

РОЗВІДУВАЛЬНА ТА ПРОМИСЛОВА ГЕОФІЗИКА

УДК 550.834.53

ЕКРАНЮЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ – УМОВА ІСНУВАННЯ ПАСТОК НАФТИ І ГАЗУ. НОМОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ ШИРОКОГО ПРОФІЛЮ

В.В. Гневуш, Д.Н. Лящук

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

Предложена методика расчета номограмм для оценки разрешающей способности систем широкого профиля. Изложена методика оценки пространственной разрешающей способности ШП с заданными величинами продольной и поперечной баз суммирования.

В сучасній сейморозвідці надзвичайно складні сейсмогеологічні, геоморфологічні умови і геологічна будова структур Карпатського регіону вимагають застосування потужних регулярних систем спостереження методу відбитих хвиль (МВХ). У зв'язку з цим на даний час не втрачають актуальності так звані неповноплощівні системи, зокрема, різні модифікації „широкого профілю” (ШП) та „ортогональних профілів” (ОП)

У роботі [1] наведено формули для розрахунку характеристик спрямованості та оцінки просторової роздільної здатності площівних систем, в яких джерела і приймачі пружних коливань розташовані на паралельних або взаємоперпендикулярних лініях, зокрема систем широкого профілю. При цьому застосовується така технологія обробки сейсмічних даних: на першому етапі будують часові розрізи СГТ по паралельних лініях ШП, а на другому – виконують сумування сигналів трас вздовж кожного часового розрізу на певній базі (поздовжнє сумування) і сумування сигналів трас часових розрізів з однаковою абсцисою, тобто впоперек ШП (поперечне сумування). Причому на другому етапі сумування проводиться з часовими зсувами, які змінюються від траси до траси за лінійним законом.

Характеристики спрямованості таких систем за зазначеною вище технологією обробки можуть бути представлені в такому вигляді:

для поздовжнього сумування

The methodic of account of monograms for estimation of resolution curability of a wide profile was offered. The methodic of estimation of dimensional resolution capability WP with set a value sot longitudinal and transversal basset summing was explained.

$$H\left(\frac{Dx}{\lambda}, \frac{\delta x}{T}\right) = \frac{A}{Dx/\lambda} \cdot \frac{\sin\left[\pi \frac{Dx}{\lambda} \left(\sin\varphi \cos\gamma - \frac{\delta x}{T}\right)\right]}{\sin\left[\pi \left(\sin\varphi \cos\gamma - \frac{\delta x}{T}\right)\right]}, \quad (1)$$

для поперечного сумування:

$$H\left(\frac{Dy}{\lambda}, \frac{\delta y}{T}\right) = \frac{A}{Dy/\lambda} \cdot \frac{\sin\left[\pi \frac{Dy}{\lambda} \left(\sin\varphi \sin\gamma - \frac{\delta y}{T}\right)\right]}{\sin\left[\pi \left(\sin\varphi \sin\gamma - \frac{\delta y}{T}\right)\right]}, \quad (2)$$

де: A – амплітуда сумарного сигналу після першого етапу обробки; $\frac{Dx}{\lambda}$ – поздовжня база сумування сейсотрас СГТ, віднесена до довжини хвилі; $\frac{Dy}{\lambda}$ – поперечна база сумування сейсотрас СГТ (у частках λ); λ – довжина хвилі; T – період коливання; φ – кут падіння відбиваючої границі; γ – кут між напрямком падіння границі і напрямком профілю; $\frac{\delta x}{T}$ – затримка хвилі (у частках періоду T) на одиницю довжини бази сумування. Для сумування сигналів вздовж і впоперек широкого профілю запізнення хвилі буде дорівнювати відповідно



$$\frac{\delta t_x}{T} = \sin \varphi \cos \gamma, \quad \frac{\delta t_y}{T} = \sin \varphi \sin \gamma. \quad (3)$$

Згідно з критерієм Релея [2], дві хвилі будуть розділені, якщо максимум характеристики спрямованості однієї хвилі збігається з мінімумом характеристики другої.

Для двох хвиль з параметрами $\frac{\delta t_1}{T}$ і $\frac{\delta t_2}{T}$ умова їх розділення вимагає виконання таких рівностей:

$$\frac{\delta t_2^+}{T} = \frac{1}{D/\lambda} + \frac{\delta t_1}{T}; \quad \frac{\delta t_2^-}{T} = -\frac{1}{D/\lambda} + \frac{\delta t_1}{T}, \quad (4)$$

де $\frac{\delta t_2^+}{T}$ і $\frac{\delta t_2^-}{T}$ - значення параметрів хвилі 2, яким відповідають мінімуми характеристики

спрямованості, що знаходяться справа $\left(\frac{\delta t_2^+}{T}\right)$ і

зліва $\left(\frac{\delta t_2^-}{T}\right)$ від максимуму характеристики

хвилі 1, з параметром $\frac{\delta t_1}{T}$. Хвилі, для яких

$\frac{\delta t_2}{T} > \frac{\delta t_2^-}{T}$ і $\frac{\delta t_2}{T} < \frac{\delta t_2^+}{T}$, не розділяються з

хвилею $\frac{\delta t_1}{T}$, тобто в інтервалі між значеннями

$\frac{\delta t_2^-}{T}$ і $\frac{\delta t_2^+}{T}$ знаходиться зона нерозділення хвиль.

На основі формул (3) і (4) розраховано номограми, які дають можливість:

1) за заданого просторового положення обох відбиваючих границь (φ_1, γ_1 і φ_2, γ_2)

визначити величини баз сумування $\left(\frac{D_x}{\lambda}; \frac{D_y}{\lambda}\right)$,

що забезпечують розділення хвиль, відбитих від цих границь (пряма задача);

2) за заданих величин баз сумування

$\left(\frac{D_x}{\lambda}; \frac{D_y}{\lambda}\right)$ і просторового положення однієї відбиваючої границі (φ_1, γ_1) визначити просторове положення другої границі (φ_2, γ_2), за якого відбиті хвилі від цих границь можуть бути розділені (обернена задача).

Запропоновані номограми розраховані для основних азимутальних кутів: $\gamma_1=0^\circ$ (широкий профіль, орієнтований за падінням відбиваючої границі), $\gamma_1=90^\circ$ (ШП – за простяганням границі) і проміжного кута $\gamma_1=45^\circ$.

Розглянемо кожний випадок окремо.

Сумування сигналів на поперечній базі

1. $\gamma_1=0$ (профіль розташований за падінням першої відбиваючої границі). У цьому випадку, (формула 3), запізнення хвилі на поперечній

базі сумування $\frac{\delta t_y}{T} = 0$ за довільних значень φ_1 .

Це пов'язано з тим, що поперечна база сумування орієнтована за простяганням границі. Номограма являє собою набір графіків

$\frac{D_y}{\lambda} = f(\varphi_2)$ при $\gamma_2=const$ (рис.1), розрахованих згідно з формулою

$$\frac{D_y}{\lambda} = \frac{1}{\sin \varphi_2 \cdot \sin \gamma_2}. \quad (5)$$

Наведемо приклади розв'язання прямої і оберненої задач.

Пряма задача. Дано просторове положення першої границі $\gamma_1=0$, φ_1 – довільне і другої границі $\gamma_2=30^\circ$, $\varphi_2=15^\circ$. Відбиті хвилі від цих границь приходять до середньої лінії ШП на одному часі. Необхідно знайти величину поперечної бази сумування, яка забезпечить розділення цих хвиль.

За номограмою $\frac{D_y}{\lambda} = f(\varphi_2)$ при $\gamma_1=0$ і $\gamma_2=30^\circ$ (рис.1, графік 5) знаходимо, що для

$\varphi_2=15^\circ$ оптимальна база сумування $\frac{D_y}{\lambda} \geq 7$,

тобто за довжини хвилі 100 м для досягнення бажаного результату поперечна база ШП повинна бути не меншою ніж 700 м.

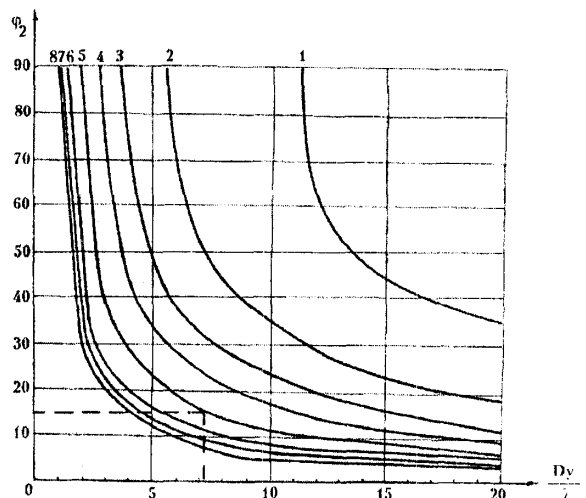


Рисунок 1 - Номограма $\frac{D_y}{\lambda} = f(\varphi_2)$ для $\gamma_1=0^\circ$

за різних γ_2 :

- $\gamma_2 = 5^\circ$ (1)
- $\gamma_2 = 10^\circ$ (2)
- $\gamma_2 = 15^\circ$ (3)
- $\gamma_2 = 20^\circ$ (4)
- $\varphi = 30^\circ$ (5)
- $\gamma_2 = 45^\circ$ (6)
- $\gamma_2 = 60^\circ$ (7)
- $\gamma_2 = 90^\circ$ (8)

Обернена задача. Заданий широкий профіль з поперечною базою $\frac{D_y}{\lambda} = 4$. Для



параметрів першої границі $\gamma_1=0$ і φ_1 – довільний, одержимо, що для заданої бази розділення хвиль від першої і другої границь можливе тільки за $15^\circ < \gamma_2 < 90^\circ$ і $\varphi_2=13^\circ$, причому, чим менший кут падіння φ_2 , тим більший повинен бути азимутальний кут і навпаки. Зона нерозділення хвиль: $\gamma_2 < 15^\circ$ і $\varphi_2 < 13^\circ$.

1. $\gamma_1=90^\circ$ (профіль орієнтований за простяганням першої відбиваючої границі). У цьому випадку $\frac{\delta x_y}{T} \neq 0$, і на відміну від першого випадку виникає залежність розділення хвиль від величини кута нахилу першої границі φ_1 . Номограма будується так (рис.2). У верхніх двох квадрантах побудовано набір графіків $\frac{\delta x_y}{T} = f(\varphi_2)$ за $\gamma_2=const$, розрахованих за формулою (3).

2. У правому квадранті $\varphi_2 > 0$, у лівому $\varphi_2 < 0$. У нижніх квадрантах побудовано графіки залежності $\frac{D_y}{\lambda} = f\left(\frac{\delta x_y}{T}\right)$ відповідно до рівностей (4) з підстановкою у них замість $\frac{\delta x_1}{T}$ формули (3) за $\gamma_1=90^\circ$. Параметром графіків є величина φ_1 . Графікам, які починаються у правому нижньому квадранті, відповідають значенню $\frac{\delta x^+}{T}$, у лівому – значенню $\frac{\delta x^-}{T}$ із рівнянь (4).

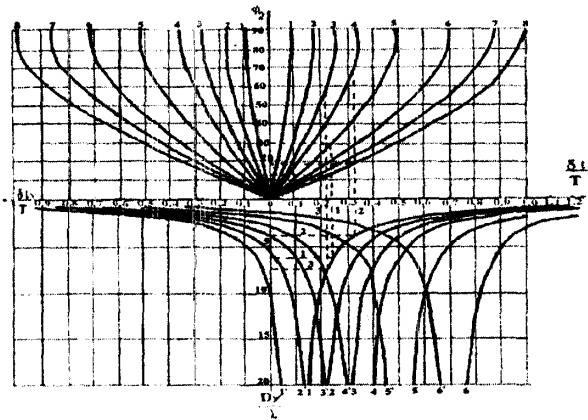


Рисунок 2 - Номограма $\frac{\delta x_y}{T} = f(\varphi_2)$ і

$$\frac{D_y}{\lambda} = f\left(\frac{\delta x_y}{T}\right) \text{ для } \gamma_1=90^\circ \text{ за різних } \gamma_2 \text{ і } \varphi_1$$

- $\gamma_2 = 5^\circ (1)$ $\gamma_2 = 30^\circ (5)$
- $\varphi_1 = 5^\circ (1,1^1)$ $\varphi_1 = 30^\circ (5,5^1)$
- $\gamma_2 = 10^\circ (2)$ $\gamma_2 = 45^\circ (6)$
- $\varphi_1 = 10^\circ (2,2^1)$ $\varphi_1 = 45^\circ (6,6^1)$
- $\gamma_2 = 15^\circ (3)$ $\gamma_2 = 60^\circ (7)$
- $\varphi_1 = 15^\circ (3,3^1)$ $\gamma_2 = 20^\circ (4)$
- $\gamma_2 = 90^\circ (8)$ $\varphi_1 = 20^\circ (4,4^1)$

Розглянемо приклади.

Пряма задача. Дано дві відбиваючі границі з параметрами $\gamma_1=90^\circ$ і $\varphi_1=5^\circ$, $\gamma_2=30^\circ$ і $\varphi_2=30^\circ$. Із графіка 5 (рис.2) для $\gamma_2=30^\circ$ у правому верхньому квадранті знаходимо, що цьому значенню γ_2 відповідає $\frac{\delta x_y^+}{T} = 0,24$. Із графіка для $\gamma_1=5^\circ$, який знаходиться у правому нижньому квадранті (графік 1), одержуємо, що цьому значенню $\frac{\delta x_y^+}{T}$ відповідає поперечна база $\frac{D_y}{\lambda} \geq 6$ (пунктирна лінія 1 на рис.2).

Обернена задача. Приклад 1. Нехай $\frac{D_y}{\lambda} = 4$. Для заданих $\gamma_1=90^\circ$ і $\varphi_1=5^\circ$ одержимо $\frac{\delta x^+}{T} = 0,33$, і розділення двох хвиль можливе тільки за $20^\circ < \gamma_2 < 90^\circ$ і $\varphi_2 < 19^\circ$ (пунктирна лінія 2). Область нерозділення хвиль буде за $\gamma_2 < 20^\circ$ і $\varphi_2 < 19^\circ$.

Приклад 2. Нехай $\frac{D_y}{\lambda} = 7$. Для заданих $\gamma_1=90^\circ$ і $\varphi_1=5^\circ$ одержимо, що $\frac{\delta x^+}{T} = 0,22$. Розділення двох хвиль можливе за $13^\circ < \gamma_2 < 90^\circ$ і $\varphi_2 < 12^\circ$. Область нерозділення хвиль: $\gamma_2 < 13^\circ$ і $\varphi_2 < 12^\circ$.

1. $\gamma_1=45^\circ$ (профіль орієнтований під кутом 45° до лінії падіння першої границі). Номограму зображено на рис.3. Верхня частина графіків та ж сама, що і на рис.2. Графіки, що розташовані в нижніх квадрантах, розраховуються аналогічно попередньому випадку, але за $\gamma_1=45^\circ$. Пряма і обернена задачі розв'язуються, як і у випадку $\gamma_1=90^\circ$.

Сумування на поздовжній базі

1. $\gamma_1=0$ (профіль орієнтований за падінням першої відбиваючої границі). Оскільки сумування сигналів здійснюється вздовж ліній СГТ, паралельних профілю, то за $\varphi_1=0$

запізнення хвилі $\frac{\delta x_x}{T} \neq 0$, згідно з формулою

(3). Номограма будується аналогічно випадку сумування на поперечній базі за $\gamma_1=90^\circ$. На рис.4 у верхніх двох квадрантах побудовано набір графіків $\frac{\delta x_x}{T} = f(\varphi_2)$ за $\gamma_2=const$, розрахованих за формулою (3):

$\frac{\delta x_x}{T} = \sin \varphi_2 \cos \gamma_2$; у правому квадранті $\varphi_2 > 0$, у лівому - $\varphi_2 < 0$. У нижніх квадрантах побудовано графіки $\frac{D_x}{\lambda} = f\left(\frac{\delta x_x}{T}\right)$ відповідно до рівностей (4) з підстановкою в них

до рівностей (4) з підстановкою в них

до рівностей (4) з підстановкою в них



замість $\frac{\delta t_1}{T}$ формули (3) для поздовжнього сумування за $\gamma_1=0$. Параметром графіків є кут φ_1 .

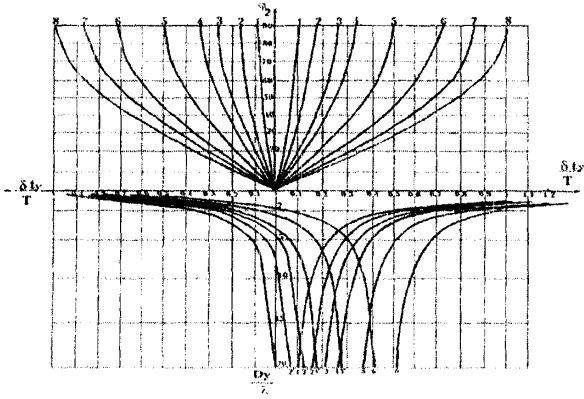


Рисунок 3 - Номограма $\frac{\delta t_y}{T} = f(\varphi_2)$ і

$\frac{D_y}{\lambda} = f\left(\frac{\delta t_y}{T}\right)$ для $\gamma_1=45^\circ$ за різних γ_2 і φ_1

- * $\gamma_2=5^\circ(1)$ $\gamma_2=30^\circ(5)$
- $\varphi_1=5^\circ(1,1^1)$ $\varphi_1=30^\circ(5,5^1)$
- $\gamma_2=10^\circ(2)$ $\gamma_2=45^\circ(6)$
- $\varphi_1=10^\circ(2,2^1)$ $\varphi_1=45^\circ(6,6^1)$
- $\gamma_2=15^\circ(3)$ $\gamma_2=60^\circ(7)$
- $\varphi_1=15^\circ(3,3^1)$ $\gamma_2=20^\circ(4)$
- $\gamma_2=90^\circ(8)$ $\varphi_1=20^\circ(4,4^1)$

Пряма задача. Дано $\gamma_1=0$ і $\varphi_1=5^\circ, \gamma_2=30^\circ$ і $\varphi_2=30^\circ$. Необхідно визначити оптимальну базу поздовжнього сумування $\frac{D_x}{\lambda}$. За графіком $\gamma_2=30^\circ$ правого верхнього квадранта (рис.4, графік 2) знаходимо, що значенню $\gamma_2=30^\circ$ відповідає $\frac{\delta t_x^+}{T} = 0,43$. За графіком $\varphi_1=5^\circ$ у правому нижньому квадраті (графік 1) визначаємо, що цьому значенню $\frac{\delta t_x^+}{T}$ відповідає поздовжня база $\frac{D_x}{\lambda} \approx 3$ (пунктирна лінія I на рис.4).

Обернена задача. Приклад 1. Дано $\frac{D_x}{\lambda} = 4, \gamma_1=0^\circ$ і $\varphi_1=5^\circ$. Необхідно визначити параметри другої границі, за яких можливе розділення відбитих хвиль. Із рис.1 (правий нижній квадрант, графік 1) за величиною бази

$\frac{D_x}{\lambda} = 4$ і кута $\varphi_1=5^\circ$ визначаємо $\frac{\delta t_x^+}{T} = 0,34$. За

цим значенням $\frac{\delta t_x^+}{T}$ у правому верхньому квадранті визначаємо зону розділення хвиль: $0 < \gamma_2 < 70^\circ$ і $\varphi_2 < 20^\circ$. Зона, де хвилі не будуть

розділені: $\gamma_2 > 70^\circ$ і $\varphi_2 < 20^\circ$ (пунктирна лінія 2 на рис.4).

Приклад 2. Дано $\frac{D_x}{\lambda} = 7, \gamma_1=0^\circ$ і $\varphi_1=5^\circ$. Для заданих параметрів першої границі одержуємо $\frac{\delta t_x^+}{T} = 0,23$. Розділення хвиль буде за $0 < \gamma_2 < 77^\circ$ і $\varphi_2 < 14^\circ$, зона нерозділення буде за $\gamma_2 > 77^\circ$ і $\varphi_2 < 14^\circ$ (пунктирна лінія 3 на рис.4).

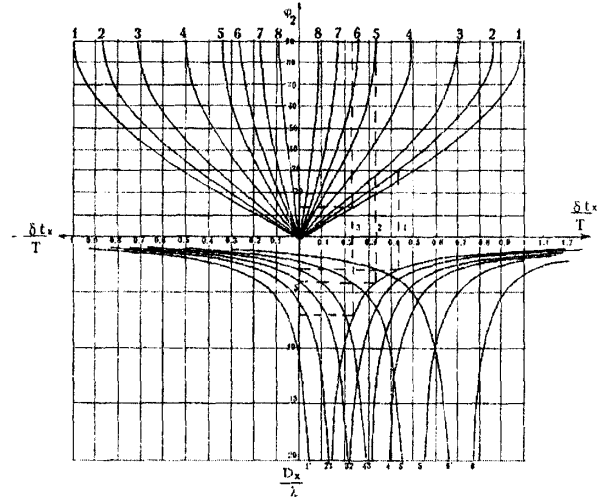


Рисунок 4 - Номограма $\frac{\delta t_x}{T} = f(\varphi_2)$ і

$\frac{D_x}{\lambda} = f\left(\frac{\delta t_x}{T}\right)$ для $\gamma_1=0^\circ$ за різних γ_2 і φ_1

- $\gamma_2=15^\circ(1)$ $\gamma_2=70^\circ(5)$
- $\varphi_1=5^\circ(1,1^1)$ $\varphi_1=30^\circ(5,5^1)$
- $\gamma_2=30^\circ(2)$ $\gamma_2=75^\circ(6)$
- $\varphi_1=10^\circ(2,2^1)$ $\varphi_1=45^\circ(6,6^1)$
- $\gamma_2=45^\circ(3)$ $\gamma_2=80^\circ(7)$
- $\varphi_1=15^\circ(3,3^1)$ $\gamma_2=60^\circ(4)$
- $\gamma_2=85^\circ(8)$ $\varphi_1=20^\circ(4,4^1)$

2. $\gamma_1=90^\circ$ (профіль орієнтований за простяганням першої границі). У цьому випадку номограма являє собою набір графіків $\frac{\delta t_x}{T} = f(\varphi_2)$ за $\gamma_2=const$ (рис.5), розрахованих за формулою для поздовжньої бази сумування

$$\frac{D_x}{\lambda} = \frac{1}{\sin \varphi_2 \cdot \cos \gamma_2}$$

Розв'язання прямої і оберненої задач аналогічне першому випадку (за $\gamma_1=0$) сумування на поперечній базі (рис.1).

1. $\gamma_1=45^\circ$ (профіль орієнтований під кутом 45° до лінії падіння першої границі, рис.6). Верхня частина графіків така ж, як на рис.4, а нижня аналогічна рис.3 (це пов'язано з тим, що $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$).

Розв'язання прямої і оберненої задач аналогічне першому випадку ($\gamma_1=0$) сумування на поздовжній базі.



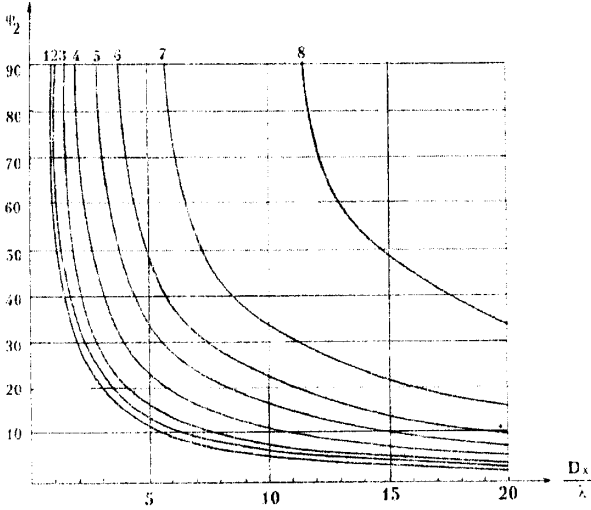


Рисунок 5 - Номограма $\frac{D_x}{\lambda} = f(\varphi_2)$ для $\gamma_1 = 90^\circ$ за різних γ_2

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| $\gamma_2 = 20^\circ$ (1) | $\gamma_2 = 70^\circ$ (5) |
| $\gamma_2 = 30^\circ$ (2) | $\gamma_2 = 75^\circ$ (6) |
| $\gamma_2 = 45^\circ$ (3) | $\gamma_2 = 80^\circ$ (7) |
| $\gamma_2 = 60^\circ$ (4) | $\gamma_2 = 85^\circ$ (8) |

Отже, у даній статті розроблено:

- методику розрахунку номограм для оцінки роздільної здатності систем широкого профілю для різних параметрів середовища. Номограми можуть бути використані і для інших видів площівних систем;

- методику оцінки роздільної здатності ШП із заданими величинами поздовжньої і

поперечної баз сумування $\left(\frac{D_x}{\lambda}; \frac{D_y}{\lambda}\right)$ та параметрами однієї із відбиваючих границь (γ_1 і φ_1);

- методику визначення величин поздовжньої і поперечної баз сумування, достатніх для розділення інтерферуючих відбитих хвиль з відомими (заданими) параметрами границь (γ_1, φ_1 і γ_2, φ_2).

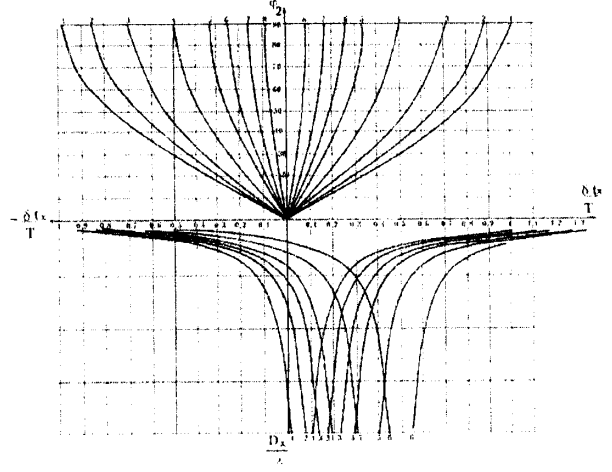


Рисунок 6 - Номограма $\frac{\delta\varphi_x}{T} = f(\varphi_2)$ і

$\frac{D_x}{\lambda} = f\left(\frac{\delta\varphi_x}{T}\right)$ для $\gamma_1 = 45^\circ$ за різних γ_2 і φ_1

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| $\gamma_2 = 5^\circ$ (1) | $\gamma_2 = 70^\circ$ (5) |
| $\varphi_1 = 5^\circ$ (1,1') | $\varphi_1 = 30^\circ$ (5,5') |
| $\gamma_2 = 30^\circ$ (2) | $\gamma_2 = 75^\circ$ (6) |
| $\varphi_1 = 10^\circ$ (2,2') | $\varphi_1 = 45^\circ$ (6,6') |
| $\gamma_2 = 45^\circ$ (3) | $\gamma_2 = 80^\circ$ (7) |
| $\varphi_1 = 15^\circ$ (3,3') | $\gamma_2 = 60^\circ$ (4) |
| $\gamma_2 = 85^\circ$ (8) | $\varphi_1 = 20^\circ$ (4,4') |

Література

1 Гневуш В.В., Ляшук Д.Н. Методика оцінки завадостійкості і просторової роздільної здатності систем широкого профілю в сейсморозвідці МВХ. Журнал "Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ". - Івано-Франківськ: Факел, 2004. - № 3 (12). - С. 76 - 80.

2 Ландсберг Г.С. Оптика.- М.: Гостехиздаг, 1954. - 727 с.

