружений.

К недостаткам следует отнести то, что в данном способе не учитывают динамические характеристики массива – частоту возникновения резонанса, коэффициент затухания колебаний.

Известен способ оценки сейсмовзрывного воздействия (Богацкий В.Ф., Пергамент В.Х. «Сейсмическая безопасность при взрывных работах». М., «Недра», 1978. – С. 98-106), в котором предложен способ расчета зависимости скорости колебаний от эквивалентного расстояния. По результатам проведения контрольных взрывов

измеряются параметры сейсмических волн. Далее производится статическая обработка данных для определения 8 вириальных коэффициентов, учитывающие свойства горных пород, тип взрывчатого вещества, конструкцию заряда, условия взрывания, рельеф местности, геологическое и гидрогеологические условия, а также климатические факторы. При этом эквивалентное расстояние определяется с помощью восьми вириальных коэффициентов, что позволяет достичь хорошего согласования расчёта с экспериментальными данными при их наличии. В результате полученную скорость колебаний сравнивают с допустимой.

Недостатком является наличие большого числа вириальных коэффициентов, определение которых на практике требует проведения натурных экспериментов по изучению распространения сейсмовзрывных волн. Кроме того, использование амплитудных характеристик сейсмовзрывной волны не позволяет анализировать резонансные явления в горном массиве.

Известен способ оценки вынужденных колебаний в линейной системе при гармоническом силовом воздействии (Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. «Основы теории колебаний» / Под ред. В.В. Мигулина. – М.: Наука, 1978. – С. 80-88), рассматривающий в колебательной системе наряду с вынужденными колебаниями под действием внешней силы собственные колебания при изменении величины внешней силы.

К недостаткам следует отнести то, что данный способ определения возникновения резонанса не учитывает характер изменения амплитуды сейсмовзрывной волны с расстоянием от источника возмущения.

Известен способ оценки сейсмовзрывного воздействия (Садовский М.А. «Избранные труды: Геофизика и физика взрыва» / Отв. ред. В.В. Адушкин. – М.: Наука, 2004. – С. 93-102) в котором рассчитывается коэффициент нарастания колебаний, учитывающий период колебаний грунта и период колебаний сооружения, а также оценивается величина деформации сооружения. Сначала по сейсмическим данным, записанных после проведения взрывных работ, определяют период колебаний грунта и рассматриваемого сооружения. Далее рассчитывается скорость колебаний грунта и производится расчет коэффициента нарастания и оценки деформации. В результате проводится сравнение полученной деформации с допустимыми значениями, тем самым прогнозируя повреждения сооружений.

К недостаткам следует отнести то, что при рассмотрении собственных колебаний грунта и сооружений не учитывались резонансные явления.

Известен способ оценки возникновения резонанса (AldasGGU. Explosive charge mass and peak particle velocity (PPV)-frequency relation in mining blast. J Geophys Eng. 2010;7(1): 223-31. doi: 10.1088/1742-2132/7/3/001), принятый за прототип, в котором по массе взрываемого заряда можно определить несущую частоту сейсмовзрывной волны и расстояние, на котором она возникает. Сначала производится сбор данных, полученных сейсмическим датчиком после проведения взрывных работ. Определяется коэффициент затухания, коэффициент сейсмичности и расстояние от места взрыва до точки наблюдения. Производится спектральный анализ сейсмической волны, где рассчитывается добротность.

К недостаткам следует отнести, что данный способ определяет несущую частоту сейсмовзрывной волны без расчета собственной частоты колебаний массива.

Техническим результатом является повышение устойчивости уступов и бортов карьеров.

Технический результат достигается тем, что резонансную частоту определяют на

основе комплексных амплитуд, затем используют экспериментально полученные амплитудно-частотные характеристики сейсмовзрывной волны и рассчитывают несущие частоты по формуле:

$$f = \frac{Q \cdot V_p}{\pi \cdot R} \cdot \ln \left(\frac{R^{\beta-1/2}}{K \cdot M^{\beta/2}} \right), \text{ Гц, где (4)}$$

V_p – скорость продольной волны, мм/с;

Q – добротность;

K – коэффициент сейсмичности;

R – расстояние от места взрыва до точки наблюдения, м;

β – коэффициент затухания;

M – масса заряда, взрываема за ступень, кг,

расчет несущих частот выполняют для разных масс взрывчатых веществ, которые взрывают за ступень замедления, с учетом расстояния от места взрыва до точки наблюдения, далее по полученным значениям строят график, и определяют на каких расстояниях возникает частотный резонанс, а именно в ближней или дальней зоне сейсмовзрывного воздействия, в результате выявляют не менее двух участков борта карьера, где в процессе взрывных работ возникает резонанс колебаний, а также разрушение массива непосредственно за счет сейсмовзрывной волны, при этом для обеспечения устойчивости борта карьера, снижают массу заряда и смещают участки резонанса вне борта карьера, а если переноса участка резонанса вне борта карьера невозможен, формируют его на заранее определенном уступе с благоприятными горно-геологическими и горно-технологическими условиями.

Способ мониторинга возникновения резонанса при сейсмовзрывном воздействии на приконтурный массив поясняется фигурами:

фиг. 1 – график несущей частоты от расстояния при постоянной массе;

фиг. 2 – график скорости смещения горной породы по М.А. Садовскому от приведенного расстояния;

фиг. 3 – график зависимость несущей частоты от приведенного расстояния.

Способ осуществляют следующим образом. На основании анализа планов горных работ на горизонте, где осуществляют буровзрывные работы, производят установку регистраторов сейсмических колебаний. Место проведение замеров должно отвечает следующим требованиям, на пути распространения сейсмической волны от взрываемого блока до места проведения замеров не должны встречаться полости, трещины, технологические скважины и т.д. от которых могут отразиться волны, потеряв свою интенсивность.

По маршруту распространения сейсмовзрывной волны и непосредственно на месте установки оборудования, оценивают состояние горного массива – заколы, опасность обрушения/осыпания уступа.

Сейсмодатчик устанавливают возле нижней бровки уступа на глубину от 0,4 м до 0,7 м, для записи колебаний, которые приходят на рассматриваемый охраняемый объект. Сейсмодатчик должен быть правильно ориентирован, а именно ось x – направляем на взрыв, ось y – по направлению, вдоль, взрыва, ось z – вверх.

Далее сейсмодатчик уплотняют по периметру, например, горной породой или заливают алебастром, после затвердевания которого сверху сейсмодатчик прижимают мешком с песком массой не менее 25 кг.

Запись результатов измерений ведется в автоматическом режиме во время производства взрывных работ. По завершению измерений оборудование забреют с места его установки для проведения анализа данных. Сигналы о событиях колебания грунта, полученные с помощью сейсмодатчика, в дальнейшем анализируются в программном обеспечении. После обработки данных построены велосигramмы по трем осям x, y, z, показывающие скорость перемещения массива по времени.

По полученным велосигramмам определяют параметры сейсмозрывной волны. Экспериментальные данные наносят на статистическую бумагу и по способу наименьших квадратов определяем функциональную зависимость, в частности показатель степени функции и коэффициент сейсмичности. Затем для каждой пары чисел скорости колебания грунта и приведенного расстояния определяют коэффициент сейсмичности.

Далее в программном обеспечении производится обработка велосигramм с использованием спектрального анализа мощности регистрируемого сигнала, для определения частоты собственных колебаний и оценки добротности системы.

На первом шаге обработки сигнала осуществляют определение спектра мощности для каждой записи с помощью преобразования Фурье. Далее проводят фильтрацию полученного спектра мощности полосовым фильтром с границами частотной полосы пропускания и с применением сглаживающих фильтров:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{T_{\text{в}}}, \quad (1)$$

и

$$f_{\text{н}} = \frac{1}{T_{\text{н}}}, \quad \text{где } (2)$$

$T_{\text{в}}$ – минимальный характерный период низкочастотных составляющих сигнала,

подлежащий регистрации;

$T_{\text{н}}$ – максимальный характерный период низкочастотных составляющих сигнала,

подлежащий регистрации.

Затем проводят нормирование полученного в результате фильтрации участка спектра. Для каждого нормированного спектра серии из записей находим значение частоты, соответствующее максимуму, и соответствующее ему значение периода.

Далее вычисляют среднее значение периода колебаний и определяют частоту основного тона колебания, а также добротность колебаний.

Добротность сейсмозрывной волны определяют через отношение собственной частоты колебательной системы к ширине полосы пропускания, т.е. частотной полосы, на границах которой энергия системы вдвое меньше энергии на собственной частоте:

$$Q = \frac{f_{\text{соб}}}{\Delta f} = \frac{f_{\text{соб}}}{(f_{\text{в}} - f_{\text{н}})}, \quad \text{где } (3)$$

$f_{\text{в}}$ – нижняя границы полосы пропускания, определяемые по нормированному спектру мощности;

$f_{\text{н}}$ – верхняя границы полосы пропускания, определяемые по нормированному спектру

мощности;

$f_{\text{соб}}$ – собственная частота колебательной системы.

Резонансную частоту определяют на основе комплексных амплитуд. Затем, используют экспериментально полученные амплитудно-частотные характеристики сейсмозрывной волны и рассчитывают несущие частоты по формуле:

$$f = \frac{Q \cdot V_p}{p \cdot R} \cdot \ln \left(\frac{R^{\epsilon-1/2}}{K \cdot M^{\epsilon/2}} \right), \text{ Гц, где (4)}$$

V_p – скорость продольной волны, мм/с;

Q – добротность;

K – коэффициент сейсмичности;

R – расстояние от места взрыва до точки наблюдения, м;

ϵ – коэффициент затухания;

M – масса заряда, взрывающаяся за ступень, кг.

Расчет несущих частот выполняют для разных масс ВВ, взрывающихся за ступень замедления, с учетом расстояния от места взрыва до точки наблюдения, затем по полученным значениям строят график. Анализируя построенную зависимость определяют на каких расстояниях возникает частотный резонанс, а именно в ближней или дальней зоне сейсмозрывного воздействия.

Дополнительно рассчитывают допустимая скорость колебания массива:

$$u_o = \frac{0,375 \left(c_p^2 - \frac{4}{3} c_s^2 \right) \left\{ [1 + (1 - 2\mu) \epsilon_0]^{3/2} - 1 \right\}}{c_p [1 + (1 - 2\mu) \epsilon_0]^4} \cdot 10^2, \text{ мм/с, где (5)}$$

c_p – скорость продольной волны, м/с;

c_s – скорость поперечной волны, м/с;

μ – коэффициент Пуассона;

ϵ_0 – допустимая относительная упругая деформация.

Для расчета подставляем характеристики горной породы.

Затем строят кривую М.А. Садовского и определяют, на каком приведенном расстоянии будет выполняться условие по не превышению предельно-допустимой скорости колебания массива.

В результате выявляют не менее двух участки борта карьера, где в процессе взрывных работ возникает резонанс колебаний, а также разрушение массива непосредственно за счет сейсмозрывной волны. Для обеспечения устойчивости борта карьера, необходимо снижать массу заряда с целью смещения участков резонанса вне борта карьера, а в случае невозможности переноса участка резонанса вне борта карьера, формировать его на заранее определенном уступе с благоприятными горно-геологическими и горно-технологическими условиями.

Способ поясняется следующим примером.

Сигналы о событиях колебания грунта, были полученные с помощью сейсмодатчика на месторождении в Мурманской области по производству минеральных удобрений. В качестве оборудования использовалась сеймостанция Zetlab 048C. В дальнейшем, полученные данные анализируют в программном обеспечения ZETLab.

Расчет добротности и частот колебаний реализован в программном обеспечении ZETLab. Способ оценки частотных характеристик резонанса, собственной частоты колебаний и добротности, основан на анализе спектров мощности записанных сигналов.

Для каждой компоненты скорости колебаний определяется спектр мощности с помощью преобразования Фурье. Затем проводят фильтрацию полученного спектра мощности полосовым и сглаживающим фильтром. После фильтрации участка спектра проводится нормирование и для каждого такого спектра из записей находят значение частоты и значение периода, соответствующему определенному значению максимума. В дальнейшем вычисляют среднее значение периода колебаний, добротность и частоту основного тона колебаний. На основе комплексных амплитуд определяют резонансную частоту 17-18 Гц и 30 Гц.

По формуле (4), рассчитали несущие частоты при постоянных массах 3000 кг, 5000 кг, 7000 кг, 10000 кг, 12000 кг и 16250 кг взрывааемых за ступень, зависящих от расстояния. Для расчета использовали полученные экспериментальные данные – 2686,4 м/с; Q – 3,38; K – 2,87; R – от 100 до 1500 м; ν – 2,08.

После этого построили график зависимости несущей частоты сеймовзрывной волны от расстояния от взрывного блока при постоянных массах заряда за ступень (фиг. 1). Проанализировав построенную зависимость при данных массах заряда за ступень, определили, что частотный резонанс возникает в ближней и дальней зоне сеймовзрывного воздействия.

По формуле (5) рассчитывали допустимую скорость колебания массива:

$$u_0 = \frac{0,375 \left(2686^2 - \frac{4}{3} 1569^2 \right) \cdot \left\{ [1 + (1 - 2 \cdot 0,18) \cdot 0,001]^{8/3} - 1 \right\}}{2686 \cdot [1 + (1 - 2 \cdot 0,18) \cdot 0,001]^4} \cdot 10^2, \quad (6)$$

где C_p – скорость продольной волны, м/с;

C_s – скорость поперечной волны, м/с;

μ – коэффициент Пуассона;

ε_0 – допустимая относительная упругая деформация.

Для расчета подставляем характеристики горной породы, в данном случае – 2686 м/с; C_s – 1569 м/с; μ – 0,18; ε_0 – 0,001. Подставив данные значения в формулу (6),

получаем предельно допустимую скорость равную 93 мм/с. Затем, построив кривую М.А. Садовского, и определив на каком приведенном расстоянии будет выполняться условие по не превышению предельно-допустимой скорости колебания массива (фиг. 2).

На основе предлагаемой формулы (5) для расчёта несущей частоты взрыва построили график зависимости несущей частоты взрыва от приведённого расстояния (фиг. 3). На данный график нанесли частоты собственных колебаний массива, горизонтальные

линии. Анализ зависимостей выявил возникновение частотного резонанса на приведенном расстоянии $5,3 \text{ м/кг}^{1/3}$ и $10,3 \text{ м/кг}^{1/3}$.

Согласно расчетам, выполненным по традиционной методике, критическое

5 приведенное расстояние для данных геологических условий составляет $5,1 \text{ м/кг}^{1/3}$. В то время как по предлагаемому новому способу расчета частотный резонанс возникает на двух приведенных расстояниях $5,3 \text{ м/кг}^{1/3}$ и $10,3 \text{ м/кг}^{1/3}$ (фиг. 3). Таким образом, следует ожидать возникновение частотного резонанса как в ближней, так и в дальней зоне взрыва, что приведет к росту новых и имеющихся трещин и, как следствие, к
10 снижению устойчивости уступа.

Для определения допустимой массы, взрываемой за ступень, необходимо учитывать характер изменения частоты колебаний с расстоянием (фиг. 1). И в зависимости от характера изменения несущей частоты, массы взрываемого ВВ, расстояния, а также размеров борта карьера выбирается допустимая масса ВВ для конкретного массового
15 взрыва.

Повышение устойчивости уступов и бортов карьеров осуществляется за счет прогнозирования возникновения резонансных зон, что позволяет выявлять участки совпадения частот сейсмовзрывной волны и собственных частот массива; корректировки параметров буровзрывных работ через снижение массы зарядов за ступень замедления
20 для перемещения резонансных зон за пределы борта карьера или локализации их в геологически устойчивых участках; а также за счет постоянного контроля динамических воздействий с использованием расчетных методов и сейсмомониторинга, обеспечивающего соблюдение допустимых скоростей колебаний, что в совокупности предотвращает разрушение породного массива и минимизирует образование новых
25 трещин, сохраняя устойчивость бортов карьера при ведении взрывных работ.

(57) Формула изобретения

Способ прогнозирования возникновения резонанса при сейсмовзрывном воздействии на приконтурный массив, включающий сбор данных, полученных сейсмическим
30 датчиком после проведения взрывных работ; определение: несущей частоты сейсмовзрывной волны; коэффициента затухания; коэффициента сейсмичности; добротности; массы взрываемых зарядов за ступень замедления; а также проведение спектрального анализа сейсмовзрывной волны, отличающийся тем, что резонансную частоту определяют на основе комплексных амплитуд, затем используют
35 экспериментально полученные амплитудно-частотные характеристики сейсмовзрывной волны и рассчитывают несущие частоты по формуле:

$$f = \frac{Q \cdot V_p}{\pi \cdot R} \cdot \ln \left(\frac{R^{\beta - 1/3}}{K \cdot M^{\beta/3}} \right), \text{ Гц, где (4)}$$

40 V_p – скорость продольной волны, мм/с;

Q – добротность;

K – коэффициент сейсмичности;

R – расстояние от места взрыва до точки наблюдения, м;

45 β – коэффициент затухания;

M – масса заряда, взрываемая за ступень, кг,

расчет несущих частот выполняют для разных масс взрывчатых веществ, которые

взрывают за ступень замедления, с учетом расстояния от места взрыва до точки наблюдения, далее по полученным значениям строят график и определяют, на каких расстояниях возникает частотный резонанс, а именно в ближней или дальней зоне сейсмовзрывного воздействия, в результате выявляют не менее двух участков борта карьера, где в процессе взрывных работ возникает резонанс колебаний, а также разрушение массива непосредственно за счет сейсмовзрывной волны, при этом для обеспечения устойчивости борта карьера снижают массу заряда и смещают участки резонанса вне борта карьера, а если перенос участка резонанса вне борта карьера невозможен, формируют его на заранее определенном уступе с благоприятными горно-геологическими и горно-технологическими условиями.

15

20

25

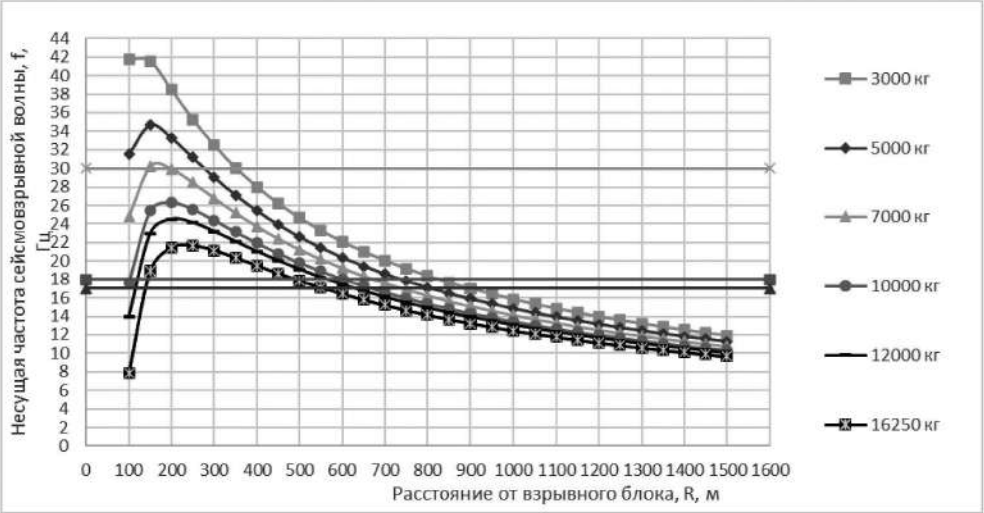
30

35

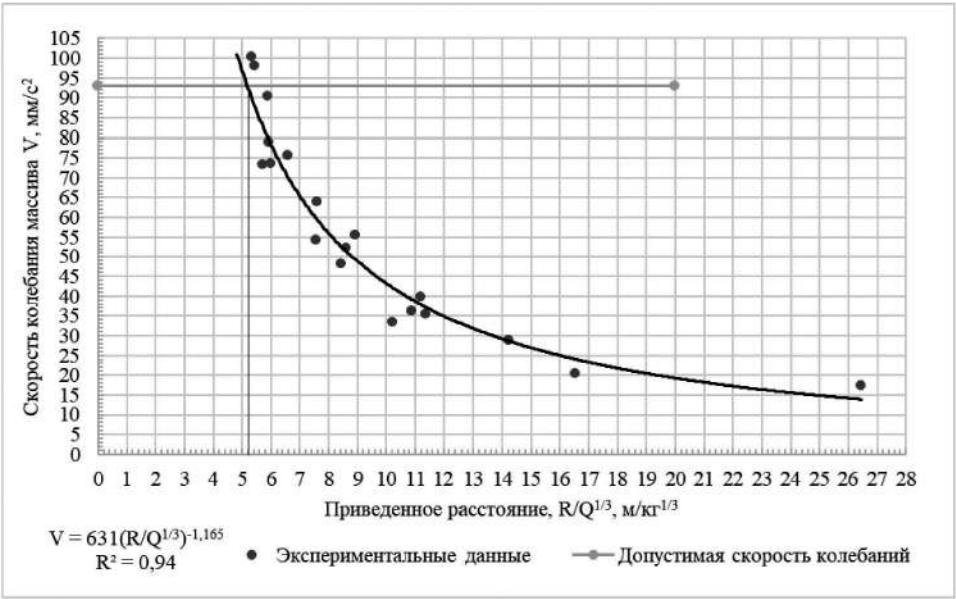
40

45

1

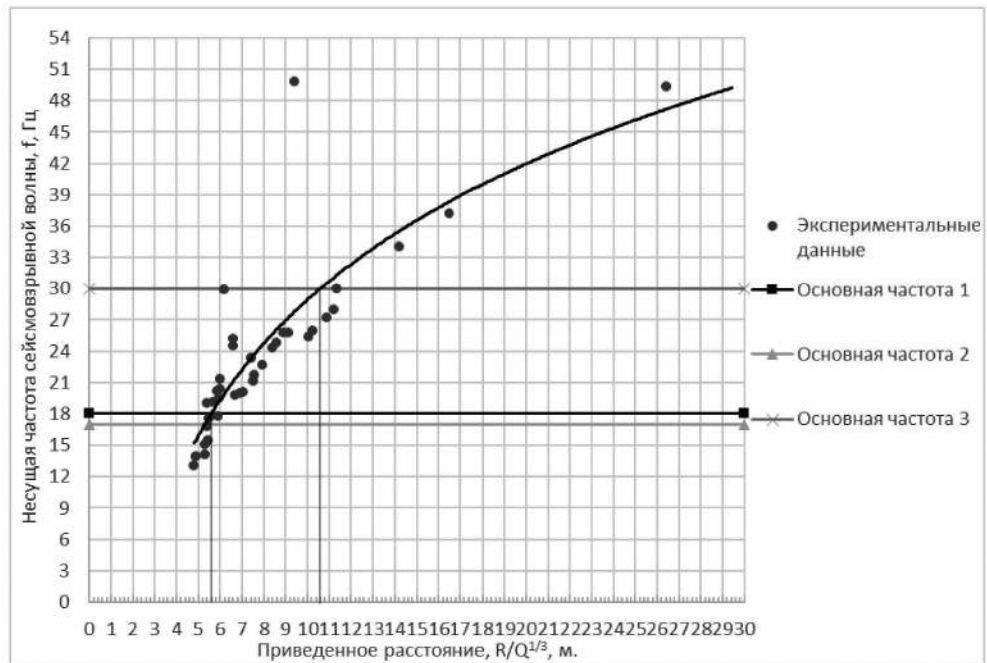


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3