Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIX, вып. 1, 1969 г.

УЧЕТ РЕФРАКЦИИ ПРИ ЗВУКОЛОКАЦИОННЫХ СЪЕМКАХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А. А. Гурич

При наличии градиента скорости распространения звука в среде локации траектория звуковых лучей отклоняется от прямых, перпендикулярных поверхности фронта звуковой волны. Рефракционное отклонение лучей происходит в направлении района среды с меньшей скоростью распространения звука. Очевидно, что искривление звуковых лучей ведет к смещению пятна звуколокационного облучения на отражающей поверхности объекта локации. Это смещение определяет ошибку звуколокационного измерения, а в отдельных случаях может привести к образованию зоны акустической тени, в которой звуколокационные измерения практически невозможны.

Если градиент скорости звука постоянен, кривизна траектории звукового луча будет также постоянна и выразится известной формулой

$$\left(\frac{d\theta}{dS}\right) = -\frac{G_c \cos\theta_0}{C_0}. \qquad (1)$$

Из (1) следует, что звуковой луч представляет собою дугу окружности с радиусом

$$r = \left|\frac{C_0}{G_c \cos\theta_0}\right|, \qquad (2)$$

где C_0 — скорость распространения звука в точке расположения излучателя-приемника, *м/сек;* G_c — градиент скорости

звука, 1/*сек*; θ_0 — угол между направлением излучения звука и плоскостью, перпендикулярной градиенту скорости звука.

Для построения траектории луча нужно отыскать место расположения центра его кривизны (рис. 1). Центр кривизны

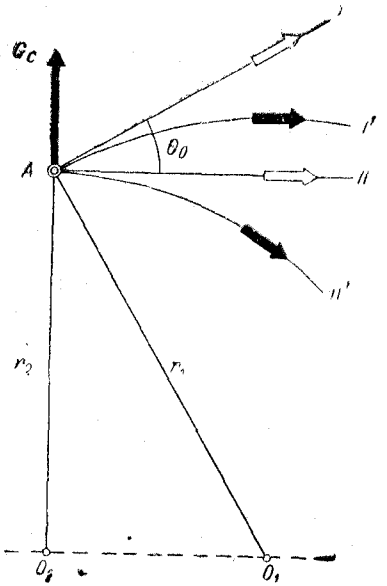


Рис. 1. Построение траектории звукового луча при G_c = const

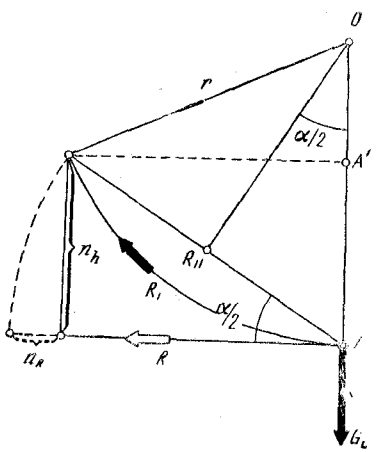


Рис. 2. Схема вычисления поправок за рефракцию при G_c = const

расположен на прямой, перпендикулярной направлению излучения, с размещением излучателя в точке A. Если за направление излучения принять 1, то центр кривизны O_1 отстоит от преобразователя на величину

$$r_1 = \frac{C_0}{G_c \cos\theta_0}$$

и определяет дугу окружности I'. При излучении звука в направлении, перпендикулярном вектору градиента скорости звука II, центр кривизны O_2 отстоит от преобразователя на величину

$$r_2 = \frac{C_0}{G_c}$$

и определяет дугу окружности II'. Линия O_1O_2 является геометрическим местом точек с нулевой скоростью распространения звука при соблюдении условия $G_c = \text{const}$ в пределах среды локации.

При звуколокационном измерении в горной выработке (рис. 2) $n_R = (R_I - R)$ является поправкой в измеряемое расстояние, n_h — поправкой в высотную отметку уровня съемки, т. е. в высотную отметку точки A.

Сопоставим между собою отрезок $R_{II} = 2r \sin \frac{\alpha}{2}$ и дугу $R_I = r\alpha \frac{1}{\rho^\circ}$. R_I и R_{II} как дуга и хорда величины близкие и при малых значениях центрального угла α могут быть с определенным приближением приравнены друг к другу. Учитывая, что допустимая ошибка измерения расстояния звуколокатором находится в пределах $\pm 2\% R$, равенство величин R_I и R_{II} должно удовлетворяться с ошибкой, не превышающей десятых долей процента R. Это достигается при $\alpha \leqslant 20°$. Таким образом, можно считать справедливым равенство

$$R_I = R_{II} \quad \left(\text{при} \quad R_I \frac{G_c}{C_0} \rho'' \leqslant 20^\circ\right) \tag{3}$$

с учетом (2) и (3)

$$n_h = R_I^2 \frac{G_c}{2C_0} \tag{4}$$

и

$$n_R = R_I \left(1 - \frac{\sqrt{(2C_0 + R_I G_c)(2C_0 - R_I G_c)}}{2C_0}\right). \tag{5}$$

При произвольном распределении скорости звука в среде локации учет рефракционных искривлений звукового луча значительно осложняется. В этом случае функция распределения скорости звука апроксимируется ломаной линией. Подобное приближение предполагает замену фактической среды локации слоистой средой с $G_c = \text{const}$ в каждом отдельном слое. Траектория звукового луча, пересекающего слоистую среду, может быть представлена сопряжением дуг окружностей, определенных независимо для каждого слоя. * Вычисление поправок n_R

* Тюрин А. М., Сташкевич Л. П., Таранов Э. С. Основы гидроакустики. Судостроение, 1966.

и n_h трудоемко и осуществляется с применением специальных счетнорешающих устройств.

Применительно к маркшейдерским съемкам горных выработок сложность интерпретации рефракционных искажений результатов обусловлена не столько величиною G_c, сколько соотношением G_c и R. При определенных условиях в камерах

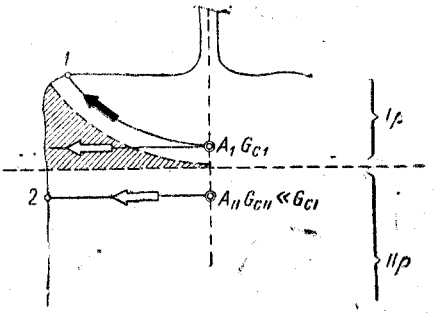


Рис. 3. Образование зоны акустической тени при съемках камер выщелачивания соли через буровые скважины:
I ρ — зона малых концентраций рассола; II ρ — зона насыщенных рассолов

выщелачивания соли образуется зона акустической тени (заштрихованный участок на рис. 3). При этом (часть стенок камеры) в зоне малых концентраций рассола Iρ практически не могут быть сняты звуколокатором.

Анализ физических условий звуколокационного контроля и съемок горных выработок показал, что учет рефракции имеет практическое значение при измерениях в камерах выщелачивания каменной соли. На всех других объектах соотношение G_c и R таково, что поправки n_R и n_h пренебрегаемо малы и могут анализироваться только в чисто теоретическом плане. В камерах выщелачивания соли, с учетом значительной величины допустимой ошибки измерения радиусов горизонтальных сечений, возможна приближенная интерпретация результатов измерений при наличии заметного G_c.

Возратимся к рис. 2. Избежать вычисления поправки n_R представляется возможным только в случае допущения справедливости равенства $R = R_1$. При $R_1 = r\alpha \frac{1}{\rho^\circ}$ и $R =$

$= R_{\text{п}} \cos\frac{\alpha}{2} = r\sin\alpha$ их равенство с ошибкой, не превышающей $\pm 2\%$ R_1, удовлетворяется при углах $\alpha \leqslant 19°$

$$R = R_1 \quad \left(\text{при } R \leqslant \frac{0{,}32 C_0}{G_c} \text{ и } G_c \leqslant \frac{C_0}{3{,}1R}\right). \qquad (6)$$

При определенных соотношениях G и R появляется возможность избежать учета и поправки n_h, т. е. вообще пренебречь ошибками результатов измерений, определяемыми рефракцией среды локации.

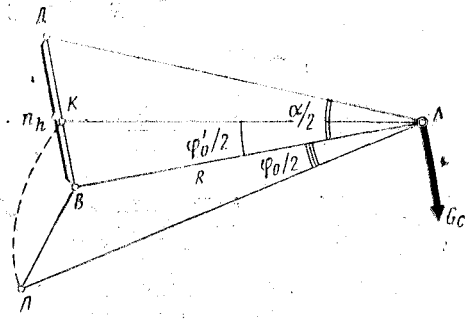


Рис. 4. Схема пятна звуколокационного облучения и ошибки n_h

Размеры эффективного пятна звуколокационного облучения, обозначенные на рис. 4 отрезками $\overline{\text{ВЛ}}$ и $\overline{\text{ВК}}$, определяются при данном значении R углами φ_0 и φ_0'. Угол φ_0 используется при учете ошибок звуколокационной аналогии точек снимаемого контура горизонтального сечения камеры. Влиянием угла φ_0' на формирование ошибки звуколокационной аналогии пренебрегают (учесть это влияние невозможно, пока съемка решается как плоская задача). Учитывая это, угол направленности преобразователя в направлении, перпендикулярном снимаемому сечению, стараются сделать по возможности меньше. Таким образом, независимо от наличия G_c в процессе измерения регистратором звуколокатора может быть зафиксирована вместо точки В любая другая точка на отрезке ВК, включая и точку K. Из этого следует, что если величина n_h не будет превышать длины отрезка ВК, то ее также не имеет смысла учитывать при камеральной обработке результатов съемки.

Равенство $\overline{\text{ВК}}$ и n_h определяет равенство углов φ_0' и α.

Величина φ_0' определяется диаграммой эффективности звуколокатора и функцией распределения изменений уровня отраженных сигналов в интервалах между нулевым и максимальным значением. Флюктуации отраженных сигналов должны определиться экспериментально на конкретных объектах измерений.*

Для камер выщелачивания соли (Яр-Бишкаданское месторождение) при использовании звуколокатора «Луч» $\varphi_0' = 1°15'$. Для этого случая предельные значения G_c и R определяются следующим расчетом:

$$n_h = R\frac{\alpha}{2\rho}, \quad 0{,}01745\alpha = \frac{2n_h}{R} = R\frac{G_c}{C_0}$$

при $\alpha = \varphi_0'$,

$$R \leqslant \frac{0{,}022C_0}{G_c} \text{ и } G_c \leqslant \frac{C_0}{45{,}4R}. \qquad (7)$$

Теперь можно сформулировать следующие рекомендации по учету рефракции при звуколокационных съемках камер выщелачивания звуколокатором «Луч».

1. Если удовлетворяется условие (7), поправки n_h и n_R пренебрегаемо малы и их можно не учитывать при камеральной обработке результатов съемки.

2. Если удовлетворяется условие (6), поправка n_R не вычисляется, но в высотную отметку уровня съемки вводится поправка n_h по (4).

3. Если условие (6) не удовлетворяется, при соблюдении (3) поправки n_h и n_R вычисляются по (4) и (5).

4. Если не удовлетворяется условие (3), функция распределения скорости звука по камере должна апроксимироваться ломаной линией и построение траектории звукового луча осуществляется в слоистой среде (при $G_c = \text{const}$ в каждом слое).

---

* Аранович В. Б., Гурич А. А. К вопросу об ошибках звуколокационной аналогии. Изд-во ВУЗов. Горн. ж. № 12, 1965.