

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА И ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрены метод и аппаратура для обнаружения ослабленных анкеров подземных выработок путем спектрального анализа отклика на ударное воздействие. Проведено компьютерное моделирование, получены закономерности изменения спектральных характеристик от степени контакта анкера с массивом. Для идентификации используется расстояние между центрами кластеров, образуемых в 7-мерном пространстве параметров, в качестве которых применяют среднеквадратические значения амплитуд спектральных составляющих в семи заданных полосах частот.

Method and equipment for detection of weakened anchors in underground mining excavations by spectral analysis of the response to impact influence are considered. Computer simulation is performed and dependences of changes in spectral characteristics on the degree of the anchor-and-rock contact are established. Distances between cluster centers in a 7-dimensional parameter space (mean square root values of spectral component ranges within seven bands of predetermined frequencies) are used for anchor identification.

Анкерная крепь применяется для крепления массива пород при строительстве таких подземных сооружений, как тоннели, подземные хранилища и др. Один из методов неразрушающего контроля анкерной крепи основан на анализе вибрационного акустического отклика на ударное воздействие на выступающую часть анкера [1-4]. При этом диагностика предусматривает размещение на выступающей части анкера пьезопреобразователя, подключенного к регистратору сигналов, ударное возбуждение анкера, запись в цифровом виде сигналов, воспринимаемых преобразователем, последующее перенесение файлов на компьютер и их обработку.

Создание технологии контроля анкерной крепи включает в себя: 1) компьютерное моделирование диагностики анкеров, получение на основе модельных экспериментов закономерностей для интерпретации результатов измерений; 2) разработку измерительной аппаратуры, подбор режимов регистрации; 3) разработку методики измерений на объектах; 4) создание программного обеспечения обработки результатов измере-

ний; 5) разработку способов интерпретации результатов с получением выводов о состоянии анкеров.

С целью правильной интерпретации сигналов, регистрируемых в процессе записи, в данной работе проведено компьютерное моделирование диагностики анкерной крепи. Для этого разработана модель, включающая области стального анкера и массива пород, имеющие жесткий контакт между собой на полной длине анкера или на его частях (рис.1). В модели задавались геометрические размеры указанных частей, а также упругие свойства (плотность, модуль упругости, коэффициент Пуассона) и характеристики затухания. Моделировался анкер в безграничном массиве пород. При этом размеры всей модели выбирались из условия отсутствия отражений от ее краев в течение времени расчета выходного сигнала, составившего 60 мс. Размер этого промежутка, в свою очередь, определяется длительностью сигнала, необходимой для последующего спектрального анализа. Последняя зависит от требуемой разрешающей способности по частоте. Так, например, при разрешающей

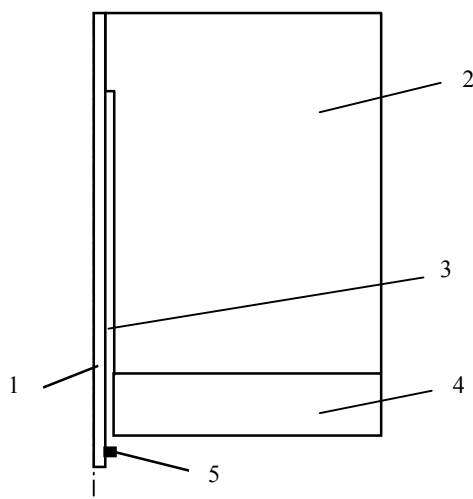


Рис. 1. Расчетная схема анкерного крепления, поддерживающего подпорную стенку и не имеющего контакта с массивом на части своей длины:

1 – анкер; 2 – массив пород; 3 – скважина, 4 – железобетонная стена; 5 – место размещения преобразователя

способности $\Delta F = 25$ Гц длительность сигнала, вырезаемого из всей выборки, составляет $1/\Delta F = 40$ мс. Длительность расчетного промежутка времени взята в 1,5 раза больше, чем длительность выборки для вычисления спектра, т.е. 60 мс. При скорости распространения упругих волн $V = 5000$ м/с половина расстояния, проходимого ими, составляет 150 м. Расчет распространения упругих волн в анкерной крепи, а также акустического вибрационного отклика основывался на втором законе Ньютона [5]

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} - \nabla(\bar{c} \nabla \bar{u}) = \bar{F},$$

где \bar{u} – вектор перемещений; \bar{F} – вектор внешних сил; \bar{c} – вектор коэффициентов, характеризующий свойства материала и определяемый на основе законов упругости.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений использовался метод конечных элементов. С помощью программы расчета получали значение сигнала во времени, выделяли участок колебательного процесса, по которому рассчитывали спектр. Установлено, что при увеличении части анкера, контактирующего с мас-

сивом пород, максимум спектра сигнала, регистрируемого преобразователем, сдвигается в сторону низких частот.

Для регистрации сигналов был разработан макет прибора. Прибор представляет собой двухканальный регистратор упругих волн, возникающих от ударного возбуждения анкеров. Он содержит два пьезопреобразователя, подключенных через усилительные каскады и преобразователь аналогового сигнала в цифровую форму к каналам регистрации. Для записи показаний используется флеш-диск. Прибор имеет также выходы для подключения к компьютеру через порт USB. Регистрация сигналов осуществляется в полосе от 10 Гц до 5 кГц. При измерениях один преобразователь размещается на анкере, а второй – на молотке. Прибор включается на запись и производится серия ударов по выступающему концу анкера. Затем преобразователи размещаются на следующем анкере и операция повторяется. После записи на всех анкерах прибор доставляется в лабораторию, где файлы переписываются на компьютер.

В процессе обработки зарегистрированных данных производится вычисление спектров каждого сигнала из серии, последующее усреднение и нормировка по максимальному значению. Затем производится разбивка всего частотного диапазона на полосы, в каждой из которых производится усреднение амплитуд спектральных составляющих. Таким образом, для каждой полосы спектра мы имеем одно число, а каждый анкер характеризуется набором чисел, количество которых равно выбранному числу частотных полос. После этого производится интерпретация полученных результатов.

Интерпретация результатов осуществляется одним из трех способов:

1. Если известны заведомо хорошие и дефектные анкера, то подбираются измеренные параметры, характеризующие анкера одной и другой групп. Анкера с параметрами, близкими к группе дефектных, бракуются.

2. При неизвестных образах плохих и хороших анкеров производится вычисление параметров, их характеризующих. Анкера с

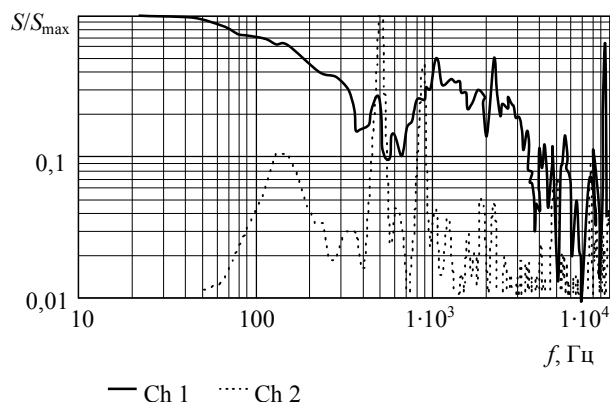


Рис.2. Нормированные спектры S/S_{\max} ударного возбуждения анкера (сплошная линия) и соответствующего ему отклика (пунктирная линия)

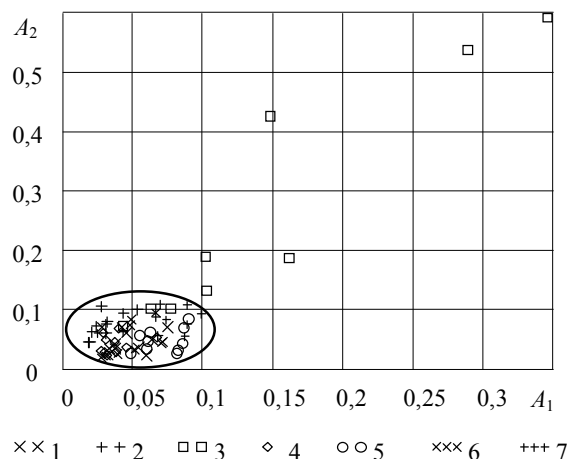


Рис.3. Диаграмма, иллюстрирующая качество штангового крепления по двум параметрам – средне-квадратическим значениям амплитуд нормированных по максимуму спектральных составляющих в первой (A_1) и во второй (A_2) полосах частот: 1-7 – номера контролируемых анкеров

большим разбросом параметров относительно средних бракуются.

3. Производится сравнение экспериментальных данных с модельными. Для каждого анкера из нескольких теоретических моделей выбирается та модель, к которой наиболее близки измеряемые параметры.

Испытание макета прибора производилось в монтажной камере Серебряноборского тоннеля (г.Москва), в соответствии с которой была составлена упомянутая выше компьютерная модель.

Рассмотрим спектры сигналов, зарегистрированных на анкере и на молотке (рис.2). Распознавание состояния анкеров можно осуществить по среднеквадратическим значениям амплитуд, рассчитанным для каких-либо двух полос. На диаграмме, представленной на рис.3, на плоскости с координатными осями, по которым откладываются значения амплитуд A_1 и A_2 в двух несовпадающих частотных полосах, изображены точки, соответствующие каждому сигналу для различных анкеров. Из анализа этих диаграмм следует, что для всех анкеров за исключением третьего характерна «кучность». Третий анкер демонстрирует особый «характер», выпадая из общей картины. Ес-

ли сделать предположение, что большинство анкеров заложены по всем правилам, то третий анкер можно классифицировать как дефектный. Это подтверждается также и тем, что максимум спектра в низкочастотной области этого анкера имеет значение около 130 Гц, что в соответствии с результатами компьютерного моделирования соответствует слабому сцеплению анкера с массивом пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский Е.А. Идентификация дефектных анкеров подземных выработок путем анализа акустического отклика // Сборник трудов XIX сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 2007. Т.1. С.365-369.
2. Вознесенский Е.А. Контроль штанговой крепи кровли подземных горных выработок / Тр. научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле». М.: Изд-во РГГУ, 2006. С.170.
3. Захаров В.Н. Диагностика анкерной крепи методами спектрального анализа / В.Н.Захаров, А.Б.Палкин, Е.А.Вознесенский // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 1.
4. Захаров В.Н. Диагностика штанговой крепи кровли выработок путем спектрального анализа акустического отклика / В.Н.Захаров, Е.А.Вознесенский // Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. М.: ГЕОС, 2006. Т.1. С.283-287.
5. Теория пластических деформаций металлов / Е.П.Унков, У.Джонсон, В.Л.Колмогоров и др. М.: Машиностроение, 1983. 598 с.

Научный руководитель проф. В.Л.Шкуратник