

даними періодично замінюють на новий. Обробку записаної інформації проводять у стаціонарних умовах.

В усіх випадках обробку інформації проводять за допомогою комп'ютера.

На основі ПТМ, розробленого на кафедрі механіки і сейсмостійкості споруд, запропонована структура СРС, що використовує комбінований спосіб передачі цифрової інформації, оптимальний для інженерної сейсмометрії [15]. Проведено випробування макета провідникової системи збору інженерно-сейсмометричної інформації в лабораторних умовах.

Для прийому даних на персональному комп'ютері розроблена програма ADCse.

Програма визначає наявність сигналу в каналі зв'язку, встановлює швидкість і протокол обміну даними з периферійними пристроями, обробляє пакети, що надходять, заносить отримані дані до масиву, буде сейсмограми в реальному масштабі часу, зберігає результат вимірів у текстовий файл, або передає як електронні таблиці в Microsoft Excel.

Комбінація часового поділу каналів і пакетної комутації в системі збору інженерно-сейсмометричної інформації дозволяє досягти таких переваг як просте нарощування і розширення, гарна захищеність переданої інформації, висока надійність і відмовостійкість системи.

Сформульовані вище задачі детального спостереження – від одержання тривимірної моделі будови середовища в районі розташування об'єкта дослідження до експериментального аналізу нелінійних процесів у ґрунті і споруді – не мають сенсу без забезпечення каліброваної якості засобів реєстрації відгуку об'єкта на вплив [16]. З іншого боку, постановка детального сейсмометричного спостереження на ґрунті, на будинках і спорудах, або на їх фрагментах потрібна для рішення інженерних задач.

Таким чином, використання сейсмотелеметричного збору інформації, одержуваної від детальної системи каліброваних приймачів, ставить інженерно-сейсмометричні вимоги до рівня фундаментального фізичного дослідження.

Якщо фізична сейсмологія і геофізична сейсмологія мають чітко визначені задачі, інструментальні засоби спостереження і методи проведення спостереження та аналізу їх результатів, то термін "інженерна сейсмометрія" не має визначальних характеристик.

Найважчий досвід спостереження відгуків реальних землетрусів і штучних механічних впливів за допомогою метрологічно каліброваних апаратних засобів дозво-

ляє сформулювати таке визначення поняття "інженерна сейсмометрія": інженерна сейсмометрія це розділ геофізики, що активно і пасивно детально вивчає динамічні властивості верхньої частини земної кори та інженерних конструкцій (будівель і споруд) цифровими каліброваними радіоінструментальними засобами і математичними методами.

В галузі інженерної сейсмометрії широко застосовуються методи механіки (в тому числі, теоретичної, прикладної і будівельної), радіофізики, математики, інформатики.

1. Сейсмозаєдка. Справочник геофізика / Под ред. И.И. Гуровича, В.П. Номоконова. – М.: "Недра", 1981. – 464 с. 2. Цвей Е.В., Скоробогатый Л.И. Некоторые вопросы хранения и использования сейсмической информации прошлых лет: Геофизика (спец. выпуск), 2001, С. 130-131. 3. Гобаренко В.С. Изучение скоростных характеристик коры западной части Крымской сейсмогенной зоны. Сейсмологический бюллетень Украины за 1999 г., ИГФ НАНУ, Симферополь: Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясения, 2001, С. 71-75. 4. Гобаренко В.С. Пространственно-временные особенности поля скоростей в центральной части Крымской сейсмогенной зоны, С. 89. 5. Бугаевский Г.Н. Численный анализ реакции грунта на сейсмическое воздействие. Будівельні конструкції, вип. №64, Київ, НДІБК, 2006, с. 254-261. 6. Бугаевский Г.Н., Бугаевский А.Г. Сейсмическое спектрально-динамическое зонирование территорий и сооружений. Будівельні конструкції, вип. №53, кн. 1, Київ, НДІБК, 2000, С. 69-77. 7. Немчинов Ю.И., Кендзера А.В., Бугаевский Г.Н. Динамическая паспортизация сооружений как составная часть СНиПа // Будівельні конструкції, вип. №60, Київ, НДІБК, 2004, С. 193-198. 8. Бугаевский Г.Н. Спектрально-динамические и диссипативные свойства элементов сооружения. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 85-88. 9. Бугаевский Г.Н. Общая схема универсального сейсмометрического канала для выполнения наблюдений в произвольной точке объекта. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 82-84. 10. Бугаевский Г.Н., Белов В.П., Нестеренко С.Д., Герашченко А.А. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №5, Симферополь, КАПКС, 2001, С. 92-97. 11. Цмыкал Д.А. Характеристики точности калибровки динамического стенда. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 103-106. 12. Агапов В.Н. Линии связи для инженерной сейсмологии. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №10, Симферополь, КАПКС, 2005 (в печати). 13. Агапов В.Н. Аналого-цифровые преобразователи в сейсморегистрирующих системах. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 78-81. 14. Агапов В.Н. Проводная система сбора инженерно-сейсмометрической информации с временным разделением каналов и пакетным комитированием. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №13-14, Симферополь, КАПКС, 2006, С. 39-43. 15. Агапов В.Н. Полевая телеметрический модуль в системах сбора и регистрации инженерно-сейсмометрической информации. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, КАПКС, 2006 (в печати). 16. Цмыкал Д.А. Сейсмометрический анализ производственных шумов. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр. вып. №12, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 92-97.

Надійшло до редакції 26.01.07

УДК 550. 837

М.В. Рева, канд. фіз.-мат. наук, Т.В. Руденко, пров. інж., Н.С. Єгорова, пров. інж.

ДО ПИТАННЯ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕОЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРІЗУ В МЕТОДІ ІНТЕГРАЛЬНИХ ІНДУКЦІЙНИХ ЗОНДУВАНЬ

Розглянуті можливості трансформації експериментальних вимірів частотних характеристик інтегральних параметрів індукційної петлі (активного опору та індуктивності), розташованої над провідним півпростором, в криві електромагнітних зондувань.

We consider the possibilities of transformation of experimental measurements of frequency characteristics of integral parameters of inductive loop (active resistance and inductance) located on conducting half-space into the curves of electromagnetic probes.

В роботах [1-3] наведені теоретичні основи нового методу геоелектричних досліджень, названого інтегральними індукційними зондуваннями (ІІЗ). Сутність його полягає в тому, що в цьому методі вимірюваними параметрами є не напруженості електромагнітного поля, які зазвичай використовуються в традиційних індукційних методах з контрольованими джерелами (частотно-го електромагнітного зондування та становлення поля

[4,5]), а безпосередньо інтегральні характеристики самого джерела збудження поля – незаземленої індукційної петлі, що живиться гармонійним струмом. Під динамічними інтегральними характеристиками індукційної петлі розуміються залежності від частоти ω приростів її активного опору $\Delta R(\omega)$ та індуктивності $\Delta L(\omega)$ відносно статичних значень цих параметрів. Частотна дисперсія активного опору та індуктивності петлі зумовлена елек-

тродинамічною взаємодією джерела збудження з магнітним полем індукованих у провідному середовищі струмів і є носієм інформації про структуру та електромагнітні властивості геоелектричного розрізу. Безперечно, що при цьому досить важливим є питання трансформації вимірювальних динамічних інтегральних характеристик петлі в ефективні геоелектричні характеристики. Розгляду деяких можливостей реалізації цієї процедури і присвячена дана стаття.

При виборі форм представлення інформації і розробці способів інтерпретації експериментальних даних інтегральних індукційних зондувань доцільно повністю використувати багатий досвід класичних диференціальних модифікацій електромагнітних зондувань [4,5]. Згідно цього досвіду, найбільш раціональною формою представлення інформації є трансформація інформативних параметрів електромагнітного поля в ефективний опір, що здійснюється шляхом нормування експериментальних спостережень за універсальним умовним еталоном, в якості якого зазвичай приймається модель однорідного провідного півпростору. В зв'язку з цим нормування інтегральних характеристик індукційної петлі і визначення ефективного опору будемо проводити за їх високочастотними асимптотичними уявленнями для однорідного провідного півпростору, приведеними в роботі [1]:

$$\Delta R(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{n^2}{\sqrt{2}} f' \left(\frac{h}{r} \right) \sqrt{\omega \rho \mu}, \quad (1)$$

$$\Delta L(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty} = -n^2 r \mu f \left(\frac{h}{r} \right) + \frac{n^2}{\sqrt{2}} f' \left(\frac{h}{r} \right) \sqrt{\frac{\rho \mu}{\omega}}, \quad (2)$$

де ρ – питомий опір півпростору, $\omega = 2\pi F$ – кругова частота (F – циклічна частота), $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність вакууму, n – кількість витків круглої індукційної петлі, $f \left(\frac{h}{r} \right)$ і $f' \left(\frac{h}{r} \right)$ – функціональні коефіцієнти,

що залежать від висоти підйому петлі h над поверхнею півпростору та радіусу петлі r . Ці функціональні коефіцієнти визначаються у вигляді [1,2]:

$$f \left(\frac{h}{r} \right) = \left(\frac{2}{k} - k \right) K(k) - \frac{2}{k} E(k), \quad (3)$$

$$f' \left(\frac{h}{r} \right) = \sqrt{1 - k^2} \left[\left(\frac{1}{1 - k^2} + 1 \right) E(k) - 2K(k) \right], \quad (4)$$

де $k = 1/\sqrt{1 + h^2/r^2}$; $K(k)$, $E(k)$ – еліптичні інтеграли 1-го

та 2-го роду $(K(k) = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \theta)^{-1/2} d\theta,$

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} (1 - k^2 \sin^2 \theta)^{1/2} d\theta).$$

$$\rho_R(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty} = \rho_1 \left[\operatorname{Re} Z^*(\omega) + \operatorname{Im} Z^*(\omega) \right]^2, \quad (8)$$

$$\rho_L(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty} = \rho_1 \left\{ \left[\operatorname{Re} Z^*(\omega) - \operatorname{Im} Z^*(\omega) \right] - \frac{\partial}{\partial \omega} \left[\operatorname{Re} Z^*(\omega) - \operatorname{Im} Z^*(\omega) \right] \right\}^2, \quad (9)$$

де

$$Z^*(\omega) = cth \left\{ k_1 h_1 + \operatorname{arcth} \left[\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} cth \left(k_2 h_2 + \dots + \operatorname{arcth} \sqrt{\frac{\rho_P}{\rho_{P-1}}} \right) \right] \right\} - \quad (10)$$

приведений імпеданс плоскої гармонійної електромагнітної хвилі на поверхні багат шарового розрізу [6] ($k_i = \sqrt{-i\omega \mu_i}$ – комплексні хвильові числа горизонтів, $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; $h_i, \rho_i = 1/\gamma_i$ – потужності та питомі опори горизонтів ($i=1,2,\dots,P$; P – кількість горизонтів у розрізі)).

Вимір двох інтегральних характеристик електромагнітного поля $\Delta R(\omega)$ і $\Delta L(\omega)$ дозволяє визначати на кожній фіксованій частоті два значення ефективного опору: активний позірний опір $\rho_R(\omega)$ та індуктивний позірний опір $\rho_L(\omega)$. Отримання таким чином двох кривих зондувань на кожній точці спостереження дозволяє підвищити інформативність та роздільну здатність методу.

В першу чергу розглянемо спосіб визначення активного позірного опору $\rho_R(\omega)$. Згідно формули (1) для $\Delta R(\omega)$ легко отримати:

$$\rho_R(\omega) = \frac{2}{N^2} \frac{\Delta R^2(\omega)}{\omega \mu}, \quad (5)$$

де $N = n^2 f' \left(\frac{h}{r} \right)$ коефіцієнт установки.

Отриманий вираз представляє собою рівняння кривої зондування, яка на високих частотах відповідає дійсному питомому електричному опору верхнього горизонту розрізу, що вивчається, і зі зниженням частоти дає ефективне відображення його геоелектричної структури. Експериментальну криву зондування, відповідно встановленим традиціям, зручно графічно зображати в білогарифмічному масштабі в залежності від кореня квадратного з періоду коливань $T = 2\pi/\omega$: $\rho_R = f(\sqrt{T})$.

Трохи складнішим є визначення індуктивного позірного опору, тому що головний член високочастотної асимптоти $\Delta L(\omega)$, відповідно (2), є неінформативним. Це ускладнення можливо обійти, якщо обчислити частотну похідну приросту індуктивності петлі:

$$\Delta L'(\omega) = \frac{\partial}{\partial \omega} \Delta L(\omega) = -\frac{n^2}{2\sqrt{2}} f' \left(\frac{h}{r} \right) \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{\rho \mu}{\omega}}. \quad (6)$$

З останнього виразу легко визначити питомий опір середовища ρ і прийняти його за ефективне значення:

$$\rho_L(\omega) = \frac{8\omega^3 |\Delta L'(\omega)|^2}{\mu N^2}. \quad (7)$$

Для позірного індуктивного опору $\rho_L(\omega)$ зручно прийняти таку ж форму графічного зображення, як і для активного опору $\rho_R(\omega)$, тобто $\rho_L = f(\sqrt{T})$.

Отримаємо тепер вирази ефективних опорів (5) і (7) при зондуванні горизонтально-шаруватого геоелектричного розрізу у високочастотному і низькочастотному діапазонах. Для високочастотного діапазону, підставляючи асимптотичні вирази $\Delta R(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty}$ і $\Delta L(\omega)|_{\omega \rightarrow \infty}$, отримані в роботі [3], у співвідношення (5) і (7), маємо:

Відповідно, підставляючи у (5) і (7) низькочастотні значення $\Delta R(\omega)|_{\omega \rightarrow 0}$ і $\Delta L(\omega)|_{\omega \rightarrow 0}$, отримані в роботі [3] для петель великих розмірів, приходимо до наступного результату:

$$\rho_R(\omega)|_{\omega \rightarrow 0} = \frac{1}{2} \left(\frac{N_1}{N} \right)^2 (\omega \mu)^3 S^2; \quad (11)$$

$$\rho_L(\omega)|_{\omega \rightarrow 0} = 2 \left(\frac{N_2}{N} \right)^2 (\omega \mu)^5 S^4, \quad (12)$$

де $S = \sum h/\rho_i$ – сумарна поздовжня провідність розрізу;

$$N_1 = n^2 q \int_0^{\infty} \frac{e^{-2mh}}{m} J_1^2(mr) dm = n^2 q \left\{ \frac{2h}{\pi k} [E(k) - K(k)] + \frac{1}{2} \right\}; \quad (13)$$

$$N_2 = n^2 q \int_0^{\infty} \frac{e^{-2mh}}{m^2} J_1^2(mr) dm = n^2 q \left\{ \frac{4r}{3\pi k^3} [(1-k^2)K(k) - (1-2k^2)E(k)] - h \right\}. \quad (14)$$

У співвідношеннях (13,14) k , $E(k)$, $K(k)$ мають той же зміст, що і в співвідношеннях (3,4).

Таким чином, у високочастотному діапазоні характер кривих зондування не залежить від параметрів петлі і визначається дійсними та уявними частинами при-

веденого вхідного імпедансу плоскої хвилі. Навпаки, в низькочастотному діапазоні крива зондування залежить від параметрів петлі, частоти та сумарної поздовжньої провідності S геоелектричного розрізу. На кривих спостерігаються спадні гілки, які при графічному зображенні у білогарифмічному масштабі в функції кореня квадратного із періоду коливань $(\rho_R = \rho_R(\sqrt{T}))$,

$\rho_L = \rho_L(\sqrt{T})$ спадають для активної кривої під кутом $\alpha = -\arctg 6 \approx -80^\circ$ до осі абсцис і для індуктивної кривої під кутом $\alpha = -\arctg 10 \approx -84^\circ$.

Враховуючи сказане, приходимо до висновку, що при зондуванні шаруватого розрізу, який підстеляється ізолюючою основою, повинні спостерігатися висхідні гілки, подібні кривим магнітотелуричних зондувань (МТЗ), та спадні гілки, як у кривих частотних зондувань (ЧЗ). Це можна бачити на експериментальних кривих, отриманих шляхом фізичного моделювання і зображених на рис.1 разом з першоджерелами – приростами активного опору та індуктивності петлі. Моделювання проводилося з індукційною петлею, що мала радіус $r=10,3$ см і кількість витків $n=300$ (статична індуктивність $L=45,1095$ мГн та активний опір $R=66,92$ Ом), піднятою на висоту 2,1 см над пластиною свинцю товщиною 0,5 см (поздовжня провідність пластини $S=25000$ См).

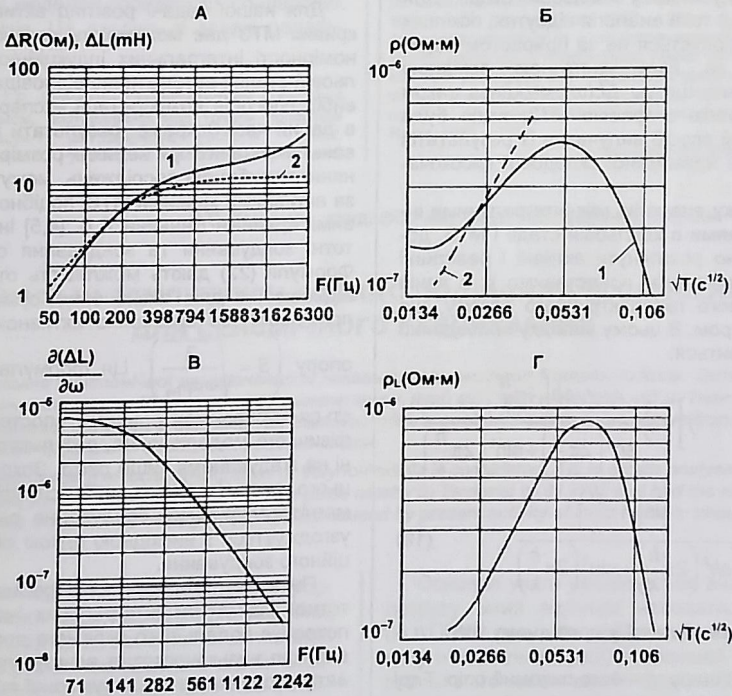


Рис.1. Результати фізичного моделювання Інтегральних індукційних зондувань над провідним пластом: А – частотні залежності приростів активного опору (1) та індуктивності (2); Б – крива активного позірнього опору (1) та асимптота S активної кривої МТЗ (2); В – залежність частотної похідної приросту індуктивності петлі від частоти; Г – крива індуктивного позірнього опору

Практично найбільш цікавими є високочастотні криві (8,9), що визначаються вхідним імпедансом плоскої хвилі (10). За Ваньяном Л.Л. [4] будемо називати ці криві хвильовими, а спадні гілки – низькочастотними.

Спробуємо провести більш чітку аналогію між кривими інтегральних індукційних зондувань та МТЗ.

Для цього порушимо загальноприйняту традицію і обрахуємо криві МТЗ за дійсними та уявними частинами вхідного імпедансу плоскої гармонійної електромагнітної хвилі, які відповідно будемо називати активними та реактивними.

Вхідний імпеданс плоскої хвилі $Z(\omega)$ для горизонтально-шаруватого розрізу представимо в наступній формі [6]:

$$Z(\omega) = -\frac{i\omega\mu}{k_1} Z'(\omega) = \sqrt{\frac{\omega\rho_1\mu}{2}} \left[\operatorname{Re} Z'(\omega) + i \operatorname{Im} Z'(\omega) \right] - i \sqrt{\frac{\omega\rho_1\mu}{2}} \left[\operatorname{Re} Z'(\omega) - i \operatorname{Im} Z'(\omega) \right]. \quad (15)$$

Враховуючи, що вхідний імпеданс однорідного півпростору з питомим опором ρ виражається $Z = \frac{-i\omega\mu}{k} = \sqrt{\frac{\omega\rho\mu}{2}} (1-i)$, можемо отримати прості формули для обчислення активної та реактивної кривих магнітотелуричного зондування:

$$\rho_{Re}(\omega) = \frac{2[\operatorname{Re} Z(\omega)]^2}{\omega\mu}, \quad \rho_{Im}(\omega) = \frac{2[\operatorname{Im} Z(\omega)]^2}{\omega\mu}. \quad (16)$$

Підставивши (15) в (16), приходимо до рівнянь активної і реактивної кривих МТЗ для горизонтально-шарового геоелектричного розрізу у вигляді:

$$\rho_{Re}(\omega) = \rho_1 [\operatorname{Re} Z'(\omega) + \operatorname{Im} Z'(\omega)]^2, \quad (17)$$

$$\rho_{Im}(\omega) = \rho_1 [\operatorname{Re} Z'(\omega) - \operatorname{Im} Z'(\omega)]^2. \quad (18)$$

Порівнюючи (17,18) та (8,9), помічаємо повну тотожність активних кривих МТЗ і активних кривих інтегрального індукційного зондування у хвильовій стадії. Для індуктивної кривої $\rho_L(\omega)$ така аналогія відсутня, оскільки зображення кривої виконується не за приростом індуктивності $\Delta L(\omega)$, а за його частотною похідною $\partial(\Delta L(\omega))/\partial\omega$. Зауважимо, що по $\Delta L(\omega)$ можливо також отримати повну аналогію з кривою МТЗ, якщо буде знайдений ефективний спосіб вилучення із результатів спостережень частото незалежної складової високочастотної асимптоти (2).

Враховуючи глибоку аналогію між інтегральними індукційними зондуваннями в хвильовій стадії і МТЗ, доцільно більш детально розглянути активні і реактивні криві (17,18). В зв'язку з цим представимо їх в явній формі для двошарового геоелектричного розрізу, що підставляється ізолятором. В цьому випадку приведений імпеданс Z' (10) виразиться:

$$Z' = cthkh = cth \left[\frac{2\pi h}{\lambda} (1-i) \right] = \frac{1}{2} \frac{sh \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right)}{sh^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right) + \sin^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right)} + i \frac{1}{2} \frac{\sin \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right)}{sh^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right) + \sin^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right)}, \quad (19)$$

де $\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$ – довжина хвилі у провідному шарі, h – потужність провідного шару, ρ – його питомий опір. Тоді співвідношення для активної та реактивної кривої матимуть вигляд:

$$\frac{\rho_{Re}}{\rho_1} = \frac{1}{4} \left[\frac{sh \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right) + \sin \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right)}{sh^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right) + \sin^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right)} \right]^2, \quad (20)$$

$$\frac{\rho_{Im}}{\rho_1} = \frac{1}{4} \left[\frac{sh \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right) - \sin \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right)}{sh^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right) + \sin^2 \left(2\pi \frac{h}{\lambda} \right)} \right]^2. \quad (21)$$

Початкова асимптота співвідношень (20,21) при $\lambda \rightarrow 0$ дає звичайний результат $\frac{\rho_{Re}}{\rho_1} = 1$; $\frac{\rho_{Im}}{\rho_1} = 1$, а висхідна

права асимптота ($\lambda \rightarrow \infty$) виражається:

$$\left. \frac{\rho_{Re}}{\rho_1} \right|_{\lambda \rightarrow \infty} = \frac{1}{4\pi^2} \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2; \quad \left. \frac{\rho_{Im}}{\rho_1} \right|_{\lambda \rightarrow \infty} = \frac{16\pi^2}{9} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2. \quad (22)$$

Відмітимо, що права висхідна асимптота модульних кривих МТЗ [6] має вигляд $\frac{\rho_T}{\rho_1} = \frac{1}{8\pi^2} \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2$. Різниця асимптот модульної та активної кривої МТЗ приводить до того, що остання відмічає ізолюючу основу на частотах в $\sqrt{2}$ раз вищих, що є досить суттєвим.

Розраховані двошарові активні та реактивні криві МТЗ в порівнянні з модульною кривою приведені на рис.2. Ці ілюстрації підтверджують, що активна крива МТЗ на відміну від модульної кривої для всіх випадків досягає прaviх асимптотичних гілок на більш високих частотах, а також має меншу осциляцію в області початкової асимптоти. Отриманий результат переконує в доцільності такої форми зображення інформації в МТЗ.

Для нашої задачі розгляд активних та реактивних кривих МТЗ дає можливість встановити основні закономірності інтегральних індукційних зондувань в хвильовій стадії і автоматично відповідає на запитання про вибір способів інтерпретації експериментальних даних в даний час. Зокрема, результати інтегральних зондувань, виконаних при великих розмірах джерела у порівнянні з глибиною досліджень, можуть інтерпретуватись за активними кривими МТЗ, подібно тому, як за хвильовими кривими Ваньяна Л.Л. [4,5] інтерпретуються частотні зондування та зондування становленням поля. Формули (22) дають можливість отримати прості співвідношення для визначення сумарної поздовжньої провідності за висхідною активною кривою позірною опору $\left(S = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\rho_{Re}}} \right)$. Ця формула добре підтверджу-

ється експериментальними спостереженнями шляхом фізичного моделювання, результати якого представлені на згаданому вище рис.1. Зокрема, на фрагменті Б цього рисунка видно, що асимптота активної кривої магнітотелуричного зондування $\rho_{Re}(\sqrt{T})$ (лінія S) чітко узгоджується з висхідною гілкою активної кривої індукційного зондування.

Питання використання інформативності низькочастотної асимптоти інтегральних індукційних зондувань потребує подальшого окремого дослідження. Безсумнівно, що низькочастотна асимптота може використовуватись для визначення сумарної поздовжньої провідності геоелектричного розрізу, якщо спостереження в проміжному частотному інтервалі відмічають опорний ізолюючий шар. Окрім того, на основі низькочастотної асимптоти можлива розробка методики трансформації експериментальних даних частотних інтегральних індукційних зондувань в криві електромагнітних зондувань у вигляді залежності ефективної поздовжньої провідності S_{ω} від кореня квадратного із періоду \sqrt{T} .

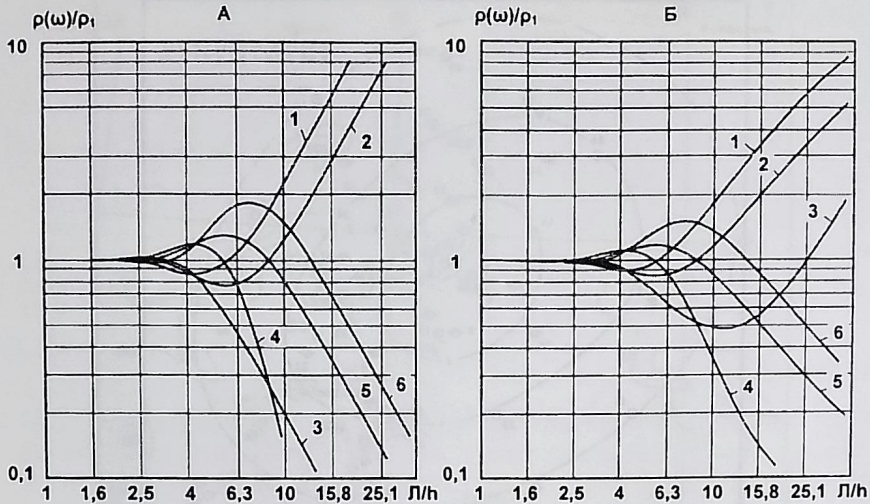


Рис.2. Приклади активних ρ_{Re}/ρ_1 (1,4), модульних ρ_I/ρ_1 (2,5) та реактивних ρ_{Im}/ρ_1 (3,6) кривих МТЗ для двошарових розрізів з параметрами: А – $\rho_2/\rho_1 = \infty$ (криві 1-3), $\rho_2/\rho_1 = 0$ (криві 4-6); Б – $\rho_2/\rho_1 = 17$ (криві 1-3), $\rho_2/\rho_1 = 1/17$ (криві 4-6)

Повна та обґрунтована система інтерпретації даних інтегральних індукційних зондувань може бути побудована тільки після розрахунків та аналізу теоретичних еталонів для типових моделей горизонтально-шарових геоелектричних розрізів. Це входить в задачі подальших досліджень.

1. Рева М.В., Руденко Т.В. Інтегральні характеристики індукційної петлі з гармонійним струмом, розташованої над тонким провідним шаром // Вісник Київ.нац.ун-ту ім.Т.Шевченка. Геологія. – 2002. – Вип.23. – С.26-30. 2. Рева М.В., Руденко Т.В. Інтегральні характе-

ристи індукційної петлі над однорідним провідним напівпростором // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – Вип.30. – С.26-30. 3. Рева М.В., Руденко Т.В. Інтегральні характеристики індукційної петлі, розташованої над багатошаровим провідним напівпростором // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія, 2006. – Вип.38. – С.32-34. 4. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. – М.: Научный мир, 1997. – 218 с. 5. Ваньян Л.Л. Становление электромагнитного поля и его использование для решения задач структурной геологии. – Новосибирск: Наука, 1966. – 168 с. 6. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. – М.: Недра, 1991. 7. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Марчев О.И. Интегралы и ряды. Специальные функции. – М.: Наука, 1983. – 750 с.

Надійшла до редколегії 12.02.07

УДК 550.3412:25

О.В. Кендзера, канд. фіз.- мат. наук, Л.В. Миронівська, інж. 1 кат., С.В. Мичак, асп.

ЛОКАЛЬНІ ЗЕМЛЕТРУСИ ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ СЕЙСМІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ

Розглядається питання тектонічної приуроченості локальних землетрусів Волино-Поділля. Детально проаналізовано сейсмотектоніку району виникнення Микулинського землетрусу, який відбувся неподалік від м. Тернополя 03.01.2002 року і мав магнітуду $M=4$. Показано, що місцеві землетруси Волино-Поділля пов'язані з сучасною активністю тектонічною структурі і, в першу чергу, зон пересічення глибинних розломних зон.

The question of tectonic binding of local earthquakes of Volyno-Podillia is considered. It is in details analysed. The seismotectonic's area of source of Mykulynetsky earthquake which has taken place nearby to Ternopol 03.01.2002 and had the magnitude $M=4$ was analysed. It is shown, that local earthquakes of Volyno-Podillia are caused by present activity of local tectonic structures and, first of all, of deep faults crossing zones.

Відомо, що розломи відіграють значну роль у формуванні структури земної кори, формуванні родовищ корисних копалин та розподілі сейсмічної активності. Проте, чимало питань розломної тектоніки окраїн Східно-Європейської платформи залишаються або нез'ясованими, або дискусійними, а відтак недостатньо вивченою залишається і сейсмічна активність досліджуваної території.

В даній статті розглядається геотектонічна прив'язка вогнищ історичних місцевих сейсмічних подій, що мали місце на території Волино-Поділля в XIX і XX століттях, і аналізується можливість застосування методики визначення енергетичного потенціалу (магнітуди) з використанням емпіричного співвідношення між цією величиною і геометрією вогнищ землетрусів, побудованого за даними історичних та сучасних сейсмічних подій.

Основна увага приділяється аналізу місцевого землетрусу, який відбувся неподалік від м. Тернополя 03.01.2002 року. Шестибальний землетрус [1, 2] відбувся у п'ятибальній зоні, позначений на карті загального сейсмічного районування України СР-78.

Дані про надійно визначені місцеві сейсмічні події на території Волино-Поділля представлені в Таблиці.

Проаналізуємо тектонічну прив'язку останнього за часом землетрусу, який відбувся 03.01.2002 р. у Тербовлянському районі Тернопільської області біля смт. Микулинці. Результати макросейсмічних обстежень цього землетрусу наведено у статтях [1, 2]. Схема розподілу інтенсивності сейсмічних струсів, побудована за макросейсмічними даними Р.С.Пронишиним [2], показана на рис.1.