

УДК 622.831

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ПРИРОДЫ

Бабенко Е. В.

(УкрНИИМИ, г. Донецк, Украина)

Нові методи для визначення та відновлення координат сейсмічних подій техногенної було розглянуто для вирішення проблеми підвищення безпеки гірничих робіт при відпрацюванні високонавантажених лав на великій глибині.

New methods to identify and reconstruction the coordinates of technogenic seismic events were considered to solve the problem of improving mine safety in the working out of heavily lavas at great depth.

В условиях рыночной экономики к рентабельности горнодобывающих предприятий предъявляются особые требования, поскольку это обеспечивает экономическую устойчивость отрасли в целом. Одним из путей повышения рентабельности подземной разработки месторождений полезных ископаемых является увеличение темпов подвигания очистных забоев, так как это обеспечивает существенное снижение себестоимости продукции, учитывая высокую капиталоемкость подземной разработки. Практика показывает, что при сложившихся рыночных ценах на каменные угли устойчивая рентабельность шахты обеспечивается при скорости подвигания лав на уровне 90-120 м/мес. Высокорентабельные шахты достигли темпов подвигания длинных очистных забоев порядка 190-210 м/мес. Совместное влияние большой глубины разработки и высоких темпов отработки запасов существенно меняет геомеханику сдвижений массива горных

пород. В указанных условиях начинает превалировать динамическая компонента сдвижений даже в условиях легкообрушаемой кровли. Так, отработка лав со скоростью более 100 м/мес., сопровождается горными ударами, в результате которых разрушается рамная крепь выемочных выработок впереди лавы, происходит посадка "нажестко" очистных механизированных крепей, возникают обрушения непосредственной кровли и другие опасные последствия динамических сдвижений массива горных пород. [1-5].

В связи с указанными особенностями динамических проявлений горного давления во многих странах с развитыми горнодобывающими промышленностями создают системы прогнозирования силы и места динамических проявлений горного давления. Аппаратно эти системы основаны на известных комплексах звукоуправляющей аппаратуры. Одной из важнейших составляющих при решении указанной проблемы является задача определения фактических координат техногенных сейсмических событий [6]. Для этого устанавливают набор сейсмоакустических датчиков (геофонов) вокруг изучаемой области и осуществляют непрерывную запись сигналов на каждый датчик. Для большей надежности определения координат источников акустических импульсов устанавливают по несколько сейсмоакустических датчиков на вентиляционном и откаточном штреках, и, по возможности, над и/или под разрабатываемым пластом в скважинах или смежных выработках. Достоверность определения координат выше внутри области, окруженной геофонами и тем больше, чем больше число геофонов и однороднее толща.

В первых системах определение координат источников акустических импульсов осуществлялось разностно-дальномерным методом, который получил широкое распространение в задачах местоопределения и навигации [7]. Для этого измеряли относительное запаздывание τ прихода сигнала в пространственно разнесенных точках, что позволяет вычислить разницу расстояний ΔR . Координаты источника определяются как точка пересечения двух и более линий положения. На этих линиях разность расстояний от источника до пары приемников постоянна. Рис. 1 демонстрирует пример линии положения для случая расположения приемников A , B и источника M в одной плоскости. Линия положе-

ния представляет собой гиперболу, проходящую через источник M , причем точки A и B являются фокусами этой гиперболы.

Координаты X_M, Y_M источника получают из решения системы уравнений двух и более гипербол, уравнения которых имеют вид:

$$\Delta R = R_1 - R_2 = \sqrt{((X + d/2)^2 + y^2)} - \sqrt{((X - d/2)^2 + y^2)}, \quad (1)$$

где d – база разностно-дальномерной системы (расстояние между парой приемников).

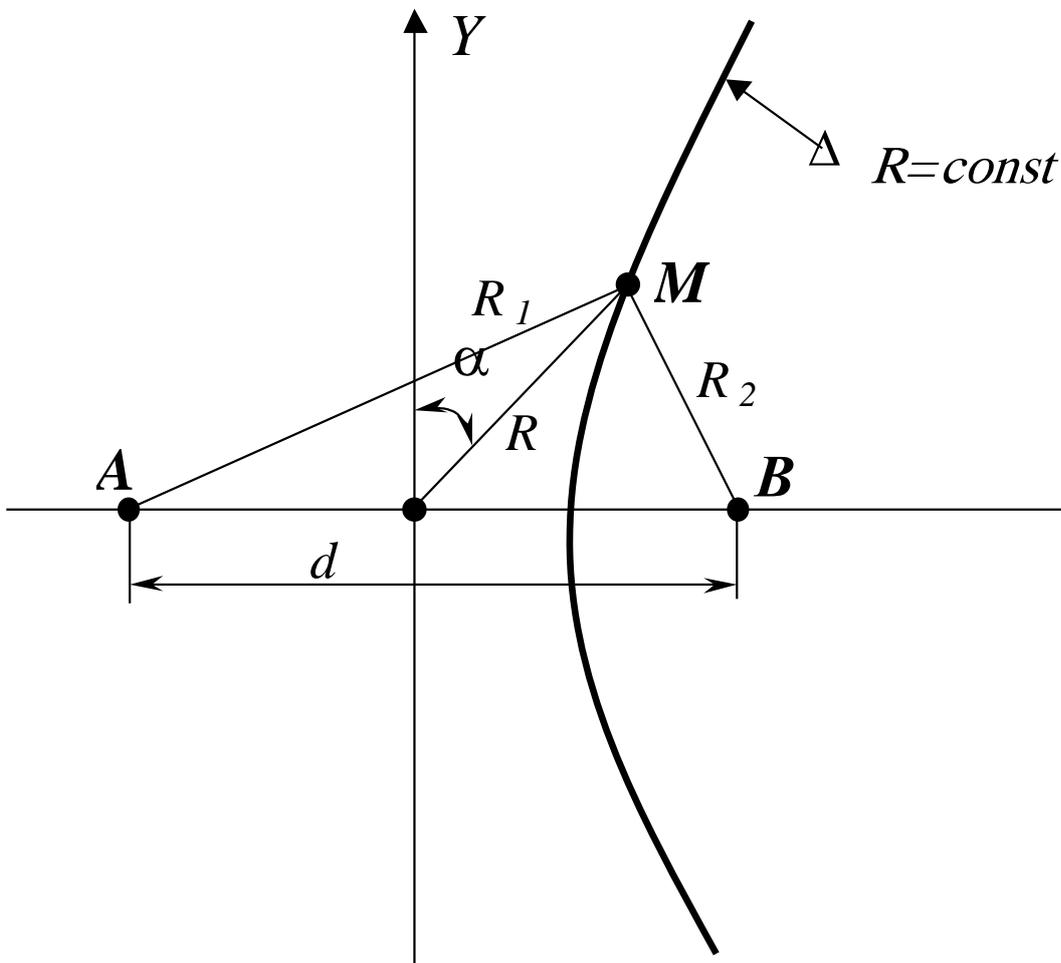


Рис. 1. Пример линии положения при расположении приемников и источника в одной плоскости

При решении двумерной задачи координаты источника определяют по разностно-дальномерной системе с помощью трех приемников. Для вычисления координат источника в простран-

стве необходимо более трех приемников. Точность установления координат сейсмического события зависит от ошибки определения относительного запаздывания τ , в качестве которой используют среднеквадратическую величину погрешности σ_τ , и геометрического фактора - расположения геофонов относительно источника, который обуславливает зависимость величины отклонения рассчитанной линии положения (гиперболы) от истинной.

Ошибка σ_R гиперболической линии положения будет различной при одном и том же значении погрешности измерения относительного запаздывания σ_τ , в зависимости от взаимного расположения источника и геофонов [7]. Под ошибкой линии положения понимается отклонение рассчитанной линии положения от истинной в точке нахождения источника:

$$\sigma_R = R \cdot \sigma_\tau / (d \cdot \cos \alpha) = \Gamma \cdot \sigma_\tau \quad (2)$$

Минимум геометрического фактора, как видно из формулы, равен:

$$\Gamma = R/d, \quad (3)$$

и соответствует случаю равноудаленности от приемников расположения источника, то есть при $\alpha = 0$. Следовательно, оптимальным можно считать расположение геофонов вокруг исследуемого участка горного массива.

Разница расстояний ΔR от источника до пары геофонов рассчитывается по измеренной относительной задержке τ прихода акустического сигнала в точки расположения геофонов (A и B на рис. 1). Эта разница определяется, исходя из предположения об акустической изотропности массива, то есть когда распространение сейсмических волн во всех направлениях одинаково по скорости и прямолинейно:

$$\Delta R = v \times \tau, \quad (4)$$

где v – скорость акустической волны в массиве.

К сожалению, в реальном массиве горных пород неоднородного строения, обладающего анизотропными свойствами, разница скоростей и непрямолинейность распространения акустических волн, их переотражения, наличие в качестве помех

других источников звука, вносят дополнительную погрешность измерения величин τ , среднеквадратическое значение σ_τ которой определяет, в конечном итоге, точность измерения координат сейсмических событий. Практика показывает, что в результате погрешности, вносимой анизотропией среды и криволинейностью сейсмических лучей, возникают смещения на десятки, а иногда на сотни метров мнимых позиций источников сейсмических колебаний [3, 4].

В классической теории оптимального приема [8] величина задержки сигнала $S(t)$ определяется использованием корреляционной обработки. Оценкой τ , в этом случае, является положение максимума корреляционного интеграла $V(\tau)$ на оси задержки τ :

$$V(\tau) = \int_0^T S(t) \times S(t - \tau) dt, \quad (5)$$

где T – интервал времени существования сигнала $S(t)$ акустического импульса с учетом максимально возможной задержки для базы d .

Данная теория хорошо работает при определении координат сейсмических событий в воздухе или в жидкой среде. Однако форма сигналов, поступивших на разные сейсмоакустические датчики от одного и того же источника техногенной природы (например, от горного удара или выброса породы, угля и газа) существенно различна и нахождение корреляционной функции практически невозможно. Именно поэтому измерение времени прихода акустического сигнала из анизотропного массива горных пород на геофон осуществляется по амплитуде первой полуволны. Этот метод широко применяется, хотя имеет недостатки в виду неодинаковости мощности акустического сигнала на входах разнесенных геофонов и маскирования помехами.

В связи с указанными особенностями строения реального горного массива последнее время испытываются различные модификации и усовершенствования методов определения местоположения сейсмических событий техногенной природы. На сегодняшний день достаточно популярен двойной разностный метод определения относительного взаиморасположения источников сейсмических событий [9, 10]. Метод двойной разности

(МДР) оснований на протилежному підході до того, який описувався вище. Замість одного сигналу, приймаемого декількома датчиками МДР використовує сигнали від пари сейсмічних подій, які зареєстровані однією і тією ж сейсмічною станцією. В результаті визначають відносне взаєморозташування Res джерел i, j сейсмічних сигналів за формулою:

$$\text{Res} = (t^i - t^j)^{\text{obs}} - (t^i - t^j)^{\text{pred}}, \quad (6)$$

де $(t^i - t^j)^{\text{obs}}$ – виміряна в натуральних умовах різниця часу приходу сейсмічних коливань від джерел i, j ; $(t^i - t^j)^{\text{pred}}$ – передбачена різниця.

Ідея МДР базується на тому, що сейсмічні сигнали t^i і t^j від близько розташованих джерел йдуть до датчика практично одним і тим же шляхом, а різниця часу приходу сигналів визначається тільки їх взаємним розташуванням і не залежить від швидкості поширення. Це припущення достатньо добре підтверджується на практиці і дає можливість уникнути викривлення сейсмічних променів в анізотропних масивах.

Переваги методу полягають в усуненні проблеми викривлення сейсмічних променів. Має значення лише взаєморозташування джерел сейсмічних сигналів відносно один одного. Існує невелика ймовірність того, що в певних ситуаціях, промені від близько розташованих джерел розділяються і сейсмічні коливання йдуть до датчика абсолютно різними шляхами. Так відбувається, наприклад, в тому випадку, коли джерела сейсмічних сигналів розділені контактом порідних шарів і від одного джерела промінь йде прямо до датчика, а від сусіднього джерела окольным шляхом через відбиття і заломлення.

Щоб уникнути небезпеки виникнення таких ситуацій застосовують спеціально продуманне взаєморозташування приймачів сейсмічних станцій, що ускладнює сам метод. Однак його переваги переважають над недоліками, і в останнє час МДР дозволив отримати хороші результати при встановленні координат сейсмічних техногенних подій, що відбуваються в околицях активних гірських робіт.

Еще один перспективный метод определения координат сейсмических событий основан на симплекс методе, с помощью которого минимизируют ошибки или невязки при определении координат событий [11]. Указанный метод заслуживает внимания с точки зрения его применения для мониторинга массива горных работ в процессе отработки угольных длинных очистных забоев.

Весьма многообещающий метод мониторинга сейсмических событий техногенной природы с помощью трехкомпонентных датчиков ускорения грунта [12]. Такие датчики позволяют выделять вертикальную и две горизонтальные составляющих колебаний, что существенно расширяет информацию и сейсмическом источнике и дает возможность более детально анализа сейсмограмм.

Дальнейшими исследованиями предусматривается испытание новых методов определения и восстановления координат сейсмических событий техногенной природы для решения проблемы повышения безопасности горных работ при отработке высоконагруженных лав на большой глубине.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, пород и газа. – М: Минуглепром СССР, 1989. – 192 с.
2. Bialek J., Banka P., Jaworski A. Method for description of seismicity basing on changes of rockmass deformation induced by mining // Proc. ISM 12th Int. Congress. – Fuxin, 2004. – Pp. 470 – 475.
3. Chavan A.S., Raju N.M. Prediction of area instability from mining induced seismicity // Rock mechanics Proceedings of the 35th U.S. Symposium.-Rotterdam: A.A.Balkema Publisher, 1995. – Pp.533 – 538.
4. Dubinski J., Lurka A., Stec K. Influence of the mining tremor source radiation directivity on the distribution of the seismic interactions with surface // 20th world mining Congress. – Tehran, 2005. – Pp. 889 – 894.

5. Назимко К.В. Модель сейсмічних проявів зрушень земної поверхні над очисним вибоєм, що рухається // Сборник научных трудов XV Международной научной школы «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках» – Симферополь: ТНУ, 2005. – С. 23 – 27.
6. Совершенствование микросейсмического анализа газодинамических явлений / Звягильский Е.Л., Ильюшенко В.Г., Бокый Б.В. и др. // Проблеми гірського тиску. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – № 7. – С. 5 – 16.
7. Сайбель А.Г. Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения. – М.: Оборонгиз, 1958. – 456 с.
8. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Советское радио, 1971. – 420 с.
9. Waldhouser F., Elsworth W. A double-difference earthquake location algorithm. – Bull. Seismol. Soc. Am. 90, 2000. – Pp. 1353 – 1368.
10. Pankow K., McCarter M., Aarabasz W., Burlacu R. Coal-mining-induced seismicity in Utah – improving spatial resolution using double-difference relocations // Proceedings 27th Int Conf on Ground Control in Mining. – USA, Morgantown, WVU, 2008. – Pp. 91 – 97.
11. Reifenberg J. A simplex-based algorithm for source location of microseismic events associated with underground mining // Proc. Int. Conf. Rock mechanics as a guide for efficient utilization of natural resources. – Rotterdam: Balkema, 1989. – Pp. 655 – 662.
12. Swanson P., Stewart C. Monitoring coal mine seismicity // Proceedings 27th Int Conf on Ground Control in Mining. – USA, Morgantown, WVU, 2008. – Pp. 79 – 86.