

прикладні проблеми нафтогазової геофізики. – К.: УкрДГРІ, 2001. – С. 113-117.

2. Гафіч І.П., Колісниченко В.Г. Методичні аспекти вивчення колекторських властивостей тонконашарованих теригенних розрізів (на прикладі Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину) // Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геофізики: Зб. наук. пр. – К.: УкрДГРІ, 2001. – С. 146-152.

3. Локтев А.В. Причини пропущення продуктивних горизонтів в глинистій товщі неогену Зовнішньої зони Передкарпатського прогину і заходи для їх запобігання // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2003. – № 3 (8). – С. 123-126.

4. Азаматов В.И., Крысин Н.И., Спасибко В.Д. и др. Оценка качества первичного вскрытия продуктивных пластов по промысловым и

$$\Delta t_{k(nn)} = \sqrt{t_0^2 + \frac{d^2 + x^2}{V^2}} - t_0, \quad (1)$$

геофизическим данным // Обзорн. информация. Сер. Геология нефтяных и газовых месторождений. – М.: ВНИИОЭНГ, 1989. – 46 с.

5. Карпенко О.М., Федоришин Д.Д. Статистична модель тонкошаруватого розрізу свердловини за даними ГДС // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 2003. – № 2(7). – С. 44-49.

6. Басин Я.Н., Новгородов В.А., Злотников М.Г., Фельдман А.Я., Чередниченко А.А. Методы радиоактивного и электрического каротажа при определении подсчетных параметров в песчано-глинистых полимиктовых разрезах // Обзор ВИЭМС. Сер.: Регион. развед. и промысл. геофизика. – М.: ВИЭМС, 1983. – 48 с.

УДК 550.834.5

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ЧАСОВИХ І ГЛИБИННИХ СЕЙСМІЧНИХ РОЗРІЗІВ НА НЕПОЗДОВЖНІХ ПРОФІЛЯХ

Д.Н.Ляшук, В.В.Гневуш

Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція,  
79040, м.Львів, вул.Данила Апостола, 9А

*Рассмотрены вопросы построения временных и глубинных сейсмических разрезов на непродольных профилях. Показано, что расстояние  $d$  между продольным и непродольным профилями существенно влияет на качество обработки и интерпретации материалов непродольных профилей. Выведены формулы и построены графики зависимости координат точек отражения от глубины границы  $H$ , угла её наклона  $\varphi$  и расстояния  $d$ .*

*Questions of construction of time and deep sections on not longitudinal profiles are considered. It is shown, that the account of distance  $d$  between longitudinal and not longitudinal profiles considerably influences quality of processing and interpretation of materials of not longitudinal profiles. Formulas are deduced and schedules of dependence of coordinates of points of reflection from depth of border  $H$ , eukf its inclination  $\varphi$  and distances  $d$  are constructed.*

Під непоздовжнім сейсмічним профілем розуміється профіль спостереження сейсмічного хвильового поля, розташований паралельно або під кутом до поздовжнього профілю (профілю збудження пружних коливань). Основним параметром непоздовжнього профілю є відстань  $d$  по перпендикуляру до поздовжнього профілю. При проведенні польових робіт може використовуватися один або декілька непоздовжніх профілів, розташованих по одній або двох сторонах від поздовжнього.

Параметр  $d$  суттєво впливає на параметри обробки та результати інтерпретації непоздовжніх профілів. Справа в тому, що параметр  $d$  вносить зміни в розрахунок кінематичних поправок при побудові часових розрізів і в положення точок відбиття при побудові глибинних сейсмічних границь.

Раніше розрахунок кінематичних поправок при обробці матеріалів багатократного профілювання способом СГТ на непоздовжніх профілях виконувався за формулою [1]

де:  $t_0$  – час реєстрації відбитої хвилі на пункті збудження коливань;

$V$  – ефективна швидкість на часі  $t_0$ ;

$d$  – відстань непоздовжнього профілю від поздовжнього;

$x$  – відстань від проекції пункту збудження на непоздовжній профіль до  $i$ -того каналу розміщення сейсмоприймачів.

Недоліки визначення кінематичних поправок за формулою (1) такі.

По-перше, при введенні кінематичних поправок, розрахованих за формулою (1), графік відбитої хвилі, зареєстрованої на непоздовжньому профілі, трансформується в графік  $t_0$  поздовжнього профілю. Така операція правомірна тільки за умови горизонтального залягання відбиваючої границі або строгої орієнтації системи поздовжній-непоздовжній профіль навхрест простягання порід. Оскільки ці умови в більшості випадків не виконуються, то введення  $\Delta t_{k(nn)}$  призводить до помилок при побу-

дові часових, а відтак глибинних розрізів, причому помилки зростають при збільшенні  $d$  і кута нахилу відбиваючої границі  $\varphi$ .

По-друге, перебір швидкості на непероздовжньому профілі за формулою (1) з метою визначення  $V_{\text{СТ}}$  призводить до зміни часу  $t_0$  відбитої хвилі. Із формули (1) видно, що кінематична поправка на непероздовжньому профілі складається з двох складових: постійної складової для даних  $t_0$ ,  $d$  і  $V$ , яка визначається членом  $\frac{d^2}{V^2}$ , і змінної складової, яка визначається членом  $\frac{x^2}{V^2}$ .

Перебір  $V$  при постійному  $d$  призводить до зміни постійної складової кінематичної поправки (члена  $\frac{d^2}{V^2}$ ), тобто часу приходу відбитої хвилі на часовому розрізі.

Розрахунки за формулою (1) засвідчують, що для  $t_0=1$  с і  $d=0,5$  км зміна  $V$  від 3000 м/с до 5000 м/с призводить до зміщення часу відбитої хвилі відповідно від 14 мс до 5 мс; при  $d = 2$  км — від 202 мс до 77 мс; при  $d = 3,5$  км — від 515 мс до 210 мс. При збільшенні часу реєстрації величина помилки зменшується. Наведені дані свідчать про те, що визначати  $V_{\text{СТ}}$  на непероздовжньому профілі шляхом перебору швидкості за формулою (1) неможливо.

По-третє, з причини, викладеної вище, неточні дані швидкості при побудові часового розрізу СГТ ведуть до зміни часу  $t_0$  відбитої хвилі на непероздовжньому профілі, що призводить до помилок при структурних побудовах.

Вихід із такої ситуації був знайдений, коли кінематичні поправки для непероздовжнього профілю почали розраховувати за формулою

$$\Delta t'_{k(hn)} = \sqrt{t_0^2 + \frac{d^2 + x^2}{V^2}} - \sqrt{t_0^2 + \frac{d^2}{V^2}} \quad (2)$$

Визначення кінематичних поправок за формулою (2) позбавляє зазначених вище недоліків.

Якщо обидва корені у формулі (2) розкласти в ряд Тейлора і взяти два перших члена ряду (параболічне наближення), то отримаємо

$$\begin{aligned} \Delta t'_{k(hn)} &\approx \left( t_0 + \frac{d^2}{2t_0 V^2} + \frac{x^2}{2t_0 V^2} \right) - \left( t_0 + \frac{d^2}{2t_0 V^2} \right) \approx \\ &\approx \frac{x^2}{2t_0 V^2} \end{aligned} \quad (3)$$

Як бачимо з формули (3), кінематична поправка залежить від часу реєстрації відбитої хвилі на пункті збудження (ПЗ), швидкості її розповсюдження, відстані точки прийому від проекції ПЗ на непероздовжній профіль і не залежить від відстані  $d$  (ПП-ПЗ).

По-друге, зміна швидкості не тягне за собою зміну положення відбиваючої границі на часовому розрізі, оскільки в кінематичній поправці відсутня її постійна складова. Це означає, що неточне значення швидкості при сумуванні не призведе до зміни часу відбитої хвилі

на часовому розрізі, а тільки відіб'ється на якості суми СГТ (як і при сумуванні на поздовжньому профілі).

По-третє, при введенні кінематичних поправок, розрахованих за формулою (2), годограф відбитої хвилі буде трансформуватись в годограф  $t'(x)$  непероздовжнього профілю, який відрізняється від годографа  $t(x)$  на величину постійної складової кінематичної поправки

$$\Delta \tau = \Delta t_{k(hn)} - \Delta t'_{k(hn)} = \sqrt{t_0^2 + \frac{d^2}{x^2}} - t_0 \quad (4)$$

За даним алгоритмом складена програма розрахунку кінематичних поправок на ПЕОМ. Випробування програми при побудові часових сейсмічних розрізів і визначенні  $V_{\text{СТ}}$  на непероздовжніх профілях шляхом швидкісного сканування підтвердило ефективність даного алгоритму. Застосування його дає можливість правильно визначити швидкість  $V_{\text{СТ}}$  і таким чином підняти точність побудови часових сейсмічних розрізів СГТ на непероздовжніх профілях.

Тепер розглянемо особливості побудови глибинних сейсмічних розрізів на непероздовжніх профілях.

При горизонтальному заляганні границі ( $\varphi = 0$ ) точки відбиття в плані відносяться до середини відстані непероздовжнього і поздовжнього профілів. Набагато складніше вирішується завдання при нахиленому заляганні відбиваючої границі. У цьому випадку координати точок відбиття будуть функцією глибини залягання границі  $H$ , кута її нахилу  $\varphi$ , параметра  $d$  та відстані „пункт збудження – пункт прийому” („ПЗ-ПП”) (рис. 1).

Для розв'язання цієї задачі розглянемо положення профілів збудження і прийому по простяганню порід на відстані  $d$  один від одного. На рис.1 наведений поперечний перетин цих профілів. Через точку  $O$  проходить профіль збудження (ПЗ), через точку  $S$  – профіль прийому (ПП). Необхідно визначити координати  $X$  і  $Z$  точки відбиття залежно від глибини відбиваючої границі  $H$ , її кута нахилу  $\varphi$  і відстані  $d$  між профілями.

Задачу будемо розв'язувати при таких припущеннях: відбиваюча границя плоска, поверхня спостереження горизонтальна, швидкість розповсюдження пружної хвилі  $V$  постійна, відбита хвиля монотипна. Із рис. 1 видно, що час проходження хвилі по променю  $OMS$  буде

$$OM = \sqrt{Z^2 + X^2}; \quad MS = \sqrt{Z^2 + (d - X)^2}$$

Враховуючи, що

$$Z = H - xt g \varphi, \quad (5)$$

запишемо

$$t = \frac{\sqrt{(H - xt g \varphi)^2 + x^2} + \sqrt{(H - xt g \varphi)^2 + (d - x)^2}}{V} \quad (6)$$

Згідно з принципом Ферма, точка відбиття розташована на границі так, що час пробігу падаючої хвилі від т.  $O$  до т.  $M$  і відбитої хвилі від

т.М до т.С є мінімальним порівняно з іншими шляхами розповсюдження. Отже, мінімізував-

Для того, щоб визначити  $\frac{Z}{d}$ , використаємо

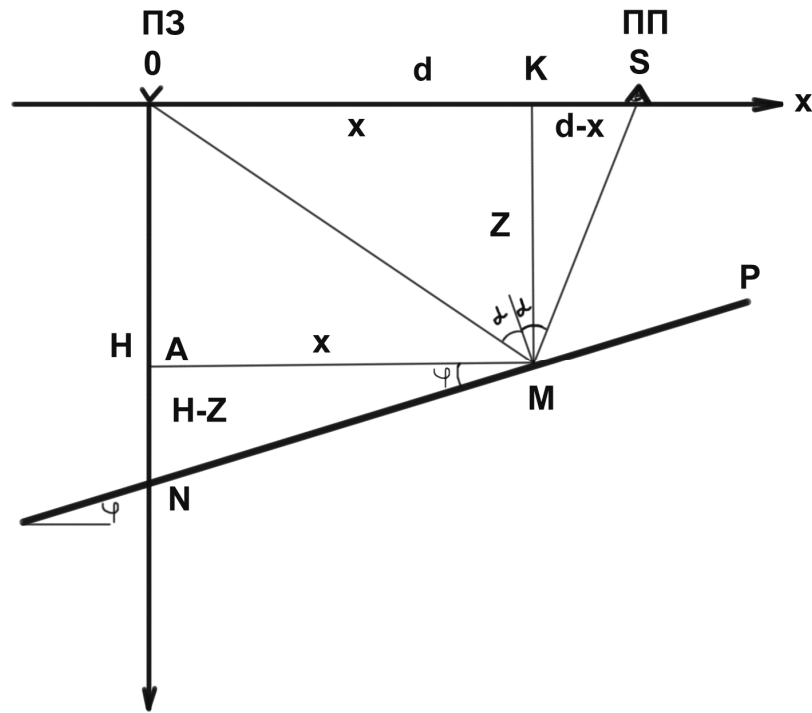


Рисунок 1

ши функцію (6), розв'яжемо поставлену задачу. Для цього прирівняємо до нуля похідну  $\frac{dt}{dx}$  і визначимо значення координати  $X$ , при якому виконується ця вимога

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{V} \left[ \frac{xtg^2\varphi - Htg\varphi + x}{\sqrt{(H - xtg\varphi)^2 + x^2}} + \frac{xtg^2\varphi - Htg\varphi - d + x}{\sqrt{(H - xtg\varphi)^2 + (d - x)^2}} \right] = 0. \quad (7)$$

Рівняння (7) розв'язуємо відносно  $X$ . Для зручності графічного представлення результатів значення  $X$  і  $H$  подамо у відносних величинах  $\frac{X}{d}$  і  $\frac{H}{d}$ . У цьому випадку коренями рівняння (7) будуть

$$\left(\frac{X}{d}\right)_1 = \frac{H/d}{tg\varphi};$$

$$\left(\frac{X}{d}\right)_2 = \frac{H/d \left( tg\varphi - \frac{1}{tg\varphi - 2H/d} \right)}{1 + tg^2\varphi}. \quad (8)$$

При  $\varphi = 0$

$$\left(\frac{x}{d}\right)_1 = \infty; \quad \left(\frac{x}{d}\right)_2 = \frac{1}{2}.$$

Таким чином, дійсним є другий корінь і його беремо до уваги.

вираз (5), розділивши ліву і праву частини на  $d$

$$\frac{Z}{d} = \frac{H}{d} - \frac{x}{d} tg\varphi. \quad (9)$$

Підставивши замість  $\frac{x}{d}$  його значення із (8), одержимо після перетворення

$$\frac{Z}{d} = \frac{2 \frac{H}{d} (tg\varphi - H/d)}{d(tg\varphi - 2H/d)} \cdot \frac{1}{1 + tg^2\varphi}. \quad (10)$$

При  $\varphi = 0$   $\frac{Z}{d} = \frac{H}{d}$ , тобто  $Z = H$ .

Таким чином, отримані аналітичні залежності  $\left(\frac{X}{d}, \frac{Z}{d}\right) = f\left(\frac{H}{d}, \varphi\right)$  в параметричній формі

$$\frac{X}{d} = \frac{\frac{H}{d} \left( tg^2\varphi - 2 \frac{H}{d} tg\varphi - 1 \right)}{\left( 1 + tg^2\varphi \right) \left( tg\varphi - 2 \frac{H}{d} \right)};$$

$$\frac{Z}{d} = \frac{2 \frac{H}{d} \left( tg\varphi - \frac{H}{d} \right)}{\left( 1 + tg^2\varphi \right) \left( tg\varphi - 2 \frac{H}{d} \right)}. \quad (11)$$

Покажемо залежність для  $\frac{X}{d}$  в явному вигляді. Для цього у формулу (11) замість параметра  $\frac{H}{d}$  підставимо його значення з (9)

$$\frac{H}{d} = \frac{Z}{d} + \frac{x}{d} \operatorname{tg} \varphi.$$

$$\left(\frac{X}{d}\right)_{1,2} =$$

$$= \frac{\frac{Z}{d}(\operatorname{tg}^2 \varphi - 1) + \operatorname{tg} \varphi \pm \sqrt{\left(\frac{Z}{d}\right)^2 (\operatorname{tg}^2 \varphi + 1)^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}{2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (13)$$

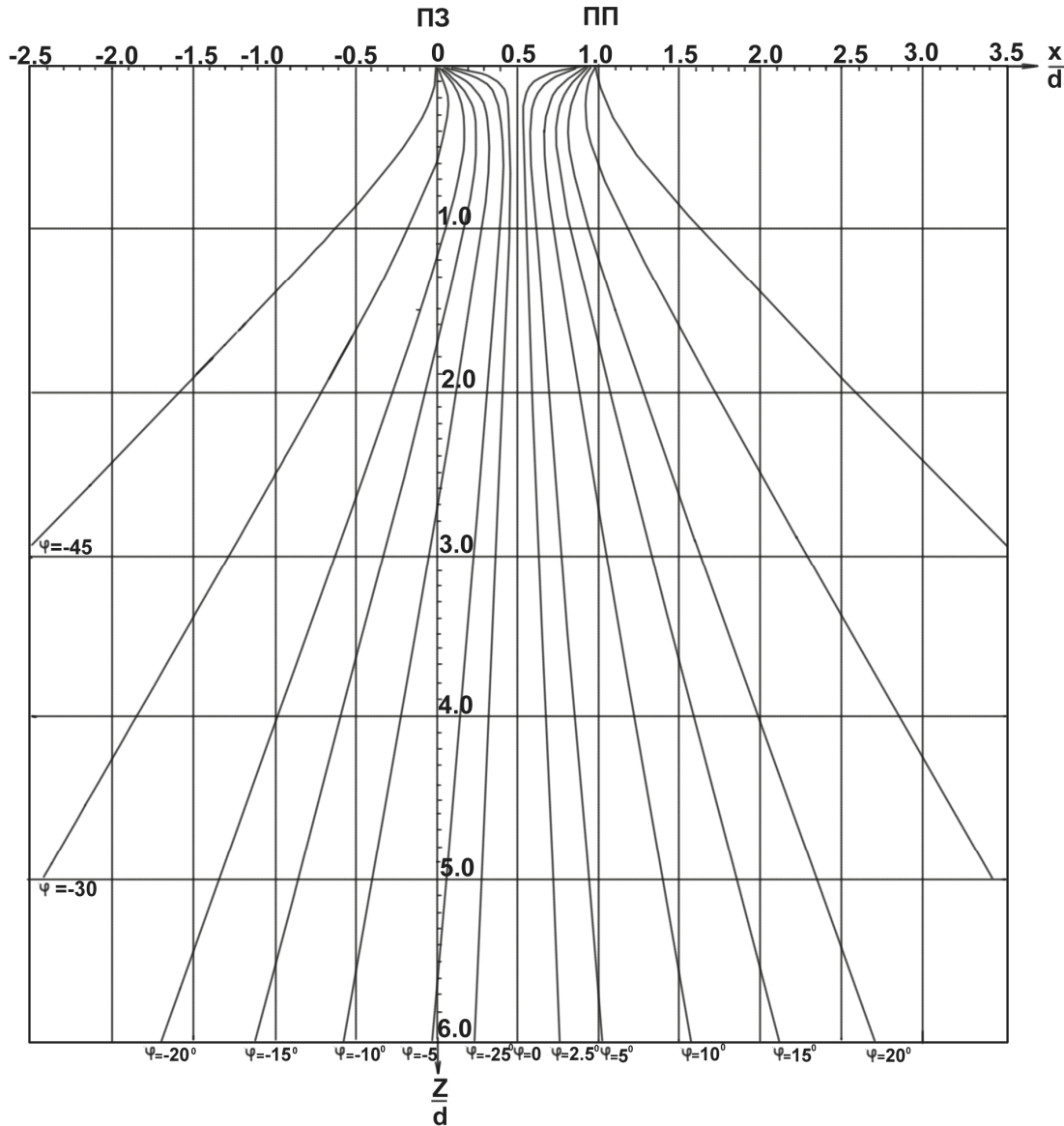


Рисунок 2 — Графіки  $\frac{X}{d} = f\left(\frac{Z}{d}\right)$  за  $\varphi = \text{const}$

Одержимо

$$\frac{X}{d} = \frac{\left(\frac{Z}{d} + \frac{x}{d} \operatorname{tg} \varphi\right) \left[ \operatorname{tg}^2 \varphi - 2 \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{Z}{d} + \frac{x}{d} \operatorname{tg} \varphi\right) - 1 \right]}{\left(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi\right) \left[ \operatorname{tg} \varphi - 2 \left(\frac{Z}{d} + \frac{x}{d} \operatorname{tg} \varphi\right) \right]}. \quad (12)$$

Після перетворення виразу (12) і розв'язання квадратного рівняння відносно  $\frac{x}{d}$  одержимо

Тут розглянутий випадок падіння відбиваючої границі від профілю прийому до профілю збудження. Аналогічні вирази отримані і при зворотному падінні відбиваючої границі. Зауважимо, що ці вирази повністю збігаються з (11) і (13) у випадку заміни  $\varphi$  на  $(-\varphi)$ .

Графіки  $\frac{X}{d} = f\left(\frac{Z}{d}\right)$  для різних  $\varphi$ , розраховані за формулою (13), зображені на рис. 2.

За формулою (11) розраховані графіки  $\frac{X}{d} = f_1\left(\frac{H}{d}\right)$  і  $\frac{Z}{d} = f_2\left(\frac{H}{d}\right)$  при  $\varphi = \text{const}$  (розрахунки виконані як для додатних, так і від'ємних значень  $\varphi$ ). Наведені на рис. 3 і 4 графіки можуть бути використані як палетки для визначення координат точок відбиття ( $X, Z$ ) та їх проєкцій на денну поверхню при побудові структурних карт за даними непоздовжнього

$$\text{Sin } \varphi = \frac{\text{Sin } \varphi^*}{\text{Cos } \gamma}$$

де  $\gamma$  – кут між даним профілем і напрямком падіння границі.

Глибину  $H$  до відбиваючої границі в точці збудження коливань (по вертикалі) визначаємо на тому ж поздовжньому профілі в точці перетину його з профілем збудження (ПЗ). Знаючи  $\varphi, H$  і  $d$ , визначаємо координати точки відбиття

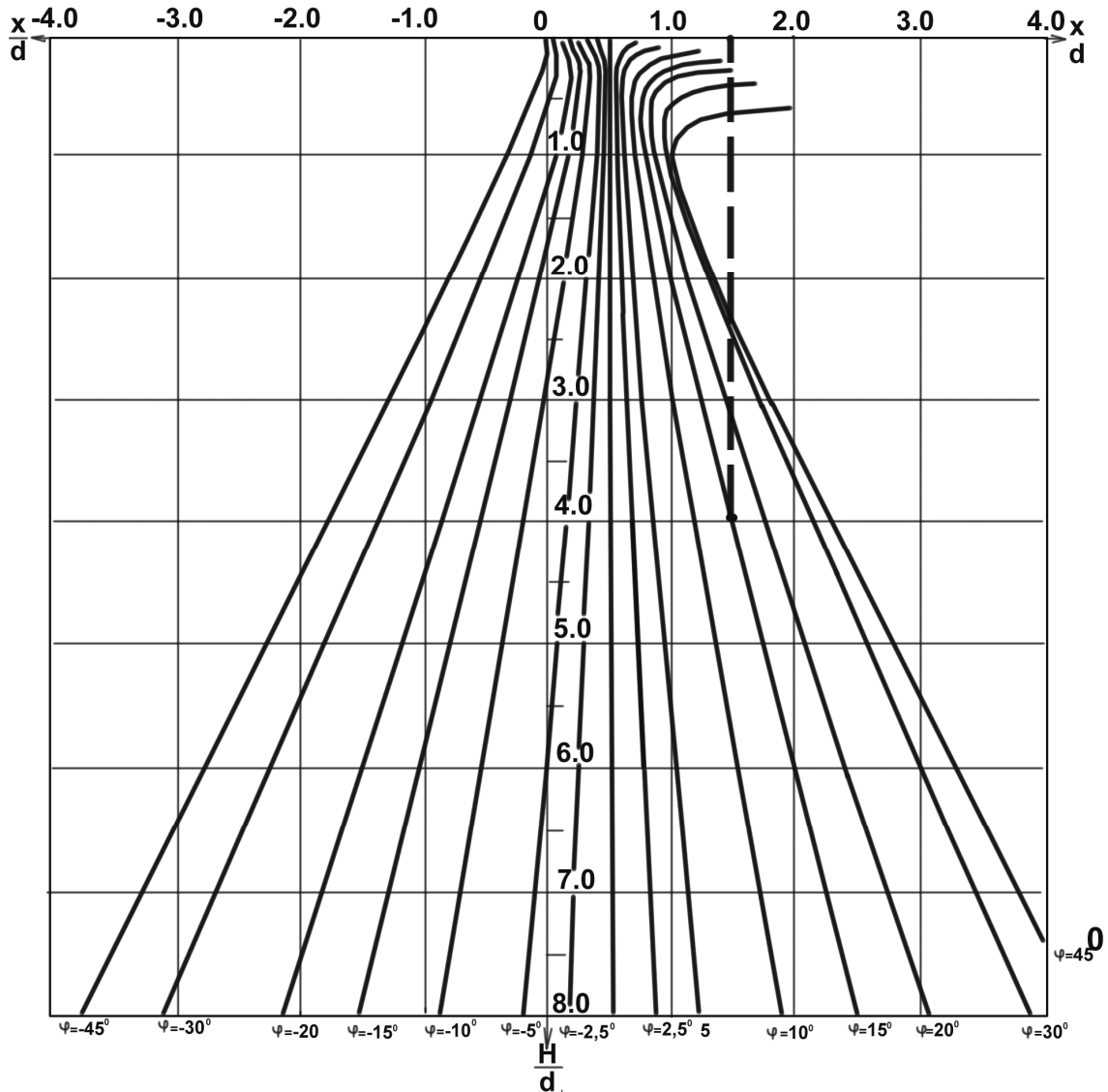


Рисунок 3 — Графіки  $\frac{X}{d} = f\left(\frac{H}{d}\right)$  за  $\varphi = \text{const}$

сейсмічного профілювання.

Для користування палеткою необхідно знати  $\varphi$  і  $H$ . Кут нахилу  $\varphi$  відбиваючої границі визначається на поздовжньому профілі, розташованому нахрест простягання порід. Якщо поздовжній профіль розташований не строго нахрест простягання, то визначений кут не буде істинним, а позірним ( $\varphi^*$ ). Істинний кут нахилу границі визначаємо за формулою

$X$  і  $Z$ . Геометричне місце проєкцій точок відбиття на денну поверхню утворюють „лінію розрізу” (ЛР) непоздовжнього профілю спостережень.

Використання запропонованої палетки дає можливість підняти точність визначення координат точок відбиття і положення „лінії розрізу” на денній поверхні і таким чином підвищити точність інтерпретації матеріалів непоздовжнього профілювання.

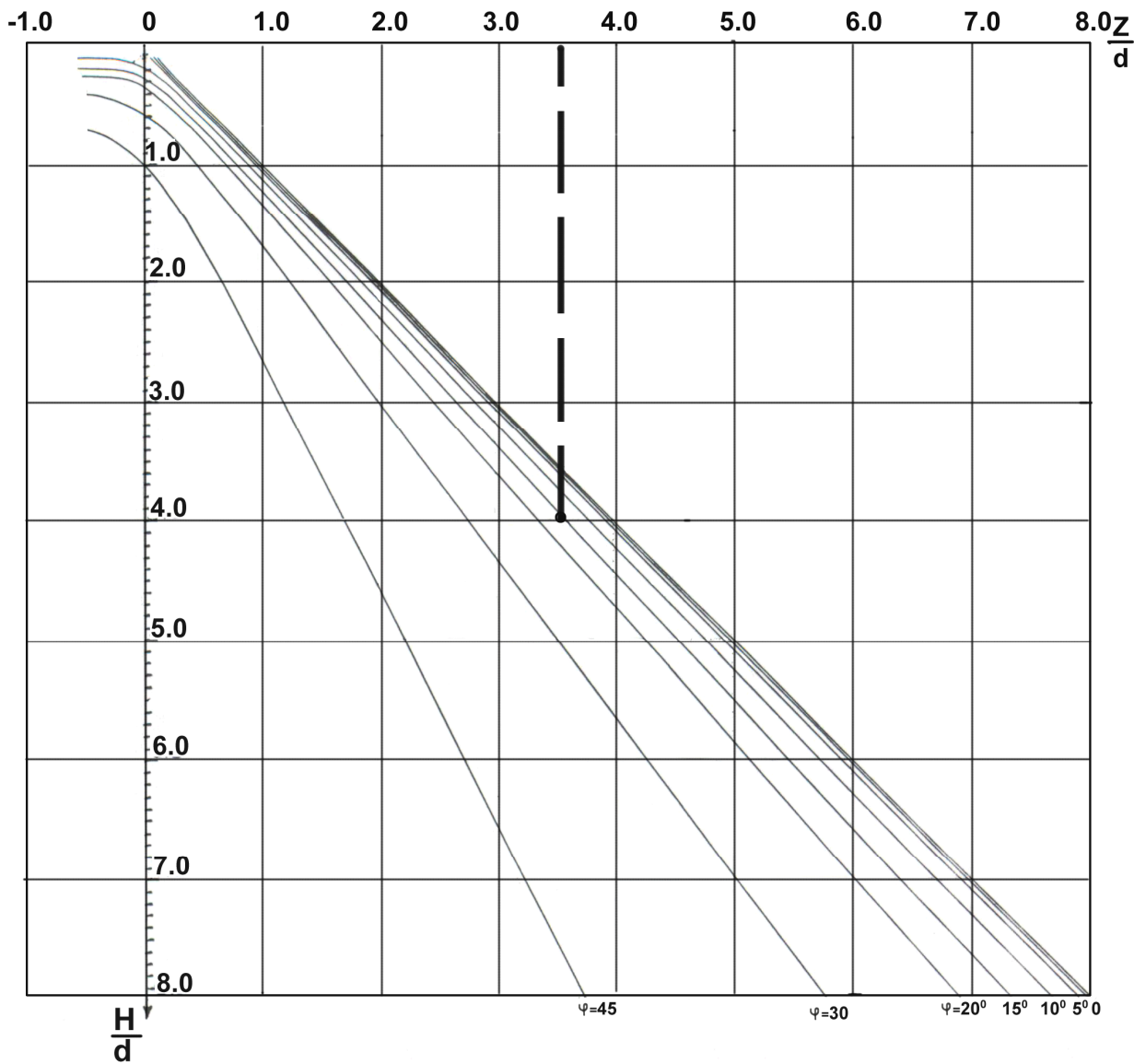


Рисунок 4 — Графіки  $\frac{Z}{d} = f\left(\frac{H}{d}\right)$  за  $\varphi = \text{const}$

**Заключення.** В статті розглянуті питання побудови часових і глибинних сейсмічних розрізів на непоздовжніх профілях. Показано, що врахування відстані  $d$  між поздовжнім і непоздовжнім профілями суттєво впливає на якість обробки та інтерпретації матеріалів непоздовжніх профілів. Виведені формули і побудовані графіки залежності координат точок відбиття від глибини границі  $H$ , кута її нахилу  $\varphi$  і відстані  $d$ .

*Література*

1. Справочник геофизика / Под ред. докт. техн. наук И.И.Гурвича. – М., 1966. – С. 555.