

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физико-технический факультет
Кафедра "Физико-технический контроль процессов горного
производства"

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ
ДОБЫЧЕ РУД ЖЕЗКАЗГАНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Витченко Станислав Владимирович

Геологическая карта Жезказганского рудоносного района.

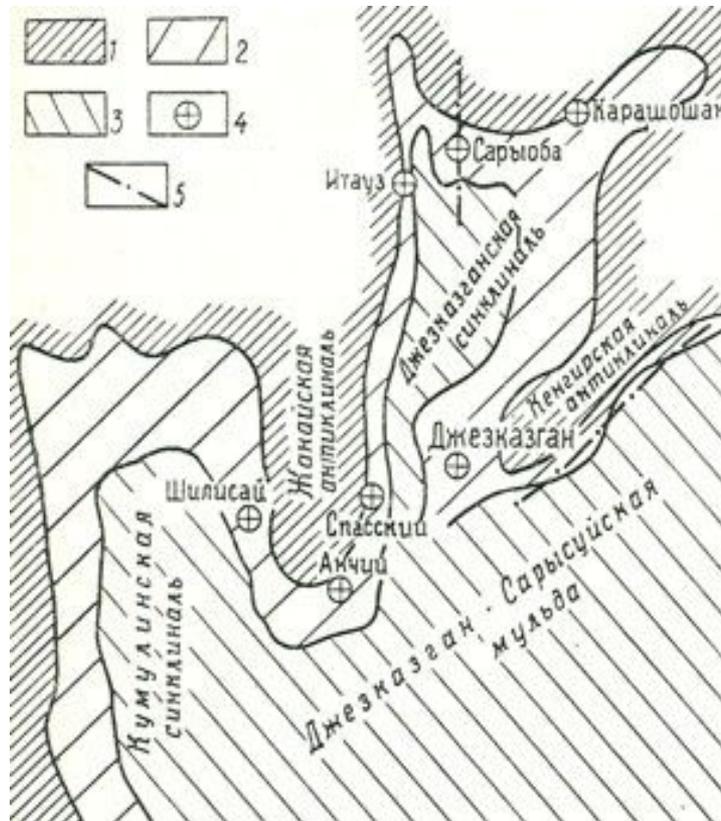
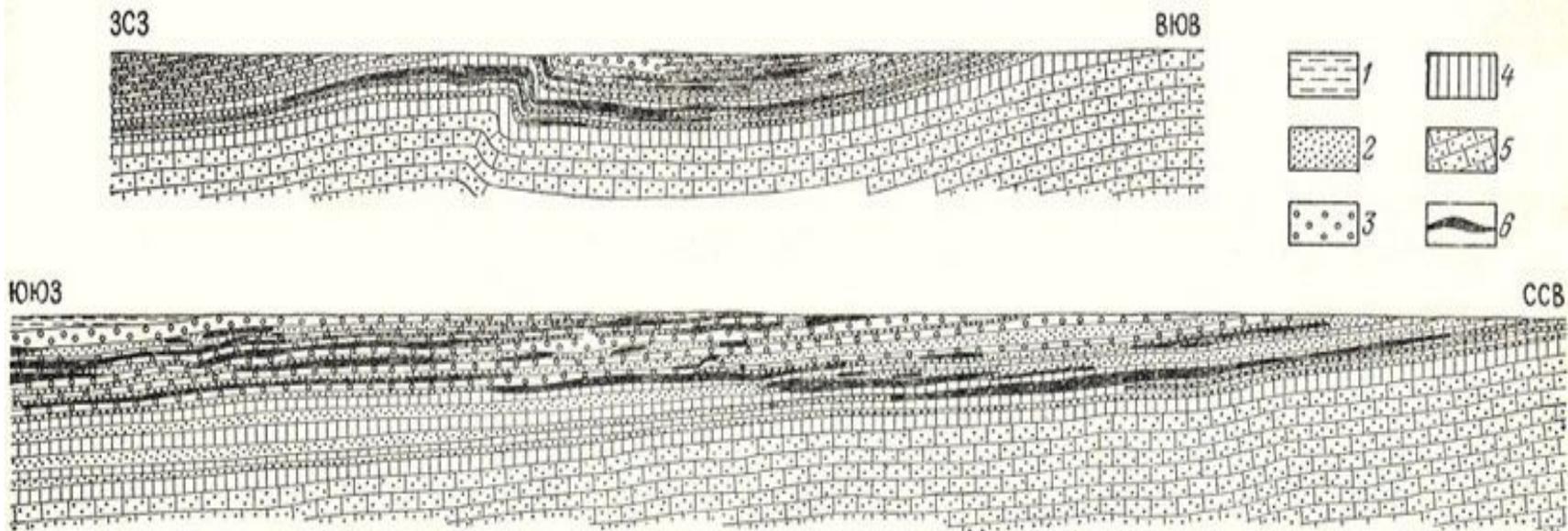


Рисунок 1.1 – Структурная схема Жезказганского района.
1 - нижнекаменноугольные отложения; 2 - продуктивная Жезказганская свита; 3 - пермские отложения; 4 - месторождения и рудопроявления медистых песчаников; 6 - разрывные нарушения.

Стратиграфическая таблица

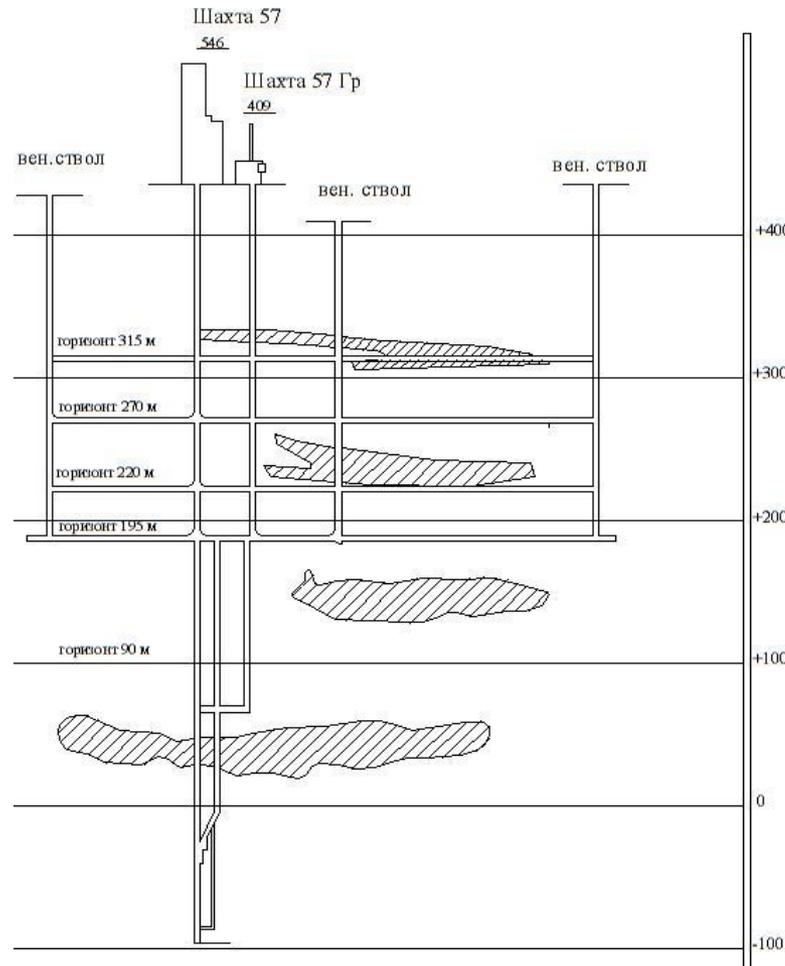
Серия	Сынта	Горизонт	Индекс	Мощность, м	Характеристика пород	
Жезказганская	Жезказганская (С ₂ дг)	Переходный	C 2-3		60	Песчаники и красные, чередующиеся с алевролитами. Песчаники серые и алевролиты.
		Анненский	C2-3 ап		66	Песчаники и серые, мелко и среднезернистые кварцево-полевошпатовые с пропластками красных песчаников и алевролитов.
		Алчидский	C2-3		41	Песчаники и красные, перемежающиеся с красными алевролитами. Песчаники и серые мелкозернистые.
		Крестовский	C2-3 кр		62	Алевролиты красные с пропластками серых и красных песчаников. Серые тонко и мелкозернистые, песчаники с пропластками красных песчаников, алевролиты.
		Верхний раймудц	C2-3 рм ¹		7	Алевролиты красные, перемежающиеся с красными песчаниками с пропластками серых песчаников. Песчаники серые мелкозернистые известковистые. Песчаники красные тонкозернистые. Песчаники и серые мелкозернистые известковые.
		Средний раймудц	C2-3 рм ²		60	Алевролиты с пропластками красных и серых песчаников. Песчаники и серые средние и мелкозернистые. Аргиллиты красные. Алевролиты красные с пропластками красных песчаников, серые песчаники с конгломератами.
		Нижний раймудц	C2-3 рм		39	Песчаники и красные, перемежающиеся с красными алевролитами. Песчаники и серые средние и мелкозернистые, линзы и прослойки раймуддовских конгломератов.
	Таскудульскй (С ₂ тз)	Покровский	C2 тк		57	Алевролиты красные с прослойками серых и красных песчаников. Песчаники серые и мелкозернистые, полимиктовые известняки. Красные тонкозернистые песчаники. Песчаники и серые средние и мелкозернистые известковистые с пропластками серых песчаников.
		Златоустовский	C2 зт		77	Песчаники и красные, тонкозернистые с красными алевролитами и прослойками окремненных известняков. Песчаники и серые с среднезернистые с пропластками красных алевролитов и песчаников. Красные тонкозернистые песчаники. Серые среднезернистые кварцево-полевошпатовые песчаники.
		Таскудульскй	C2 тз		139	Красные аргиллиты, перемежающиеся с красными мелкозернистыми. Серые тонко и мелкозернистые песчаники с пропластками алевролитов. Красные мелкозернистые песчаники с алевролитами с пропластками серого песчаника. Серые мелкозернистые песчаники. Красные алевролиты с пропластками серых песчаников. Красные алевролиты. Серые песчаники и алевролиты.

Схематические геологические разрезы Жезказганского месторождения.

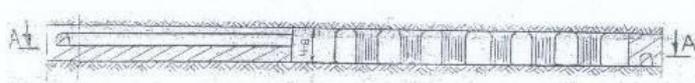
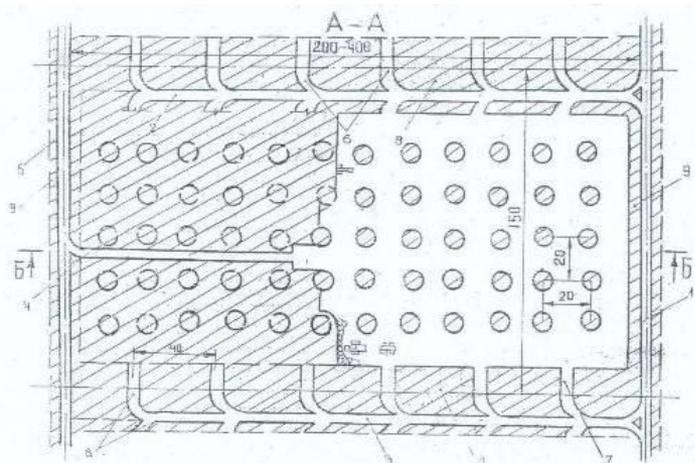


1 - пермские красноцветные отложения; 2-4 - Жезказганская свита (С2 - 3): 2 - рудоносные слои сероцветных песчаников, алевролитов и конгломератов, 3 - верхний отдел, 4 - нижний отдел. 5 - известняки, песчаники, мергели нижнего карбона; 6 - рудные залежи

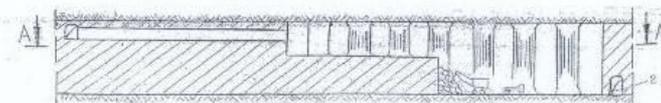
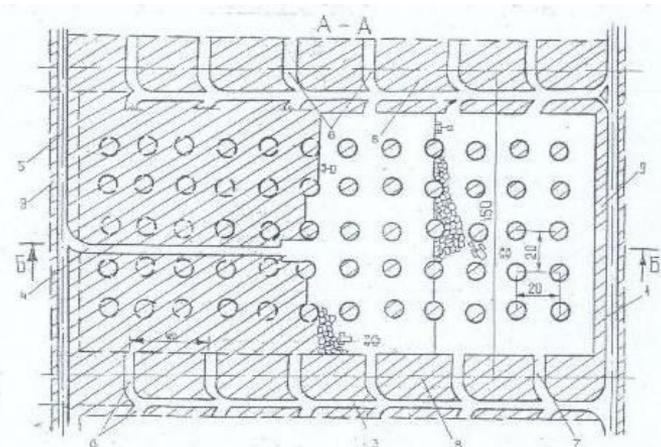
Схема вскрытия Жезказганского месторождения на примере шахты №57



Камерно-столбовая система разработки



а)



б)

а – при мощности залежи до 8 м; б – при мощности залежи свыше 8 м.

1 – откаточный штрек; 2,3 – панельные штреки; 4 – вентиляционный штрек; 5 – сборный вентиляционный штрек; 6 – заезды в панель; 7 – разрезной штрек; 8 – барьерные целики; 9 – охранные целики.

Специальная часть

Разработка методики сейсмического контроля состояния массива с помощью системы ISS

1. Построение модели в системе COMSOL Muliphysics и расчет напряжений и деформаций, принимаемых в качестве начальных условий.
2. Динамический расчет во времени переходных процессов деформирования (переходный анализ деформаций с решателем (сольвером) во временной области).
3. Расчет зависимости характеристик сейсмосигнала от расстояния между источником и сейсмоприемником.
4. Расчет размеров зоны приема сейсмосигналов.
5. Формулировка требований к сейсморегистрирующей аппаратуре.
6. Выбор системы, монтаж и наладка оборудования.

Построение модели и расчет напряжений и деформаций, принимаемых в качестве начальных условий

Расчет напряжений и деформаций при моделировании распространения упругих волн базируется на дифференциальных уравнениях следующего вида:

$$e_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot (c \nabla u) + a u = f$$

где u - вектор перемещений;

e_a – коэффициент масс (плотность);

d_a – коэффициент демпфирования или коэффициент масс;

c – коэффициент рассеяния;

a – коэффициент поглощения;

f – член уравнения, характеризующий источник.

Параметры расчета

- модуль упругости E ;
- коэффициент Пуассона μ ;
- плотность ρ ;
- параметры затухания.

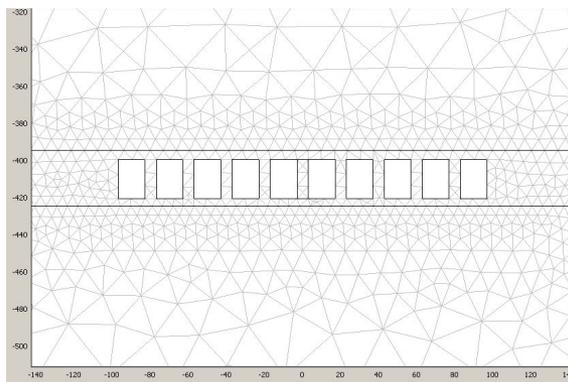
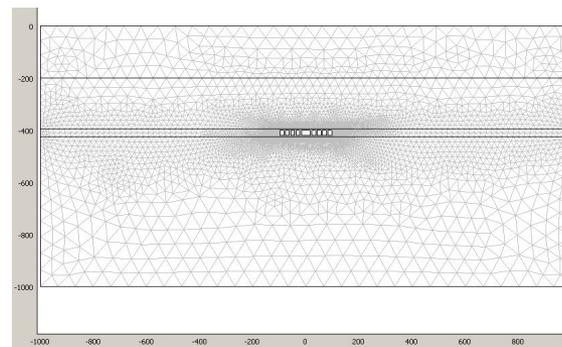
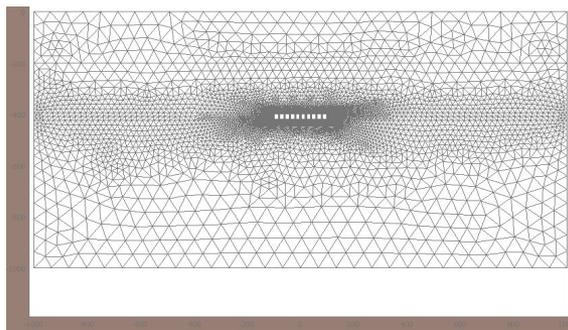
Динамика системы с вязким затуханием (модель Рэлея):

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} + c \frac{du}{dt} + ku = f(t)$$

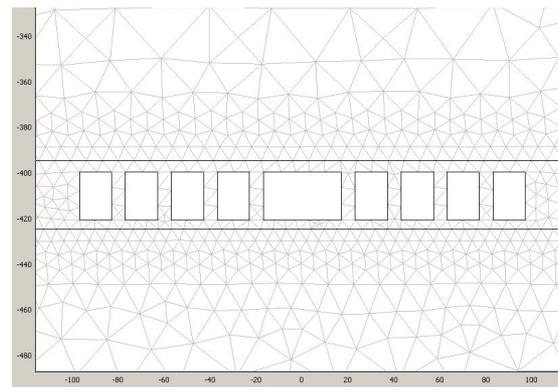
Затухание пропорционально частоте: $\eta = \frac{\alpha_{dM}}{2\pi f} + 2\pi f \cdot \beta_{dK}$

где α_{dM} , β_{dK} - параметры затухания массы и жесткости соответственно.

Сеточная модель массива и панели



а)

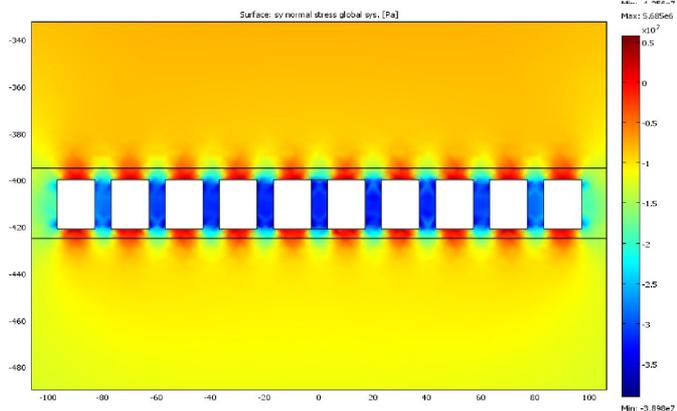
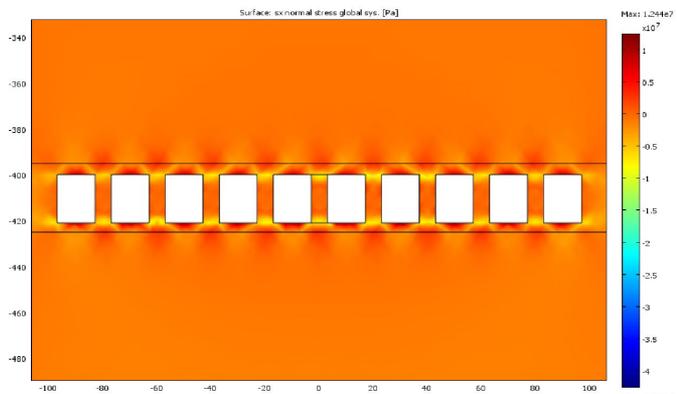


б)

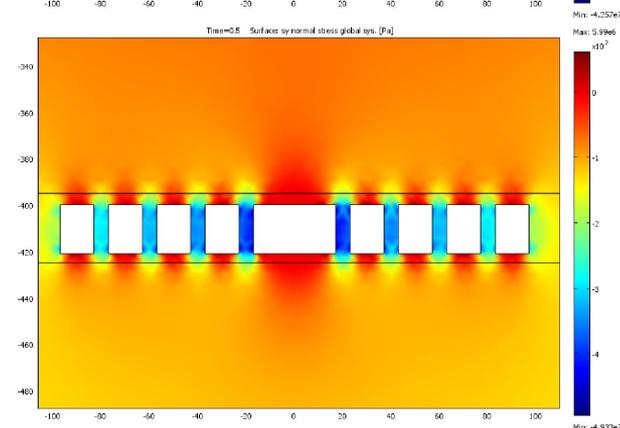
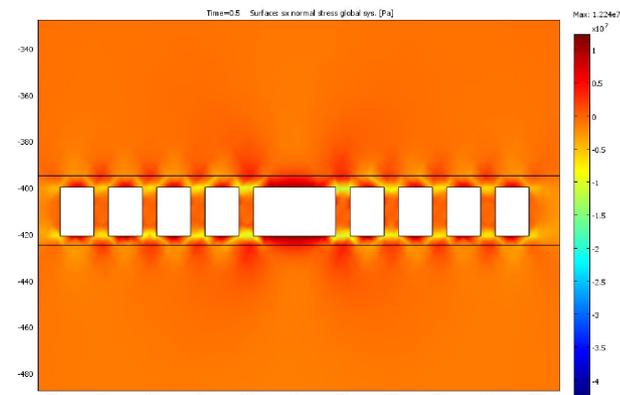
а – в исходном состоянии; б – после разрушения целика

Значения горизонтальных и вертикальных напряжений в зоне панели

Горизонтальные
напряжения



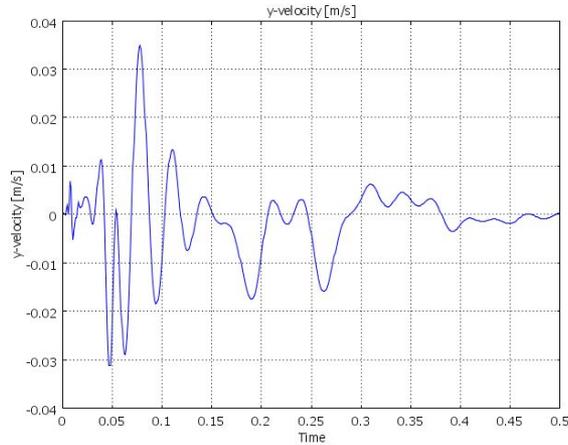
Исходное состояние



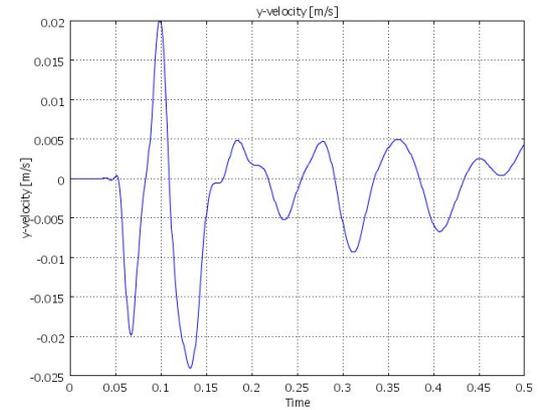
После разрушения целика

Временные зависимости колебательной скорости

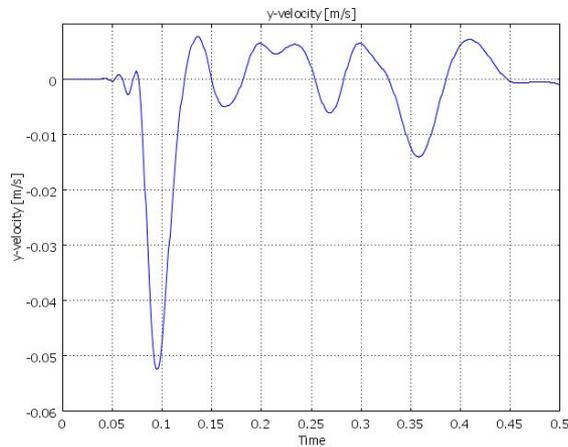
X=-100
Y=-400



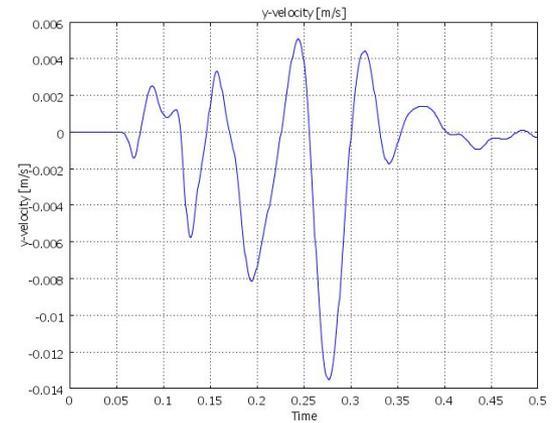
X=-200
Y=-200



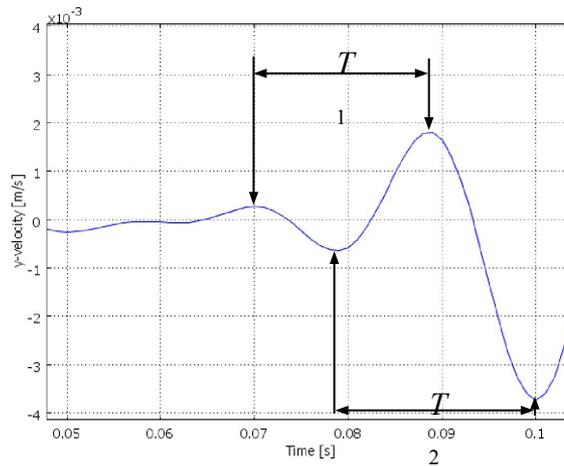
X=0
Y=0



X=-300
Y=-400



Расчет зависимости характеристик сеймосигнала от расстояния между источником и сейсмоприемником



Начальный участок графика колебательной скорости, анализ которого позволяет принять частоту равной 50 Гц

Смещение описывается формулой: $y(t) = y_0 \sin(\omega t)$

Скорость и ускорение (производные):

$$v(t) = y'(t) = \omega y_0 \cos(\omega t) \quad a(t) = y''(t) = -\omega^2 y_0 \sin(\omega t)$$

Следовательно: $a_{\max} = -\omega v_{\max}$

где $v(t)$ и $a(t)$ соответственно колебательные скорость и ускорение смещений, ω - круговая частота, a_{\max} , v_{\max} – максимальные значения скорости и ускорения.

Значения амплитуд колебательных скорости и ускорения

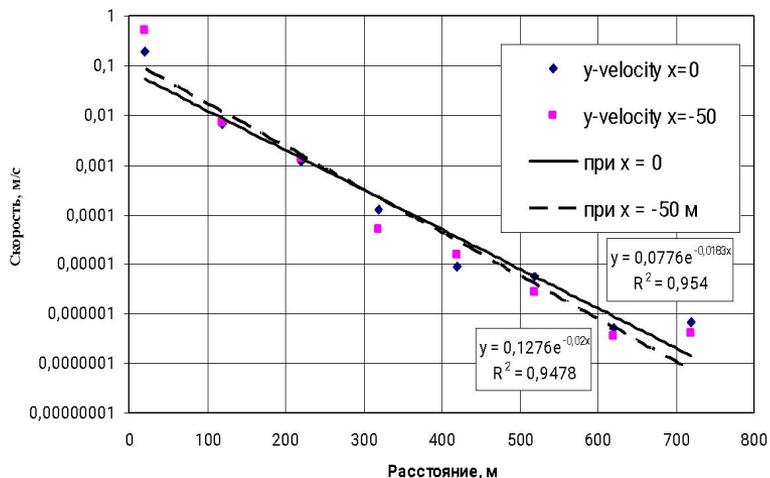


График распределения колебательных скоростей в зависимости от расстояния до источника по осям $x = 0$ м и $x = -50$ м

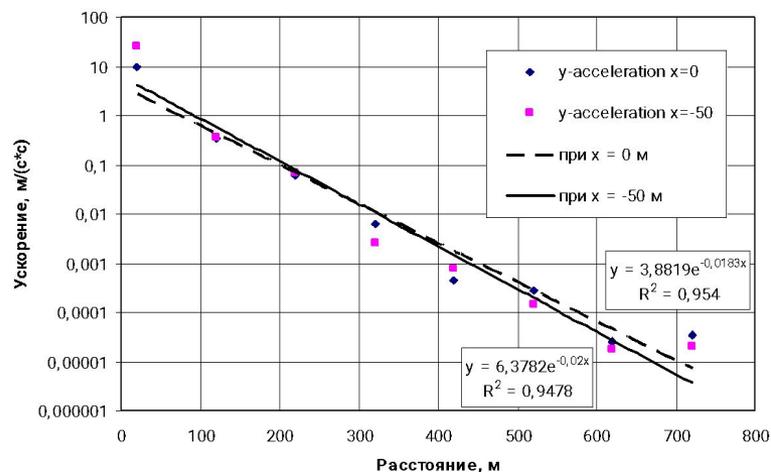


График распределения колебательных ускорений в зависимости от расстояния до источника по осям $x = 0$ м и $x = -50$ м

Расчет размеров зоны приема сеймосигналов

Расстояние рассчитывается из соотношения

$$U_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}} = b_0 \exp(-b_1 \cdot r) \quad \text{откуда}$$

$$r = -\frac{1}{b_1} \ln\left(\frac{U_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}}}{b_0}\right)$$

где $U_{\text{п}}$ - порог чувствительности аппаратуры; $K_{\text{пр}}$ - коэффициент преобразования ускорения в напряжение сеймоприемника-акселерометра; b_0 , b_1 – коэффициенты зависимостей амплитуды ускорения от расстояния; r – радиус зоны приема сеймосигналов.

Технические характеристики измерительных приборов и радиус зоны приема сейсмосигналов

Измерительный прибор	Чувствительность $K_{пр}$, мВ/g	r , м
Пьезопреобразователь	30	420
МЭМС-преобразователь	800	620

Требования к сейсморегистрирующей аппаратуре

1. Частотный диапазон, Гц

- минимальная частота, Гц 10

- максимальная частота, Гц 200

2. Радиус зоны чувствительности, м 600

3. Минимальное количество точек регистрации 12

4. Минимальное количество каналов 36

Параметры системы ISS

- до 64 каналов;
- частотный диапазон 0,2-2300 Гц;
- программно выбираемый шаг дискретизации (50-24000 Гц);
- триггерный и/или непрерывный режим работы;
- передача данных по проводам или Wi-Fi;
- возможность подключения любых сейсмических датчиков в одно-, двух- или трехкомпонентных исполнениях;
- возможность работы с несейсмическими датчиками (температуры, смещения, деформаций и т.д.);

Методика сейсмического мониторинга с применением системы ISS

- монтаж и наладка оборудования, установка и настройка ПО;
- непрерывный сбор сейсмических данных;

При наступлении сейсмического события:

- определение количества и местоположения сработавших сеймопавильонов;
- автоматическое построение сейсмограмм программой Jmts;
- оценка примерного местонахождения очага события по карте месторождения на основе определения местонахождения сработавших датчиков;
- определение первого вступления прямой Р-волны автоматически или вручную;
- расчет местоположения очага сейсмособытия по первому вступлению Р-волны;
- расчет энергетических параметров сейсмического события в автоматическом режиме;
- регистрация обработанного события в журнале событий с нанесением на карту сейсмической активности месторождения;

Экономическое обоснование

Сводная таблица затрат:

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.
1. Капитальные затраты	4132031059
2. Эксплуатационные затраты, в том числе:	7591593,3
2.1 Затраты на электроэнергию	76040,4
2.2 Затраты на оплату труда	4620000
2.3 Затраты на социальные и прочие нужды.	1210000
2.4 Амортизационные отчисления	1334000
2.5 Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования	351552,9
2.6 Затраты на внепроизводственные расходы	303663,7

Чистый дисконтированный доход:

$$S_{npv} = \sum_{t=1}^5 \frac{34078000000}{(1 + 0.1395 - 0.085)^t} = 30672016646 \text{ руб.}$$

Рентабельность проекта:

$$R = \frac{\Pi}{A} = \frac{30672016646}{20634467000} = 1.486$$

Графическое изображение чистого дисконтированного дохода

