© П.А. Корчак, С.А. Жукова, 2014

УДК 622.831.232

П.А. Корчак, С.А. Жукова

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ ОАО «АПАТИТ»

Представлена усовершенствованная методика получения исходных данных для обеспечения геодинамической безопасности на подземных рудниках ОАО «Апатит». Рациональным решением в данной работе является создание программного обеспечения для расчета скоростных разрезов, что позволило оптимизировать и ускорить расчет параметров сейсмических волн.

Ключевые слова: контрольные взрывы, сейсмичность, мониторинг.

Введение

ОАО «Апатит» разрабатывает месторождения апатит-нефелиновых руд в Хибинских горах Мурманской области. В зону производственной деятельности входят два подземных рудника, два открытых карьера, фабрики по обогащению руд, а также хвостохранилища.

Важным фактором, влияющим на геодинамическую обстановку района, является длительное техногенное воздействие на породный массив. В результате добычи руд и наполнения хвостохранилищ значительно изменился рельеф поверхности. Это ведет к изменению взаимодействий геологических блоков за счет увеличения пригрузки одних блоков отвалами и хвостами и разгрузки других за счет выемки горной массы, что фиксируется автоматизированной системой контроля Центра геофизического мониторинга (ЦГМ) в виде роста сейсмичности на отдельных участках района производственной деятельности ОАО «Апатит».

При переходе на большие глубины резко ухудшаются условия эксплуатации месторождений, так, как увеличивается горное давление и изменяются физико-механические свойства горных пород. По этой причине возникают серьезные технологические и технико-экономические трудности при обеспечении устойчивости выработок в период их проходки и очистной выемки.

В результате отработки горизонтов происходит подработка пород висячего бока, которая вызывает образование зон растяжения в одной части массива и увеличение напряжений сжатия в другой части. При обрушении консоли происходит стабилизация напряжений в зоне влияния горных работ. Такие разнонаправленные воздействия на массив вызывают его растрескивание и разупрочнение.

Горные работы создают в массиве новые системы трещин и пустоты, которые в свою очередь приводят к перераспределению естественных напряжений путем образования новых дефектов. Разрушаются слабые породы, заполняющие тектонические нарушения. Нарушается равновесие блоковой структуры массива.

Со временем образуется больше трещин и магистральных разрывов. Массив постепенно переходит на все более высокие иерархические уровни процесса разрушения за счет слияния зон разупрочнения, вызванных технологическими и тектоническими воздействиями на массив, вероятность мощных геодинамических явлений растет.

Контроль за сейсмичностью на рудниках ОАО «Апатит» ведут специалисты ЦГМ. Мониторинг сейсмичности на подземных рудниках осуществляется с помощью автоматизированной системы контроля состояния массива (АСКСМ), способной регистрировать геодинамические явления с энергией $>10^2$ Дж, и погрешностью определения гипоцентра в зоне повышенной точности не ниже 25 м.

За время наблюдения за сейсмичностью в массиве были выявлены такие закономерности как:

• реакция массива на массовые взрывы;

• сезонный рост сейсмичности в периоды таяния снега;

• рост сейсмичности Центрального рудника в периоды затяжных дождей;

• рост сейсмичности перед обрушением консоли налегающих пород;

• взаимосвязь сейсмичности на разных структурных блоках.

Технологические процессы при ведении горных работ оказывают существенное влияние на сейсмический режим рудников.

К настоящему времени на рудниках ОАО «Апатит» документально зарегистрировано около 40 горных ударов, а в последние пять лет в районе ведения крупномасштабных горных работ фиксируются сейсмические события (*с/с*) с энергией до 10^{12} Дж.

В сложных условиях отработки месторождений для обеспечения безопасности работ, а также выполнения принятых технологических решений с предсказуемой реакцией массива на эти воздействия необходим контроль геодинамических явлений.

В настоящее время и в обозримом будущем единственным оперативным, наиболее точным и информативным будет сейсмический метод контроля состояния массива для оценки эффективности принимаемых технологических воздействий на массив.

Метод исследования

Сейсмическая сеть ЦГМ в настоящий момент состоит из двух подсистем: сейсмическая подсистема АСКСМ-Р Расвумчоррского рудника и сейсмическая подсистема АСКСМ-ОКр Объединенного Кировского рудника.

С развитием горных работ возникает необходимость контролировать новые участки. Решить данную задачу возможно расширением зоны контроля исключительно за счет оборудования дополнительных сейсмопавильонов (или сейсмопунктов *с/п*) и их рационального размещения.

При выборе местоположения и количества новых *с/п* необходимо учитывать следующие моменты:

1. Требования рудников контролировать конкретные участки ведения горных работ

2. Методические:

• максимальное расстояние, на котором фиксируется *с/с* с минимальной заданной энергией;

• максимальная допустимая погрешность определения гипоцентра *с/с*;

• конфигурация сети наблюдения.

3. Возможность реализовать выбранную конфигурацию *с/п* в подземных выработках;

4. Возможности АСКСМ обеспечить проектную точность определения параметров *с/с* при измененной конфигурации *с/п*.

При определении природы очага сейсмического события и идентификации, ключевое значение имеет точность определения гипоцентра события. Расчет координат гипоцентров сейсмических событий производится на основе заранее измеренных скоростей прохождения сейсмических волн в массиве горных пород.

Для измерения скоростей сейсмических волн производятся контрольные взрывы у каждого сейсмопавильона (в соответствии с существующей методикой) с передачей на поверх-

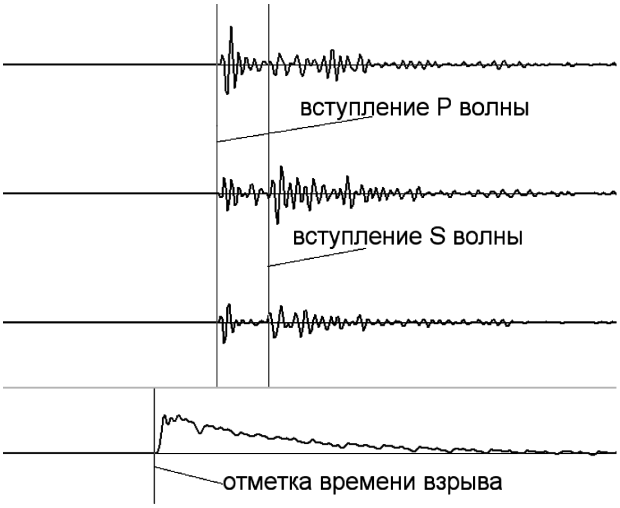

Рис. 1. Пример сейсмограммы контрольного взрыва с отмеченными вступлениями сейсмических волн

ность отметки момента взрыва. Для передачи момента взрыва используется петля провода введенная в заряд ВВ и подключенная к входу телеметрического бокса. В момент взрыва петля обрывается, что создает на входе бокса электрический импульс амплитудой 1 мВ. Импульс передается на поверхность вместе с записью взрыва (рис. 1).

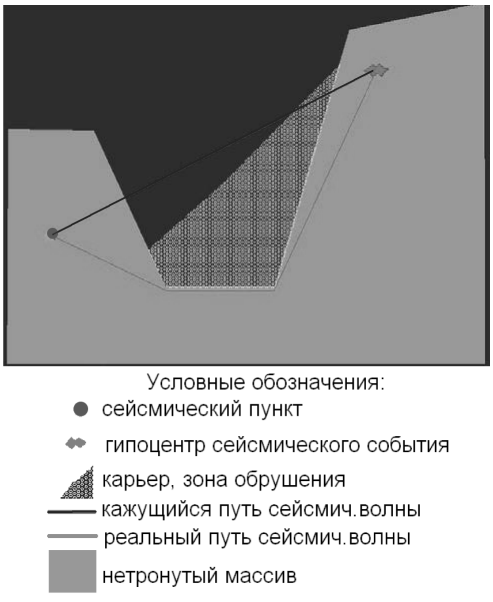

Рис. 2. Схема прохождения сейсмической волны в массиве горных работ

При вводе новых сейсмопавильонов создается модель нового скоростного разреза созданной сети для этого необходимо производить контрольные взрывы возле каждого павильона рудника. Скоростной разрез – «кажущиеся» скорости распространения сейсмических волн из некоторых точек пространства (заданных на регулярной сетке) до пунктов регистрации. Причем, для каждого типа волн и пунктов регистрации эти скорости различны.

1. Изменение скоростей распространения сейсмических волн происходит:

• при увеличении или уменьшении напряжений на отдельных участках массива, связанных с отработкой рудного тела (зависание консоли или ее обрушение, перемещение зоны опорного давления вслед за отработкой и т.п.);

• разуплотнение участков массива под влиянием очистных работ приводит к снижению скорости прохож-

дения волн на отдельных участках в массиве;

• обводнение массива в период паводков и промерзание в зимний период приводит к изменению скоростей волн на отдельных участках;

2. Изменение пути прохождения сейсмических волн происходит в процессе развития очистных работ происходит выемка горной массы на пути первоначально замеренных путей распространения сейсмических волн (рис. 2), что приводит к изменению их пути распространения.

Методика

При расчете скоростей сейсмических волн используется алгоритм интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний.

В основе метода лежит предположение о том, что чем меньше расстояние между объектами, тем большее сходства существует между ними, а по мере удаления объектов друг от друга их связь ослабевает. Метод не позволяет выявить структуру варьирования признака, но может служить для точной интерполяции. Значение скорости в искомой точке будет близко к значениям скоростей в близлежащих опорных точках, и менее сходно со значениями скорости в удаленных опорных точках.

Искомая скорость S_i в точке i находится по формуле:

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} p_{ij} S_j \qquad (1)$$

где n – число окружающих сейсмопавильонов; S_j – скорость в пункте j; p_{ij} – вес, присвоенный пункту j.

Веса p_{ij} обратно пропорциональны расстоянию между оцениваемым и опорными пунктами в степени k, таким образом, что

$$p_{ij} = \frac{(r_{ij})^{-k}}{\sum_i (r_{ij})^{-k}} \qquad (2)$$

где k – определяет степень закона взвешивания через обратные расстояния.

В каждом из этих пунктов оцениваемое свойство взвешивается с учетом обратных расстояний от оцениваемой станции. Взвешенные свойства затем суммируются и делятся на сумму весов [1].

При этом следует обратить внимание, что предлагаемый алгоритм позволяет при создании скоростного разреза заложить несколько контрольных лучей сейсмически волн с сохраненными характеристиками. Это позволит в любой момент времени сверять получаемые данные с первоначальными и в случае их изменения своевременно откорректировать скоростной разрез, не теряя параметры событий в отличие от существующей методики.

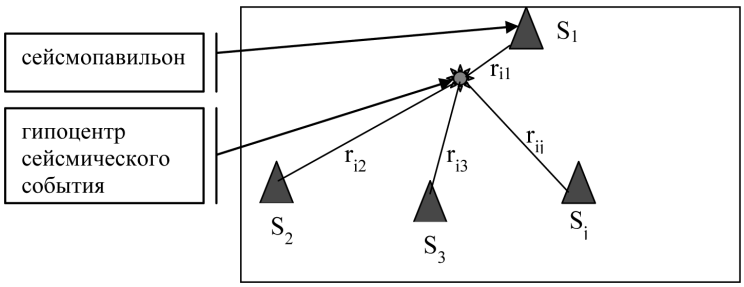

Рис. 3. Конфигурация оцениваемого гипоцентра и окружающих павильонов

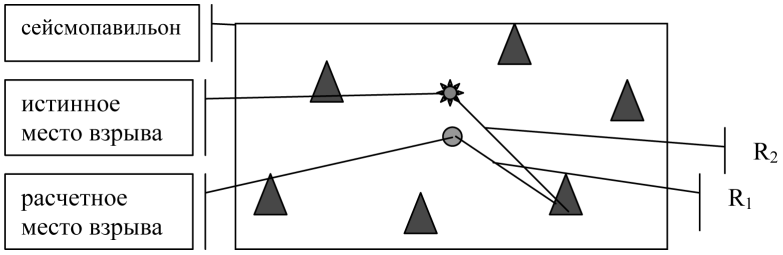

Рис. 4. Схема расположения сейсмопунктов с рассчитанным и истинным гипоцентром события

При расчете зависимости скоростного разреза для каждого сейсмопавильона, как отмечалось выше, использовались данные, полученные от специально проведенных контрольных взрывов. Однако, как показывает многолетняя практика использование такого метода не рационально. Во-первых, данный метод требует значительных экономических затрат, а во-вторых, при построении скоростной модели остаются «белые» пятна, в которых погрешность определения гипоцентра сейсмического события остается большой, т.е. не подходящей для проведения прогноза региональной удароопасности по результатам непрерывного контроля сейсмичности («Руководство по региональному прогнозу удароопасности в условиях…»).

Для уточнения скоростных разрезов в процессе производства горных работ при минимальном использовании контрольных взрывов предлагается использовать данные, которые можно получить от технологических запланированных при ведении горных работ взрывов. Т.е., первоначально имеем (рис. 4):

- координаты сейсмопавильонов;
- координаты места проведения технологических взрывов;
- координаты гипоцентра сейсмического события (зарегистрированного от взрыва) по расчетам программы обработки сейсмической информации.

Ошибка в определении гипоцентра возникает в том случае, если неточно рассчитаны скорости прохождения продольных и поперечных волн через массив. К примеру, возьмем один сейсмопавильон и траектории прихода волн от рассчитанного и истинного гипоцентров сейсмического события. Время прохождения волн по этим траекториям одинаково. Необходимо вычислить истинную скорость распространения волн: отсюда получим:

Идея заключается в замещении кажущейся скорости в разрезе точной скоростью, уточненной по имеющимся значениям фактического и кажущегося расстояния в текущем нескорректированного скоростного разреза пункта по рассчитанным подсистемой обработки информации (ПОИ) координатам технологического взрыва. Данное действие применяется для каждого технологического взрыва и наносится на прямоугольную сетку скоростного разреза сейсмопункта.

Применяется метод интерполяции по обратным взвешенным расстояниям. Пересчет производится итерационно для каждого сейсмопункта, что приводит к корректировке координат гипоцентра сейсмического события. Для автоматизации этого процесса написана специальная программа расчета скоростной модели для АСК СМ.

Таким образом, разработка новой методики заключается в том, чтобы создать условия для получения воз-

можности определения с максимальной точностью координат гипоцентра сейсмических событий, а также – обеспечения возможности постоянного контроля за точностью производимых измерений и оперативной корректировки их в случае возникновения изменений, происходящих в массиве. Эти данные используются для сокращения размеров зон повышенной удароопасности за счет точности определения гипоцентра событий, для выделения геологических неоднородностей, а также для эффективности предпроектной подготовки развития горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Watson D.F., Philip G.M.* A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geo-Processing 2, 1985. – P. 315–327. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Корчак Павел Анатольевич – начальник отдела геодинамической безопасности,
e-mail: pkorchak@phosagro.ru,
Жукова Светлана Александровна,
ОАО «Апатит».

UDC 622.831.232

METHOD OF RECEIVING BASIC DATA FOR THE SEISMIC MONITORING AT UNDERGROUND MINES OF JSC «APATIT»

Korchak P.A., Head of Geodynamic Safety Department, e-mail: pkorchak@phosagro.ru,
Zhukova S.A.,
JSC «APATIT».

The article under consideration presents improved methods of basic data receipt to ensure geodynamic security in underground mines of Joint Stock Company «Apatit». Software design is the efficient solution for evaluation of speedy reserves. This method made it possible to optimize and fast-track the calculation of seismic waves parameters.

Key words: check explotion, seysmity, monitoring.

REFERENCES

1. Watson D.F., Philip G.M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geo-Processing 2, 1985, pp. 315–327.