

УДК 622.28.004.5

*Е.А. Вознесенский***КОНТРОЛЬ ШТАНГОВОЙ КРЕПИ
ИМПАКТ-МЕТОДОМ**

Семинар № 3

Повышение устойчивости кровли подземных горных выработок с помощью штанговой крепи является одним из наиболее эффективных и широко применяемых технологических приемов. Эффективность применения такой крепи определяется своевременной диагностикой ее состояния, что позволяет в случае нарушения сцепления крепи с массивом пород проводить дополнительные крепления и тем самым предотвращать обрушение кровли.

Одним из методов диагностики является так называемый импакт-метод, основанный на регистрации и анализе вибрационного отклика, возникающего в ответ на ударное воздействие на торцевую часть штанги.

Состояние кровли во многом зависит от сцепления штангового крепления с массивом пород. При заполнении шпура цементирующей массой возможны раз-

личные случаи обеспечения механического контакта штанги с массивом пород. На рис. 1 представлено схематическое изображение вариантов сцепления, формализованных для выбора модели.

В первом случае (1) пространство между штангой и массивом пород заполнено полностью, и контакт обеспечивается по всей длине шпура. Следующие три случая (2-4) моделируют контакт, который обеспечивается в одном участке, последний случай (5) характеризуется сцеплением штанги со стенками шпура в верхней и нижней частях.

Понятно, что в каждом из этих случаев резонансные свойства штанг будут проявляться по-разному. При некачественном сцеплении штанги с массивом наивысшую резонансную частоту можно ожидать в случае 5, а наименьшую – в случаях 2 и 4.

Поэтому, регистрируя спектры откликов на ударное воздействие, можно диаг-

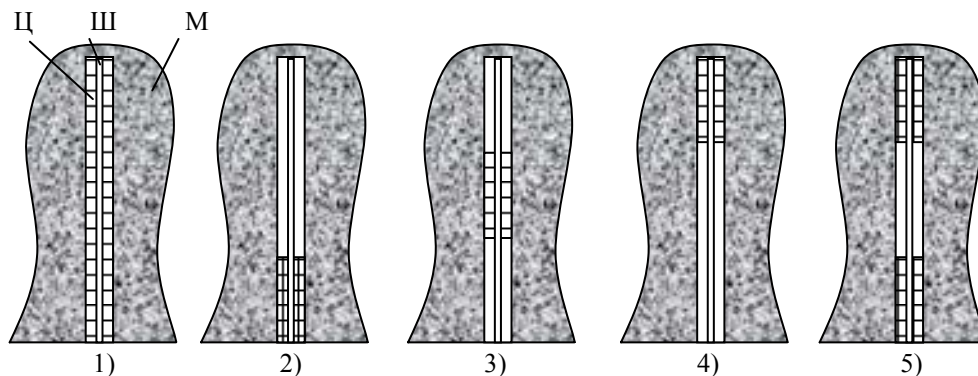


Рис. 1. Возможные случаи сцепления штанги с массивом; 1) хорошее сцепление; 2) сцепление в нижней части; 3) сцепление в средней части 4) сцепление в верхней части 5) сцепление в верхней и нижней частях; М - массив пород; Ш – штанга; Ц – цементирующая масса (цементный раствор или смола)

ностировать один из пяти указанных случаев.

Описание модели.

В соответствии с указанной схемой используется модель, состоящая из основания, на котором размещены тросы, в которые зажимается штанга, имитируя различные случаи сцепления с массивом.

Удары, используемые для диагностики штанговой крепи, могут наноситься сбоку и в торец штанги. При этом будут возбуждаться различные типы волн, а спектры регистрируемых сигналов соответственно также будут отличаться. При этом в ходе эксперимента следует определить, какой вид удара дает меньшую ошибку распознавания.

Регистрирующая часть.

Для регистрации используется двухканальный аудио-плеер и преобразователи акустического сигнала с предварительным усилителем. В данных исследованиях преобразователи с помощью клеящей массы размещались на конце штанги, причем ось одного из них (1 канал) была перпендикулярна оси штанги, а ось второго (2 канал) – параллельна ей. Таким образом, каждый из преобразователей был предназначен для восприятия различных типов колебаний и волн, образующихся в штанге при ударе.

Обрабатывающая часть.

В качестве обрабатывающей части используется компьютер, конфигурация которого не принципиальна, но желателен достаточно большой объем оперативной памяти. Минимальные требования: процессор PII, 400 МГц, ОЗУ 256 МБ, жесткий диск 4 ГБ, порт USB.

Для обработки требуется следующее программное обеспечение:

- стандартная система Mathcad, версия, начиная с 8 и выше;

- программа преобразования формата MP3 в формат wav (например, CDEX, Adobe Audition или аналогичные);

- программа, осуществляющая разделение непрерывной записи на записи отдельных сигналов и выделения значений информативных параметров спектров, соответствующих каждой записи отдельной штанги;

- программа классификации состояний, использующая образцовую и распознаваемую выборки параметров сигналов;

- программа подсчета вероятностей правильного и ошибочного распознавания.

Методика проведения эксперимента.

В табл. 1 представлены указанные случаи в виде схем точек закрепления штанг. Т1-Т3 означают номера тросов, в которые зажимается штанга, буквой Д обозначена точка размещения датчиков (вблизи от тросов Т1), буква Х означает точку закрепления, прочерк – отсутствие закрепления.

Испытание проводится в следующей последовательности.

1) Штанга с закрепленными преобразователями зажимается в тиски Т1-Т3 в соответствии с выбранной схемой согласно табл. 1.

2) Подается питание на усилитель, плеер включается на запись в режиме диктофона с непрерывной записью.

3) Производится 40 ударов по штанге с интервалом 0,8 – 1,0 с.

4) Производится остановка записи сигналов.

Таблица 1

Схемы точек закрепления штанг

№	Схемы точек закрепления штанги			
	Д	Т1	Т2	Т3
1	Д	Х	Х	Х
2	Д	Х	-	-
3	Д	-	Х	-
4	Д	-	-	Х
5	Д	Х	-	Х

N, уровни АЦП

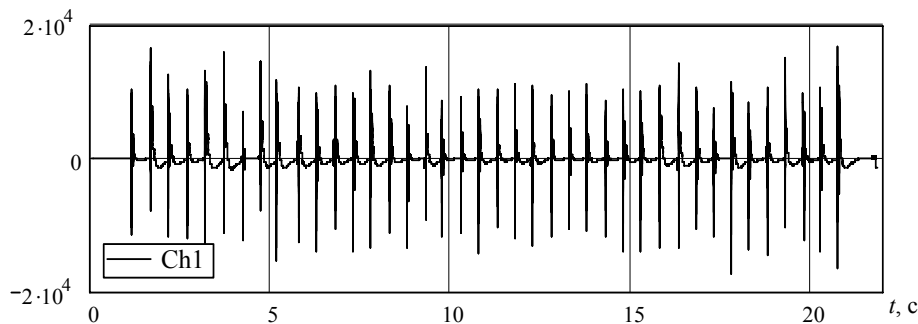


Рис. 2. Серия ударов, зарегистрированная при ударе сбоку по 1 каналу (ось преобразователя ориентирована перпендикулярно оси штанги)

5) Выбирается новая схема измерения согласно табл. 1.

6) После измерений по всем 5 схемам испытания заканчиваются.

Количество ударов в каждой серии не должно быть меньше 30. Это связано с тем, что объем результатов, для которого могут быть применены методы традиционной статистики, позволяющие получить статистически достоверные результаты, должен соответствовать большой выборке. Минимальное значение элементов в такой выборке 30. Это позволяет учитывать все возможные изменения сигналов при их распознавании. С учетом, что часть ударов может быть произведена недостаточно качественно и сигналы будут иметь нехарактерный для этого случая вид, общее количество ударов было выбрано равным 40.

Такой выбор был продиктован также и проведенными ранее исследованиями сигналов акустической эмиссии, возникающей при деформировании горных пород. При этом было установлено, что для получения стабильных характеристик необходимо производить усреднение не менее 20-25 сигналов.

На рис. 2 для примера представлены в сжатом виде результаты регистрации ударов по торцу (Т).

Обработка результатов измерений.

На рис. 3 и 4 для примера представлены усредненные спектры сигналов при различных схемах измерения и ударах.

Как видно из спектров, они отличны друг от друга и это может служить основанием для распознавания.

В качестве информативных параметров для распознавания были выбраны среднеквадратические значения амплитуд, рассчитанных в нескольких полосах частот.

Результаты распознаваний.

Распознавание осуществляется путем вычисления условного риска по критерию Байеса. Из всех возможных решений выбирается то, для которого условный риск минимален.

В качестве показателя достоверности контроля состояния штанговой крепи и массива пород служит усредненная вероятность ошибки распознавания при ударах сбоку (С) и по торцу (Т). Чем она ближе к 0, тем выше достоверность распознавания. Соответственно, чем выше и ближе к 1 вероятность правильной классификации, тем выше достоверность контроля.

По рассчитанным значениям вероятности ошибки путем аппроксимации с использованием пакета Statistica получены зависимости вероятности ошибки

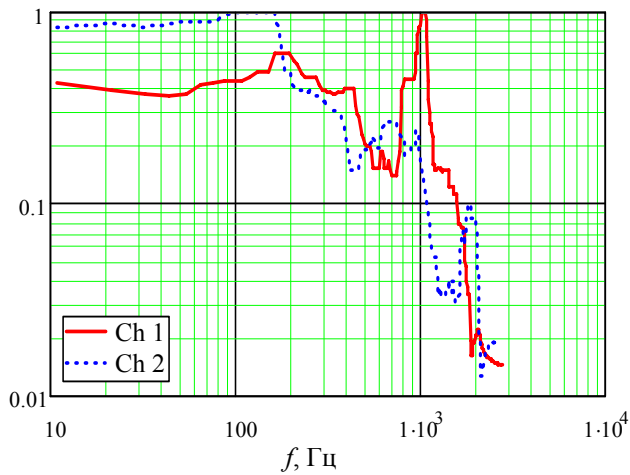


Рис. 3. Усредненный нормированный спектр сигналов при ударах сбоку, первая схема

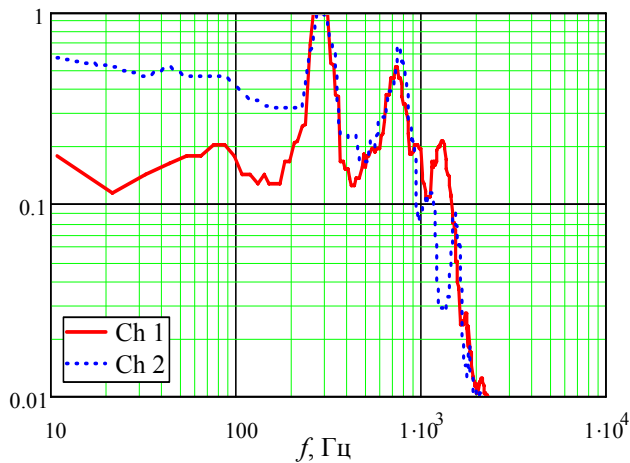


Рис. 4. Усредненный нормированный спектр сигналов при ударах в торец, вторая схема

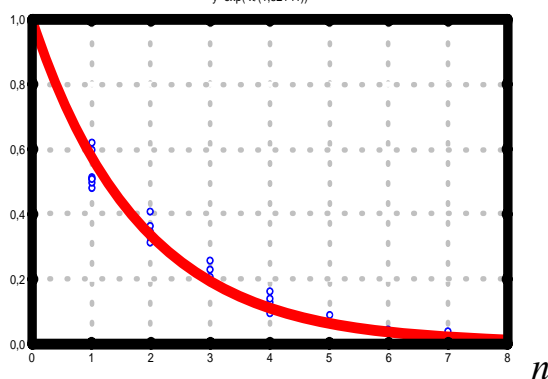


Рис. 5. Результаты аппроксимации зависимости вероятности ошибки от количества информативных параметров для преобразователя, расположенного перпендикулярно оси штанги, удары сбоку

от количества информативных параметров. Они могут быть использованы для последующего анализа и ориентировочного расчета требуемого числа параметров от допустимой вероятности ошибки. На рис. 5 представлен один из графиков зависимости ошибки распознавания от числа информативных параметров.

Указанные результаты аппроксимируются экспоненциальными зависимостями

$$P(n) = \exp(-n/a),$$

где $P(n)$ - вероятность ошибки, n - количество информативных параметров, a - параметр экспоненты.

В табл. 2 приведены значения параметра аппроксимирующей экспоненты a , характеризующего уменьшение вероятности ошибки при увеличении количества информативных параметров для различных случаев измерения.

Как видно из таблицы, меньшим значением a обладает вариант размещения преобразователя перпенди-

Таблица 2
Значения коэффициента α для различных случаев измерения

Размещение преобразователя	Удары	
	Сбоку	В торец
Перпендикулярно оси	1,82	1,63
Параллельно оси	1,85	1,87

кулярно оси с ударами в торец. Это означает, что с увеличением количества информативных параметров усредненная ошибка распознавания уменьшается быстрее по сравнению с другими случаями. Этот случай и может быть рекомендован как имеющий преимущества по сравнению с другими, значения коэффициента α для которых близки друг другу.

Приведенные выше значения вероятностей ошибки получены для распознавания по 1 сигналу, получаемому одним ударом по штанге. Если же применять усреднение нескольких сигналов, например, 5, получаемых в результате 5 ударов по штанге в одной серии, то можно добиться еще большего снижения ошибки распознавания.

Выводы

1) Проведенные исследования показали целесообразность проведения контроля состояния штанговой крепи и кровли путем анализа нормированных по максимальному значению спектров сигналов, регистрируемых преобразователями, размещенными на штанге и образующихся при ударе по ней молотком, при этом в качестве информативных параметров используются среднеквадратические значения спектральных составляющих в соответствующих полосах частот.

2) По результатам модельных исследований при распознавании по 7 информативным параметрам получена вероятность ошибки распознавания, равная 0,04 при использовании одинаковых образцов и подлежащей распознаванию выборки объемами 180-200 измерений; при этом распознавались 5 возможных состояний, отличающихся разной степенью и видами сцепления штанги с массивом пород.

3) Методически вариант контроля при размещении преобразователя перпендикулярно оси с ударами в торец штанги с точки зрения уменьшения вероятности ошибки распознавания состояния штанговой крепи и массива пород может быть рекомендован как имеющий преимущество по сравнению с другими.

Коротко об авторах

Вознесенский Е.А. – студент физико-технического факультета, Московский государственный горный университет.



© С.Ю. Бобровская, В.А. Ромащенко,
 2006

С.Ю. Бобровская, В.А. Ромащенко

**ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБИННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ
ПЕСЧАНО–АЛЕВРОЛИТО-ГЛИНИСТЫХ
КОЛЛЕКТОРОВ В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО
ВЫСОКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ**

Семинар № 3

Объем добычи нефти в России в 2005 году составил 470 млн т. Западная Сибирь является главной нефтедобывающей территорией России. Однако в настоящее время многие разрабатываемые месторождения, приуроченные к наиболее близко залегающим горизонтам, находятся в стадии падающей добычи. В связи с этим перед нефтегазодобывающей промышленностью стоит задача освоения более глубокозалегающих нефтеносных и газоносных пластов. Наиболее перспективными являются ачимовские отложения нефти и газа, приуроченные к низам меловых отложений и распространенные на глубине 3500–4000 м практически по всей территории Западной Сибири. Потенциальные ресурсы этих залежей оцениваются как минимум в 5 млрд т. Нефти, 4,6 трлн м³ газа и 1 млрд т. конденсата.

Особенность этих месторождений заключается в их аномально сложных характеристиках – большой глубине залегания продуктивных пластов, аномально высоком пластовом давлении, коэффициент аномальности достигает 1,8 и температуре до 120 °С, сложном строении песчано-алевролитно-глинистых коллекторов.

При комплексировании методов геофизической скважинной разведки нужно учитывать, что при бурении толщи пород, обладающих аномально высоким пластовым давлением, для предотвращения выбросов, использовались утяжеленные промывочные жидкости (1,6–1,7 г/см³), следствием чего являются образование глубо-

ких зон проникновения и значительная кольматация (закупорка пор). Физико-химические свойства пород в зоне проникновения меняются за счет оттеснения первоначального флюида, возникновения сложного, в ряде случаев многофазного насыщения, окислительно-восстановительных процессов. При изучении характера насыщения пласта, количественной оценке его нефтегазоносности и фильтрационно-емкостных характеристик, зона проникновения является серьезным осложняющим фактором.

Комплекс исследований с АВПД должен включать методы ГИС в модификациях позволяющих скомпенсировать влияние зоны проникновения и кольматации.

Наиболее полно компенсируется влияние зоны проникновения при боковом каротаже многоэлектродными зондами, за счет изменения коэффициента фокусировки зонда.

Для индукционного каротажа вводят поправку за влияние зоны проникновения, для чего измерения проводят тремя зондами с различной глубиной.

Кроме того, время между разбуриванием и проведением исследований комплексом методов электрического каротажа должно быть максимально сокращено.

Для оценки коллекторских свойств песчано-алевролитно-глинистых коллекторов используют зависимость $k_{пр} = f(k_{гд})$, для определения $k_{гд}$ используют гамма каротаж, влияние ПЖ компенсируется уже

на этапе интерпритации введением поправки с помощью палеточных зависимостей.

Влияние промежуточного слоя при гамма-гамма-плотнометрии исключают, применяя двухзондовые приборы.

Коротко об авторах

Бобровская С.Ю. – студентка,
Ромащенко В.А. – студент,
физико-технический факультет, Московский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ЛАПИЦКИЙ Алексей Анатольевич	Обоснование и разработка технологических параметров консервации и ликвидации подземных емкостей, созданных ядерными взрывами в каменной соли	25.00.22	к.т.н.
ПОЛУТОРНАЯ Светлана Алексеевна	Организационно-экономический механизм управления эффективностью инвестиционных проектов угледобывающих предприятий	08.00.05	к.э.н.
СЫСЕНКО Валентина Алексеевна	Снижение выбросов парниковых газов при разработке углегазовых месторождений на основе совершенствования технологии гидрорасчленения угольных пластов	25.00.36	к.т.н.



© А.Ю. Бауков, Д.А. Нарышкин,
Е.В. Волик, 2006

УДК 534.246:658.5:535

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ УПРУГИХ ПЛАСТИНАХ

При практической реализации виброакустического контроля многослойных конструкций с использованием ударной модификации виброакустического метода для эффективного и надежного выявления внутренних протяженных дефектов конструкций необходимо осуществлять оптимальный режим ударного возбуждения исследуемого объекта. В этом случае в задаче оптимизации ударного возбуждения можно выделить два основных аспекта.

Во-первых, ударное воздействие на конструкцию должно характеризоваться оптимальной величиной длительности ударного импульса τ [1]. Во-вторых, энергия внешнего воздействия на конструкцию должна быть при выбранной оптимальной длительности ударного импульса τ , а следовательно при выбранных параметрах ударной системы [2] достаточной для возбуждения в участке конструкции над дефектом собственных изгибных колебаний на основной моде. Причем амплитуда этих колебаний должна быть такой, чтобы при заданной чувствительности ε приемного вибродатчика измерительного прибора было возможно проведение качественного спектрального анализа регистрируемого виброакустического импульса.

Теоретическое решение задачи об импульсном возбуждении упругой плиты, расположенной над дефектом, даже в идеализированном случае однородной пластины с идеальными граничными условиями является одной из сложнейших задач теории упругости. Так, если возбуждающая сила непериодична, как в случае единичного ударного импульса, то силу и

смещение колеблющейся системы можно представить в виде интегралов, пользуясь преобразованием Фурье. При этом для упругой колебательной системы с распределенными параметрами ее реакцию на импульсное воздействие можно определить, интегрируя решение для спектра смещения системы $\xi(x, t)$ [3]

$$\begin{aligned} \xi(x, t) &= \sum_v \int_{-\infty}^{\infty} S_{\xi v}(\omega, x, y) e^{j\omega t} \frac{d\omega}{2\pi} = \\ &= \sum_v \varphi_v(x, y) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{j\omega t} (d\omega/2\pi)}{m(\omega_v^2 - \omega^2)} \times \\ &\times \int S_p(\omega, x_F, y_F) \varphi_v(x_F, y_F) dx_F dy_F, \end{aligned} \quad (1)$$

где S_{ξ} и S_p - спектральные плотности смещения ξ и давления $P(x, y)$, создаваемого внешней силой; $\varphi_v(\omega, x, y)$ - собственные нормированные функции системы, удовлетворяющие решению однородного уравнения движения системы и условиям нормирования; m - масса ударной системы, v - номер изгибной моды.

Решение такой задачи сопряжено со значительными математическими трудностями. Однако в данном случае можно воспользоваться приближенным методом, с успехом применяемым для расчетов реакции конструкций в виде балок и плит на импульсное воздействие [4]. Данный метод основан на том, что колебания упругой пластины могут быть представлены в виде колебаний осциллятора с одной степенью свободы на основной моде пластины с соответствующими эквивалентными параметрами, а также на законе сохранения импульса при ударе о пластину системы возбуждения.

В данном предположении в случае удара тела массы m по пластине – гармоническому осциллятору (аналогу пластины), пластине сообщается начальная скорость V_1 , величина которой зависит от конечной скорости движения тела V_0 в момент удара и от величины массы тела и приведенной массы пластины. Делая некоторые допущения и считая явление удара мгновенным, можно предположить, что скорость тела V_0 снижается после встречи его с плитой до величины V_1 – начальной скорости общей системы, состоящей из массы пластины M и массы тела m , которая на основании закона сохранения энергии выражается следующим образом:

$$\xi_{(0)} = V_1 = \frac{m}{m+M} \cdot V_0 = \frac{F}{M_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где F – начальный импульс силы.

В связи с тем, что свободные колебания гармонического осциллятора (аналога основной моды изгибных колебаний пластины) при начальных условиях $\xi_{(0)} = \xi_0$ и $\dot{\xi}_{(0)} = V_0$ записываются в следующем виде [4]:

$$\xi_{(t)} = e^{-\delta t} \left[\xi_0 \left(\cos \omega_{\delta} t + \frac{\delta}{\omega_{\delta}} \sin \omega_{\delta} t \right) + \frac{V_0}{\omega_{\delta}} \sin \omega_{\delta} t \right], \quad (3)$$

свободные колебания пластины после получения ею импульса F будут описываться при условии $\xi_{(0)} = 0$ с учетом выражения (2) следующим образом:

$$\xi_t = \frac{F}{M_{\Sigma}} \frac{\sin \omega_{\delta} t}{\omega_{\delta}} e^{-\delta t}, \quad (4)$$

где δ – временной коэффициент затухания осциллятора; $\omega_{\delta} = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$; ω_0 – собственная частота осциллятора, в данном случае – частота первой моды пластины; $M_{\Sigma} = m + M$.

При этом пластина будет иметь следующую начальную амплитуду:

$$A_0 = \frac{F}{M_{\Sigma} \omega_{\delta}}. \quad (5)$$

В этом случае параметры осциллятора с одной степенью свободы, входящие в выражения (4) и (5) определяются эффективными колебательными параметрами для первой (основной) моды изгибных колебаний пластины [3]:

$$M_v^*(A) = \frac{M_v(A)}{\chi_v(A)}; \quad R_v^* = \frac{\omega_v^2}{\omega} \eta M_v^*(A), \quad (6)$$

где $M_v(A) = q_v \cdot M$; M – полная масса системы; χ_v – постоянная возбуждения системы, зависящая от координат точки возбуждения A и точки приема колебаний; q_v – параметр формы системы, который зависит от вида собственных функций колебаний пластины; η – коэффициент потерь материала пластины; v – номер моды.

С учетом того, что при замене колебаний пластины колебаниями системы с одной степенью свободы на основной моде ($m = 1, n = 1$) для прямоугольной пластины $q_v = \frac{1}{4}$, а следовательно $M_1^* = \frac{M}{4}$ при условии, что точка наблюдения теоретически совпадает с точкой возбуждения ($q_1 = 1$). При этом коэффициент затухания эквивалентного осциллятора определяется

$$\delta = \frac{R}{2M} = \frac{\omega_0 \eta}{8}. \quad (7)$$

В этом случае на основании выражений (4), (5), (6) и (7) может быть рассчитана начальная амплитуда колебаний пластины A_0 , определяющая энергетическую эффективность ударного

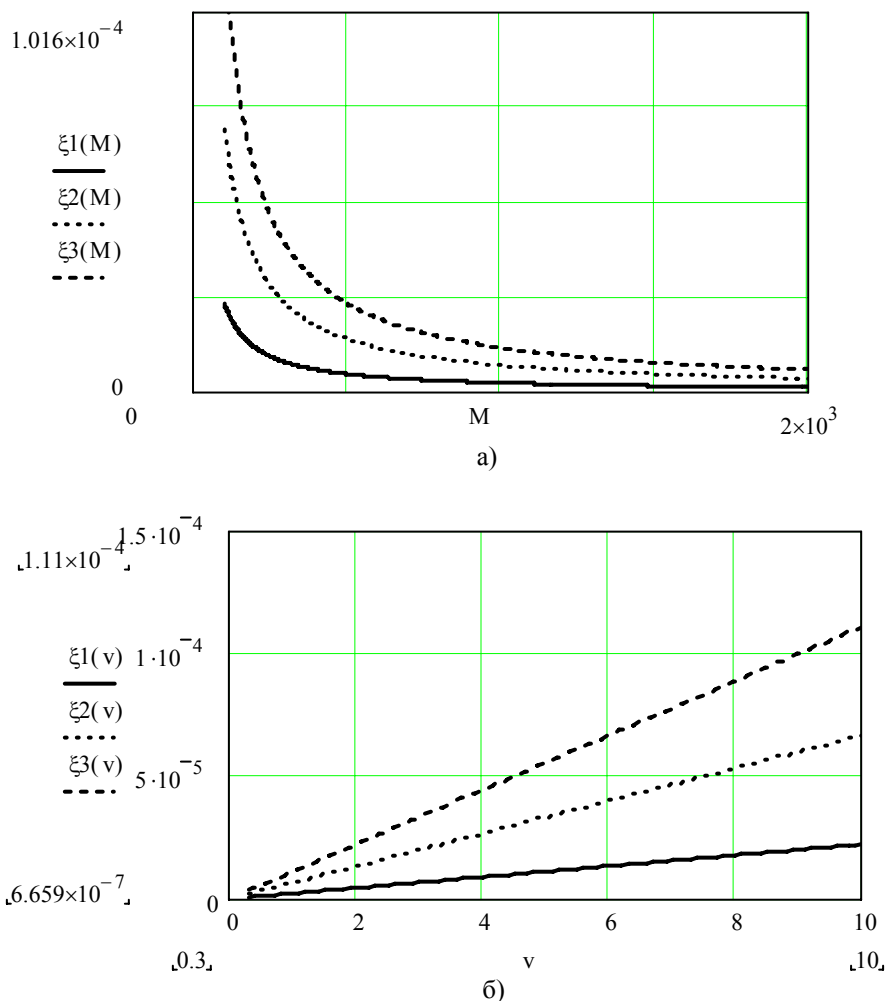


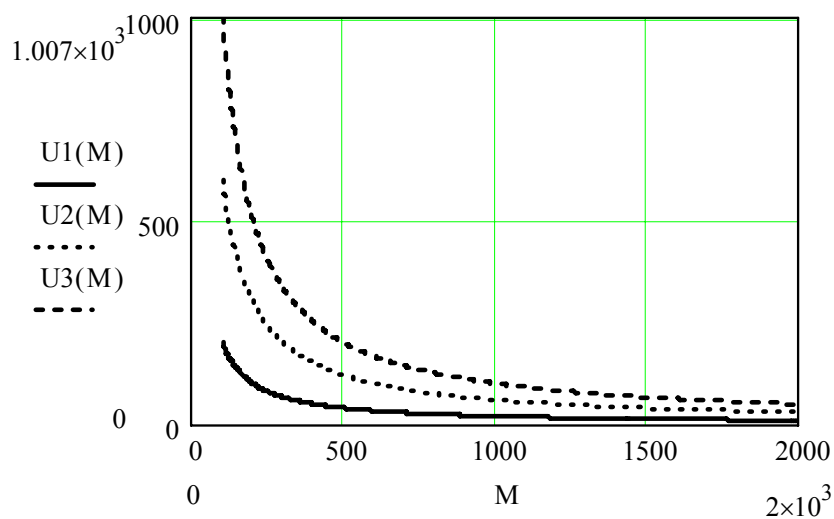
Рис. 1. Зависимости смещения пластины толщиной $h_1=0,23\text{ м}$ от параметров пластины и ударной системы: а – от эффективной массы пластины на первой моде M ($V = 5 \text{ м/с}$); б – от скорости ударной системы V ($M = 211 \text{ кг}$): $\xi_1 - m = 1 \text{ кг}$; $\xi_2 - m = 3 \text{ кг}$; $\xi_3 - m = 5 \text{ кг}$

возбуждения. Принимая под длительностью экспоненциального импульса время, соответствующее достижению амплитудой затухающих колебаний уровня 0,1 от ее начального значения A_0 , можно оценить на основании формулы (4) длительность регистрируемого виброакустического импульса

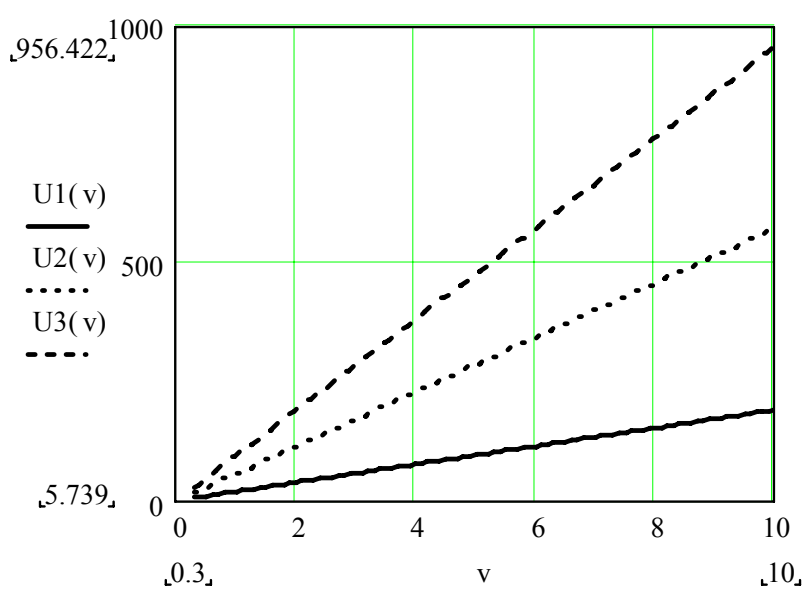
$$t_{\text{имп}} = \frac{\ln 0,1}{\delta \ln A_0}.$$

(8)

Длительность виброакустического импульса представляет определенный интерес для оптимизации методики виброакустического контроля в случае использования способа накопления информации, а также для выбора оптимального режима при спектральном анализе регистрируе-



a)



б)

Рис. 2. Зависимости выходного напряжения с пьезоакселерометра от параметров пластины ($h_1 = 0,23$ м) и ударной системы: а – от эффективной массы пластины M ($V = 5$ м/с); б – от скорости ударной системы V ($M = 211$ кг): $U1$ – $m = 1$ кг; $U2$ – $m = 3$ кг; $U3$ – $m = 5$ кг

мых импульсов. Кроме того, начальная (максимальная) амплитуда виброакустического импульса и длительность импульса позволяют

оценить его энергию, а следовательно энергетическую эффективность возбуждения изгибных колебаний в исследуемом

объекте, что является дополнительным информативным критерием виброакустического метода контроля.

Начальная амплитуда изгибных колебаний пластины A_0 при ее ударном возбуждении позволяет оценить требуемую чувствительность измерительной аппаратуры, применяемой при виброакустическом контроле, а также возможный динамический диапазон изменения уровня входного сигнала при проведении контроля многослойных конструкций.

Так, если в качестве приемного датчика в виброакустической аппаратуре используется высокочувствительный пьезоакселерометр с чувствительностью ε , выходное напряжение которого $U_{\text{вых}}$ пропорционально амплитуде колебательного ускорения регистрируемого акустического импульса ξ , величина электрического напряжения на входе входного усилителя аппаратуры на основании выражений (4) и (5) может быть рассчитана следующим образом с учетом того, что масса ударника m значительно меньше полной массы пластины:

$$U_{\text{ex}} = \xi \varepsilon = \frac{mV_0(\omega_\delta - \delta)^2}{M \cdot \omega\delta} \varepsilon. \quad (9)$$

Принимая во внимание то, что при виброакустическом контроле многослойных конструкций для достижения оптимального режима ударного возбуждения слоев различной толщины выбираются свои параметры ударной системы m и V_0 [2], можно оценить возможный динамический диапазон регистрируемого электрического сигнала на входе измерительного виброакустического устройства при проведении контроля конкретного объекта:

$$D_u = \frac{U_{\text{ex}}^H}{U_{\text{ex}}^h} = \frac{m^H V_0^H}{m^h V_0^h} \cdot \frac{(\omega_\delta^H - \delta)^2 \omega_\delta^h}{(\omega_\delta^h - \delta)^2 \omega_\delta^H}, \quad (10)$$

где индексами H и h обозначены величины, соответствующие параметрам ударной системы и первой моды изгибных колебаний пластины, определяемые для толщины всей исследуемой конструкции H

и для минимально возможной толщины внутреннего дефекта h .

На основании приведенных выше положений были проведены расчеты в среде Mathcad для пластин с двумя типоразмерами, соответствующими размерам реальных дефектов в железобетонной многослойной конструкции в виде плоской многослойной плиты, лежащей на грунтовом основании. Характеристики материала пластин и размеры дефектов были выбраны следующими:

$$E = 1,225 \cdot 10^{10} \frac{H}{M^2}; \quad \rho = 2,45 \cdot 10^3 \frac{Kг}{M^3};$$

$$\nu = 0,17; \quad \eta = 0,261;$$

$$1) \quad a_1 = 1M; \quad b_1 = 1,5M; \quad h_1 = 0,23M;$$

$$2) \quad a_2 = b_2 = 0,5M; \quad h_2 = 0,1M.$$

Параметры ударной системы, возбуждающей эти пластины, выбирались с учетом достижения оптимальных величин длительности ударного импульса τ в обоих случаях [2]: при $h_1 = 0,23$ м - $\tau_1 = 0,001$ с, при $h_2 = 0,1$ м - $\tau_2 = 0,0001$ с.

Результаты расчетов зависимостей $\xi = f(M, m)$ и $\xi = f(V_0, m)$ для плиты с толщиной $h_1 = 0,23$ м представлены на рис. 1, а, б. Результаты расчетов зависимостей выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ с вибродатчика от тех же параметров для той же плиты представлены на рис. 2, а, б. Так амплитуда смещения плиты с толщиной $h_1 = 0,23$ м при возбуждении ее ударной системой, параметры которой $m = 3$ кг; $V_0 = 5$ м/с удовлетворяют условию $\tau = 0,001$ с, составляет $A_{01} = 3,326 \cdot 10^{-5}$ м. Расчет аналогичной величины, выполненный на основании спектрального метода [1] для тех же параметров плиты и ударной системы, дает результаты, отличающиеся на 25 % от выше приведенных значений. Однако, путем корректировки оптимальных значений m и V_0 на основании кривой пересечения поверхности $\tau = f(m, V_0)$ и плоскости $\tau = 0,001$ с [2] в результате выбора величин $m = 4$ кг и $V_0 = 2,5$ м/с, указанное отличие максимальной амплитуды пла-

стины при разных методах ее расчета можно снизить до 10 %. Это подтверждает возможность использования рассматриваемого метода для оценки эффективности выбранной ударной системы.

Расчет амплитуды смещения плиты второго типоразмера ($a_2 = b_2 = 0,5 м$; $h_2 = 0,1 м$) при импульсном воздействии на нее ударной системы с оптимальными параметрами, удовлетворяющими условию $\tau = 0,0001 с$ ($m = 0,5 кг$; $V_0 = 3 м/с$), дает величину $A_{02} = 5,486 \cdot 10^{-6} м$. При этом относительное отличие A_{02} от той же величины, полученной спектральным методом, доходит до 80%. Корректировка оптимальных параметров ударной системы вышеуказанным способом по кривой $V_0 = f(m)$ [2], в результате которой получают значения $m = 0,6 кг$; $V_0 = 5 м/с$, позволяет снизить разницу в значении A_{02} до 1%.

Расчет величины выходного напряжения с пьезоакселерометра типа КД-21 ($\varepsilon = 2,02 \frac{мВ}{м/с^2}$) для рассмотренных выше случаев, выполненный на основании выражения (9), дает значение напряжений $U_{ex}^{h_1} = 1,84 В$ и $U_{ex}^{h_2} = 6,6 В$, что соответст-

вует динамическому диапазону, равному 11дБ.

Расчет длительности виброакустического импульса в случае скорректированных параметров ударной системы для пластины 1-го типоразмера, согласно выражению (8), дает значение $t_{имп} = 3,085 мс$, что соответствует экспериментальным результатам, получаемым на реальных объектах [5].

На основании этого можно сделать вывод о том, что предлагаемый упрощенный метод может с успехом применяться для оценки эффективности спроектированного ударного устройства. Кроме того, предлагаемый метод энергетической оценки максимальной амплитуды изгибных колебаний пластины в случае оптимального режима ее импульсного возбуждения позволяет проводить эффективную корректировку выбираемых параметров ударной системы, что значительно увеличивает надежность виброакустического метода контроля и повышает степень выявляемости внутренних дефектов в многослойных конструкциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауков А.Ю., Павлов С.В. Компьютерное моделирование процессов изгибных колебаний упругих пластин применительно к оптимизации виброакустического метода контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень – МГГУ, 2005, №6.
2. Бауков А.Ю., Павлов С.В., Гуляева Н.А. Оптимизация ударной системы при виброакустическом контроле многослойных конструкций подземных сооружений городского строительства. Доклад на научном симпозиуме «Неделя горняка - 2006» // Программа научного симпозиума. – М.: МГГУ, 2006.
3. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. – М.: Мир, 1971.
4. Рабинович И.М., Синецын А.П., Лужин А.В., Теренин Б.М. Расчет сооружений на импульсное воздействие. – М.: Стройиздат, 1970.
5. Бауков А.Ю. Практический опыт применения виброакустического метода при неразрушающем контроле слоистых конструкций подземного городского строительства // Горный информационно-аналитический бюллетень - МГГУ, 2004, №6.

Коротко об авторах

Бауков А.Ю. – аспирант, кафедра ФТКП,
Нарышкин Д.А., Волик Е.В. – студенты,
физико-технический факультет, Московский государственный горный университет.

УДК 550.348

*М.В. Рожков, И.Я. Чеботарёва, А.А. Звонкина,
А.В. Глазунов, В.В. Лобанов*

**СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В РАЙОНЕ
ОТРАБОТКИ РУДНИКА КУМХО, КОРЕЯ**

Семинар № 3

В статье представлены результаты локации сейсмических событий, зарегистрированных группой сейсмографов, установленных в районе бывшего рудника Кумхо, работы на котором остановлены с 2001 года. Всего установлено 9 трехкомпонентных акселерометров и велосиметров, расположенных в шести точках регистрации. Цель наблюдений – выявить возможную индуцированную глубинную сейсмичность, связанную с наличием шахтных выработок.

Определение координат гипоцентров событий проводилось с помощью лоцирующей программы, входными данными для которой являются времена вступлений сейсмических фаз на регистрирующие каналы, координаты точек регистрации и скоростная модель среды.

На рис. 1 приведена схема расстановки сейсмических приемников. Из рисунка видно, что расстояние между приемниками колеблется между 40 м и 100 м. Такой размер приемной группы характерен не для сейсмологических, а для акустических исследований. Длина волны продольных волн на частоте 10 Гц для выбранной модели составляет 450 м, на частоте 50 Гц – 90 м, что превышает линейный размер группы. Частота оцифровки данных при наблюдениях 500 Гц, следовательно, возможная максимальная величина времен-

ной задержки между датчиками для продольных волн даже для поверхностных источников составляет 4-10 временных отсчетов, а для глубинных источников значительно меньше. Необходимо также учесть, что реальный годограф искажается при прохождении неоднородностями среды, что приводит к дополнительным флуктуациям времен прихода. Также существует возможная ошибка оператора при снятии времен вступления сейсмических фаз, что может составлять для слабых сигналов несколько отсчетов. Из вышесказанного ясно, что при таких разме-

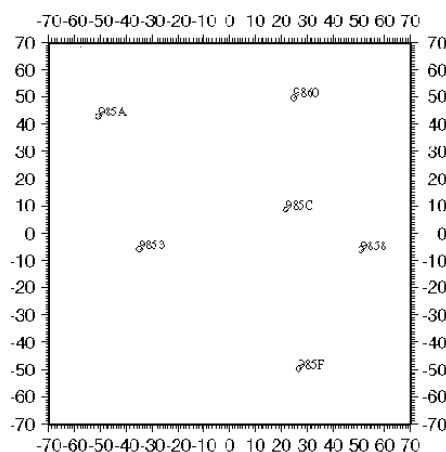


Рис. 1

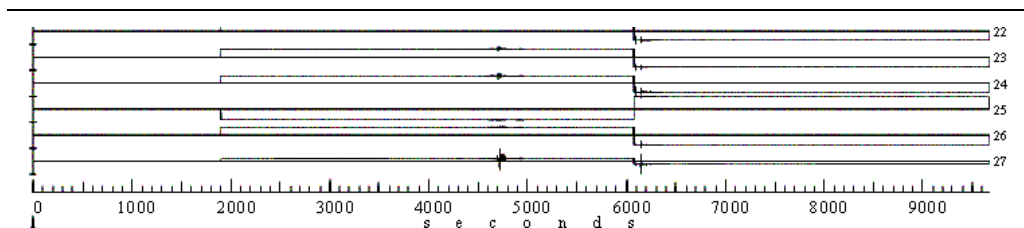


Рис. 2

рах приемной группы существующие сейсмологические алгоритмы и программы локации гипоцентров событий либо совсем не работают, теряя устойчивость, либо работают на границе режима устойчивости, что приводит к большой неточности в определении координат гипоцентров. Нормальный размер сейсмической группы должен был бы быть на порядок больше.

Несмотря на описанные трудности, нам удалось провести локацию сейсмических событий накопленной базы данных. При этом мы использовали фиктивную модель сейсмических волн: $V = 0,330$ км/сек для глубин меньших 50 м и $V = 2$ км/сек для больших глубин. Такая модель позволяет провести локализацию поверхностных источников звукового сигнала, распространяющегося по воздуху до точки регистрации сейсмическим прибором, и определить гипоцентры глубинных источников по сигналу, распространяющемуся в виде поперечных волн. Работа с продольными волнами при таких размерах приемной группы невозможна, так как для больших по величине скоростей программы обработки переходят режим неустойчивости. При этом для событий с крутым годографом снимались времена вступления сильной фазы, так как известно, что для местных землетрясений обычно наблюдается интенсивная четкая фаза S волны. При этом P волны обычно гораздо слабее по амплитуде и их вступления частота очень нечеткие.

Качество полученных сейсмических записей является хорошим, аппаратурные помехи почти отсутствуют, за исключением резких скачков среднего уровня записи,

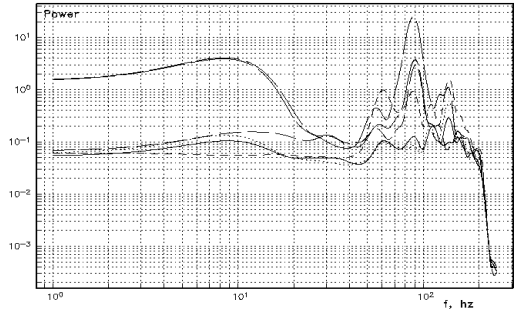
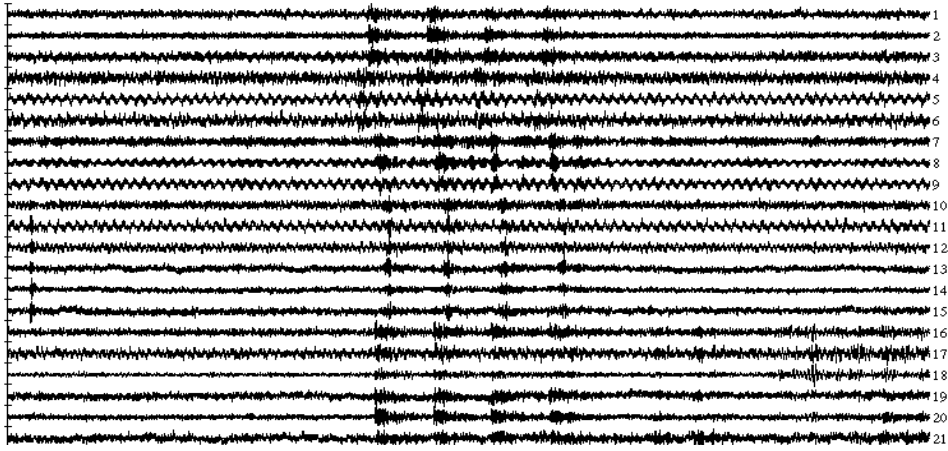
которые наблюдаются иногда на протяжении нескольких часов и серьезно усложняют обработку сейсмических записей при существующей технологии. Пример сейсмических записей с такого рода помехой приведен на рис. 2.

В районе расположения сейсмической группы в дневное время регистрируются сейсмические сигналы, связанные с антропогенной активностью. Пример сейсмической записи, содержащей различные типы подобных сигналов и их спектр мощности, приведен на рис. 3.

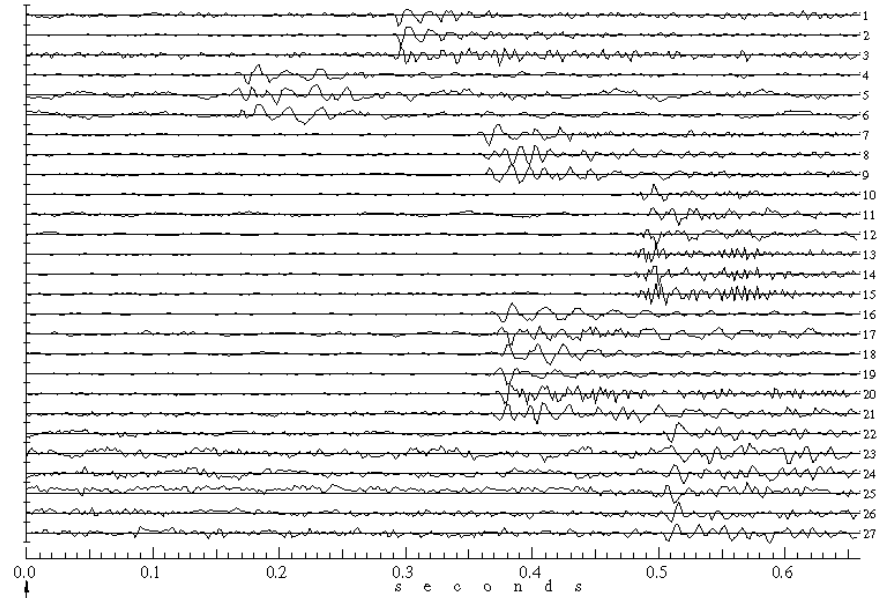
При выявлении полезного сигнала мы обращали внимание на сигналы, которые могли бы быть проявлением индуцированной сейсмичности. В районе горных выработок такие сейсмические сигналы могут порождаться горными ударами и подвижками по разломам и большим трещинам, которые до начала разработок могли быть неактивными. Механизм источников при горных ударах связан с процессом разрушения, сигналы более высокочастотны (10-5000 Гц) и обычно события происходят на глубинах, больших критической, что составляет для разных регионов от 300 до 600 м. Механизм генерации сигналов при подвижках по разломам и трещинам связан с процессом трения бортов и сигналы имеют меньшую частоту, нижняя граница может быть сдвинута до 0.5–1 Гц, при этом источники могут быть как глубинными, так и приповерхностными. Ожидаемая длительность сигнала в обоих случаях не более 0.5 секунды.

При визуальной предварительной обработке записей выбирались короткие сигналы с продолжительностью не более 0,5

сек, которые не имели периодической повторяемости, так как



Puc. 3



Puc. 4

короткие сигналы с повторяющимися годографами с гораздо большей степенью вероятности имеют техногенную природу как на рис. 2. Вырезались записи длительностью 15-20 секунд с сигналами, которые

могли быть связаны с индуцированной сейсмичностью. Они сформировали базу сейсмических данных, для которых была проведена локация источников событий.

Визуальный анализ записей событий и последующая локализация положения источников сигналов показывает, что выбранные события подразделяются на два типа. На рис. 4 приведен пример записи события типа I. Хорошо видны вступления на всех датчиках. Как легко заметить, разница времен самого раннего и самого позднего вступления составляет около 0.3 сек. При этом расстояние между этими точками регистрации около 100 м. Легко подсчитать, что кажущаяся скорость распространения сигнала составляет 330 м/сек, что равно скорости распространения звука в воздухе. То есть, сигналы этого типа имеют, видимо, поверхностный источник и распространяются по воздуху до точки регистрации.

На рис. 5 приведен пример спектра событий типа I. Легко заметить, что спектр

событий этого типа имеет очень интенсивную высокочастотную составляющую.

События типа II имеют более крутой годограф сигнала и более низкочастотный спектр. Пример записи событий второго типа и его спектр мощности приведен на рис. 6. Эти записи похожи на записи местных землетрясений. Видна слабая фаза первых вступлений, плохо различимая на фоне помех, ей последует четкая мощная фаза вторичных вступлений. Как можно предположить по виду записей, события второго типа связаны с глубинной сейсмичностью и наиболее мощная фаза вступлений представляет собой поперечные волны.

Несмотря на описанные трудности, нам удалось провести локацию сейсмических событий накопленной базы данных.

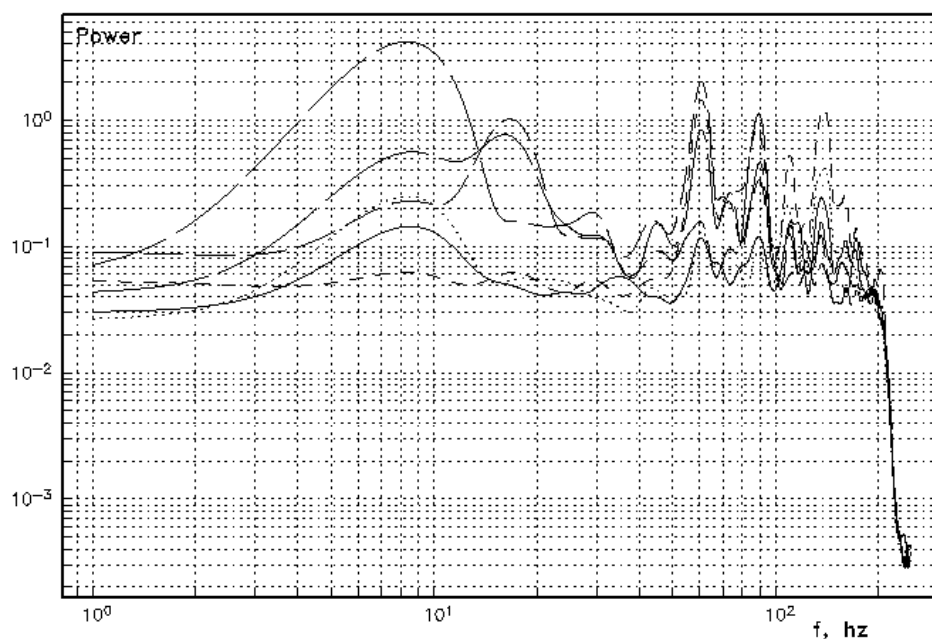
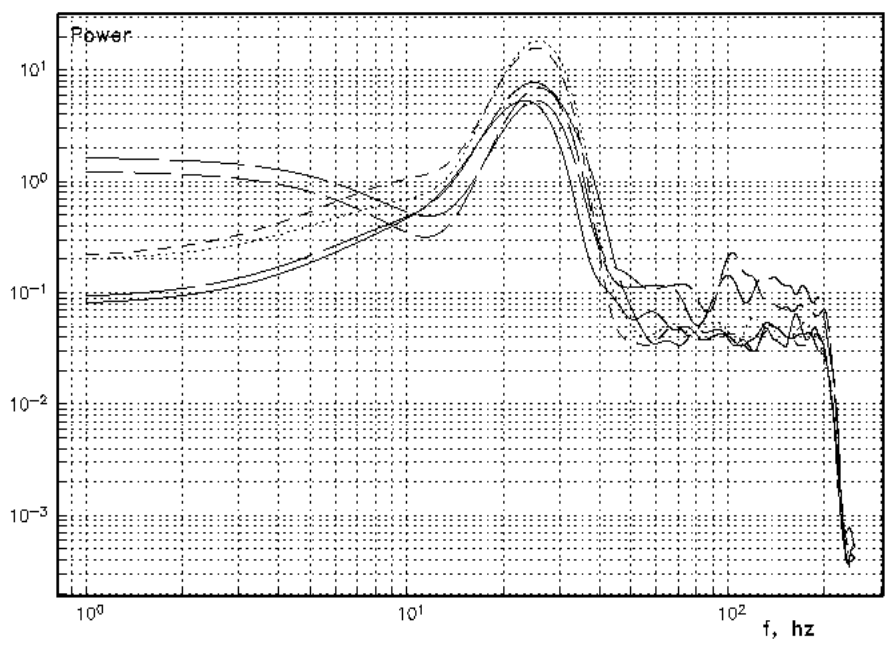
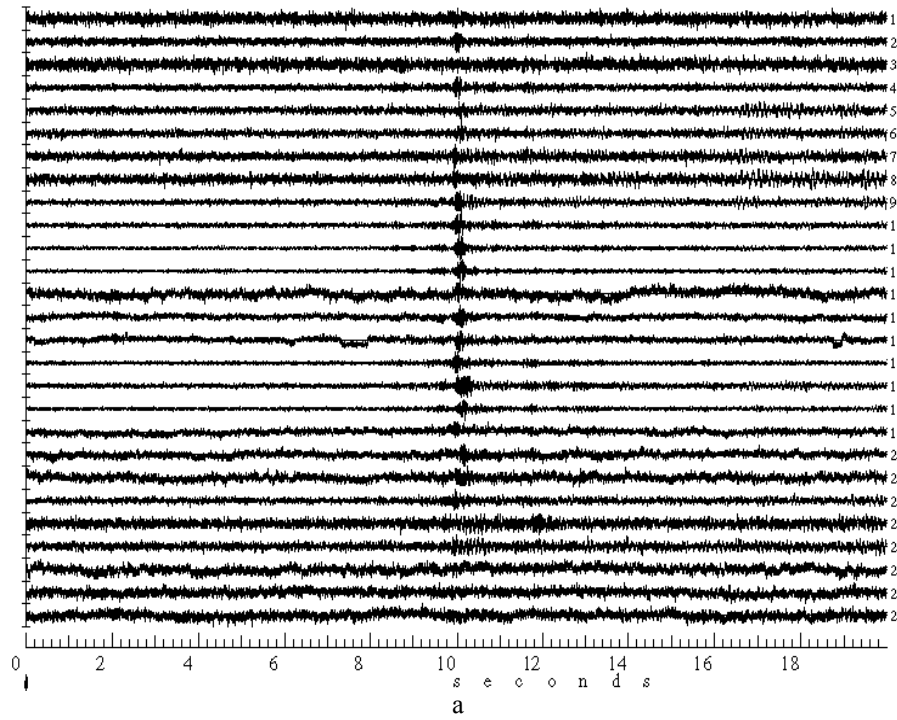


Рис. 5



6

Рис. 6

При этом мы использовали фиктивную модель сейсмических волн: $V = 0,330$ км/сек для глубин меньших 50 м и $V = 2$ км/сек для больших глубин. Такая модель позволяет провести локализацию поверхностных источников звукового сигнала, распространяющегося по воздуху до точки регистрации сейсмическим прибором, и определить гипоцентры глубинных источников по сигналу, распространяющемуся в виде поперечных волн. Работа с продольными волнами при таких размерах приемной группы невозможна, так как для больших по величине скоростей программы обработки переходят режим неустойчивости. При этом для событий с кру-

тым годографом снимались времена вступления сильной фазы, так как известно, что для местных землетрясений обычно наблюдается интенсивная четкая фаза S волны. При этом P волны обычно гораздо слабее по амплитуде и их вступления часто очень нечеткие.

Результаты локализации гипоцентров из базы сейсмических данных приведены в виде трехмерного изображения на рис. 7. Положение приемной группы на рисунке отображается треугольниками. Снежинки помечают положение гипоцентров источников сигнала типа I. Кружками помечены гипоцентры событий типа II.

Область миграции положений источников типа I сильно локализована в пространстве: все источники находятся на поверхности, одна из зон локализации размером 100 м X 600 м находится к юго-востоку от приемной группы, другая зона локализации размером 50 м X 300 м к югу от приемной группы.

Большинство источников типа II расположено под приемной группой на глубинах

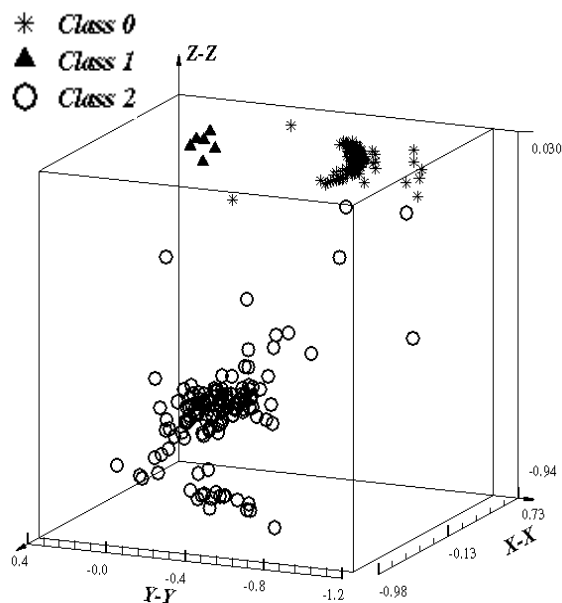
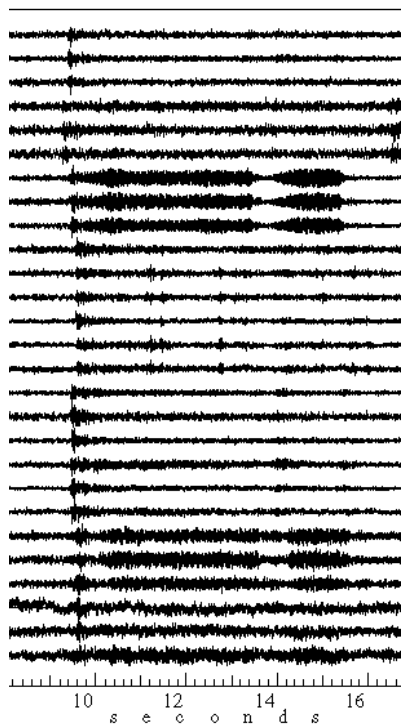


Рис. 7

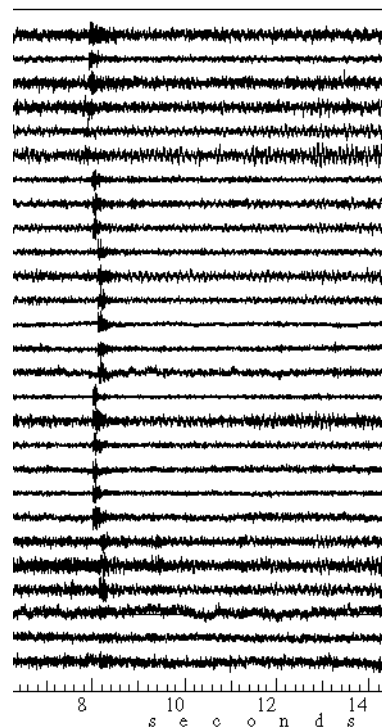
не превышающих 1000 м. Область распределения гипоцентров проявляет наличие наклона вниз в северо-западном направлении. Такая особенность геометрии области гипоцентров может быть связана с наличием разлома или геометрией самой шахтной выработки.

Область источников сигнала типа I, видимо, совпадает с областью генерации очень мощного техногенного сигнала такого типа, источником которого могут быть мощные электроагрегаты, так как годографы сигналов очень схожи, а иногда эти типы сигналов существуют одновременно. На рис. 8 видно вступление техногенного сигнала типа сигнала, который следует сразу за сигналом типа I. На рис. 9 приведен “чистый” сигнал типа I для сравнения. Схожесть годографов этих типов сигналов позволяет предположить, что оба сигнала распространяются с той же скоростью, то есть воздушным путем, со скоростью звука в воздухе.

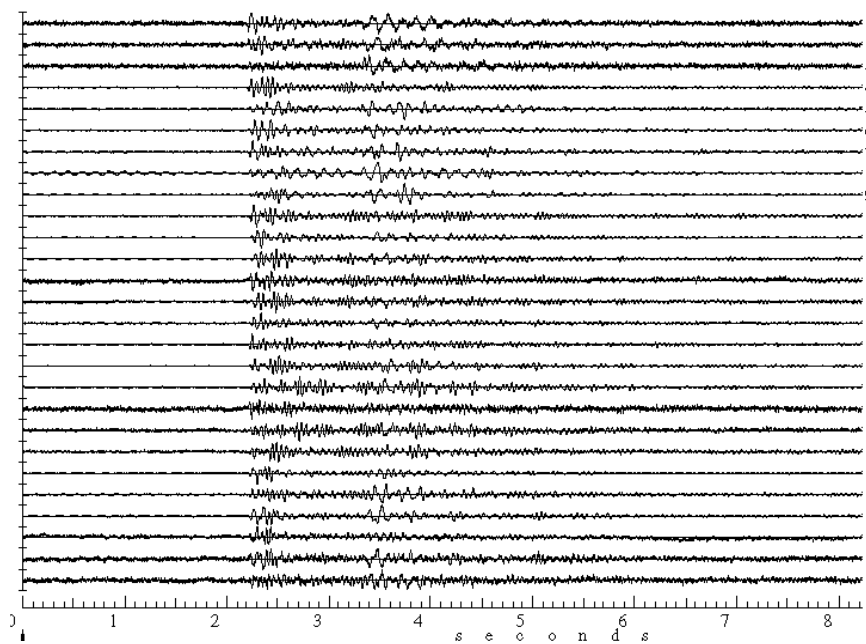
По поводу сигналов типа II необходимо отметить, что не все из зарегистрированных событий располагаются



Puc. 8



Puc. 9



Puc. 10

под регистрирующей группой, некоторые из зарегистрированных землетрясений относительно удаленные, как землетрясение, сигнал от которого представлен на рис. 10. Разница вступления Р и S волн равна 1,2 сек, что соответствует удаленности гипоцентра более 7 км. Линейный размер приемной группы не позволяет провести корректную локализацию столь удаленного события.

Выводы и рекомендации

Результаты локализации источников сигналов, зарегистрированных при сейсмологических наблюдениях в районе рудника Кумхо свидетельствуют о наличии глубинной сейсмичности, возможно индуцированной наличием горной выработки. Регистрирующая группа расположена над рудником, при этом глубинные события локализуются под группой. Облако гипоцентров опускается к большим глубинам в северо-западном направлении, что может быть связано с геометрией рудничной выработки или с наличием разлома с подобным простиранием.

Необходимо отметить, что проведенная локализация положения источников имеет большую погрешность. Главная причина – неудачный выбор линейного размера приемной группы для сейсмологических наблюдений (50×100 м).

При аналогичных наблюдениях желательно увеличить число точек регистрации. При работе с лоцирующей программой число зарегистрированных фаз должно быть не менее 4. Так как из-за малого размера сейсмической группы мы могли работать только с низкоскоростной S-фазой, необходимо было, чтобы сигнал зарегистрировали по крайней мере 4 датчика. Поэтому источники сигналов, которые на трех датчиках не регистрировались, невозможно было локализовать. Часто сигнал не регистрировался для точек 985F и 985A, что возможно, связано с условиями установки.

В месте регистрации наблюдается большая антропогенная активность, причем значительная часть помех распространяется со скоростью звука в воздухе, то есть по воздуху. В таких условиях необходимо обязательное заглубление сейсμοприемников. Это позволит существенно улучшить отношение сигнал/помеха и ликвидировать бесполезные “воздушные” вступления.

Проведение повторных наблюдений в исследованном районе с учетом сделанных рекомендаций позволит уточнить результаты, существенно повысить их точность и надежность.

Коротко об авторах

Рожков М.В., Чеботарёва И.Я. – ЗАО «Синапс»,
Звонкина А.А., Глазунов А.В., Лобанов В.В. – Московский государственный горный университет.

