

УДК 550.837

© М.В. Рева, Т.В. Руденко, Н.С. Єгорова,  
Л.П. Андрієвська, 2010

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
м. Київ*

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ ІНФОРМАТИВНИХ СИГНАЛІВ СТАНОВЛЕННЯ ПОЛЯ В ЕФЕКТИВНІ ГЕОЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРАЛЬНИХ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ**

Запропонована методика трансформації інформативних сигналів, що за методом становлення поля реєструють індукційні датчики, в ефективний опір та поздовжню провідність. Трансформація інформативних сигналів заснована на використанні їх інтегральних перехідних характеристик. Показано, що цей підхід може забезпечувати оптимальну обробку та візуальний аналіз інформативних сигналів у довільній просторово-часовій області експериментальних спостережень.

**Ключові слова:** перехідний процес, часова характеристика, магнітне поле, геоелектричний розріз, індукційний датчик.

**Вступ.** Аналіз форм зображення інформації, одержуваної під час застосування методу становлення поля [1–6], викладений у роботі [7], свідчить, що практично всі вони мають недоліки. Принциповим є те, що жодна з методик трансформації інформативних сигналів не забезпечує оптимального перетворення перехідних процесів у будь-якій просторово-часовій області електромагнітного експерименту (у будь-якому інтервалі часу і відстані) в ефективні геоелектричні параметри. Отже, на часі розробка таких способів індукційного аналізу, які б у формі інформаційних ефективних параметрів забезпечували візуалізацію структури геоелектричного розрізу в довільній просторово-часовій області експериментальних вимірів інформативних сигналів становлення поля. Очевидно, що на даному етапі виразна візуалізація експериментальних результатів у виробничих умовах є ефективним способом інтерпретації масових спостережень перехідних процесів і тому вирішення цієї задачі має важливе інформативне значення.

**Інтегральні часові характеристики та загальні принципи індукційного аналізу.** Методика часового індукційного аналізу експериментальних спостережень у методі становлення поля, якій присвячена ця ро-

бота, на наш погляд дозволяє вдосконалити наявні форми зображення інформації [1–5]. Алгоритми такого аналізу базуються на визначенні інтегральної часової характеристики нестационарного процесу  $\varphi(r, t)$  [8] вертикального магнітного поля гальванічного збуджувального джерела, яка через сигнал індукційного датчика  $\varepsilon(t)$  може бути виражена таким чином:

$$\varphi(r, t) = \frac{[1 - h_z(r, t)]^{5/3}}{q(r, t)}, \quad (1)$$

де  $h_z(r, t) = \int_0^t \varepsilon(t) dt / \int_0^\infty \varepsilon(t) dt$  та  $q(r, t) = \varepsilon(t) / \int_0^\infty \varepsilon(t) dt = \frac{dh_z(r, t)}{dt}$  – відповідно магнітне поле і сигнал індукційного датчика, нормовані за стаціонарним рівнем.

Використання часової характеристики (1) як головного інформаційного параметру імпульсного експерименту базується на аналізі закономірностей, що визначають перехідні процеси в горизонтально-шаруватих середовищах. Граничні окреслення таких середовищ можна обмежити моделлю однорідного провідного півпростору і моделлю тонкого провідного шару, збуджуваного піднятим на висоту  $h$  імпульсним джерелом. Аналітичні розв’язки нестационарних задач для вказаних моделей взято за основу розробки алгоритмів індукційного аналізу перехідних процесів.

Загальна схема індукційного аналізу нестационарних магнітних полів має такий вигляд. За експериментальним сигналом  $\varepsilon(t)$ , що зареєстрований індукційним датчиком, розраховуємо інтегральну часову характеристику  $\varphi(r, t)$  згідно з алгоритмом (1). На основі аналітичних уявлень часових характеристик для граничних моделей однорідного провідного півпростору і тонкого провідного шару визначаються ефективні електричні параметри – ефективний опір  $\rho_{\text{еф}}(t)$  та ефективна поздовжня провідність  $S_{\text{еф}}(t)$ . Для відображення результатів індукційного зондування у глибинному масштабі вводиться зондувальний параметр, що визначає ефективну скинову глибину досліджень  $h_{\text{еф}}(t)$  в задані моменти часу. У запропонованій схемі для будь-якого фрагменту перехідного процесу між ефективними параметрами експерименту (ефективним опором  $\rho_{\text{еф}}(t)$ , поздовжньою провідністю  $S_{\text{еф}}(t)$  та глибиною  $h_{\text{еф}}(t)$ ) існує звичайний узгоджений взаємозв’язок:

$$\rho_{\text{еф}}(t) = h_{\text{еф}}(t) / S_{\text{еф}}(t). \quad (2)$$

Для надійної візуалізації результатів індукційного аналізу локальних імпульсів становлення поля ефективні параметри імпульсного експерименту необхідно представляти в параметричному зображенні:

$$\rho_{\text{ef}}(t), h_{\text{ef}}(t) \Rightarrow \rho_{\text{ef}}(h_{\text{ef}}); S_{\text{ef}}(t), h_{\text{ef}}(t) \Rightarrow S_{\text{ef}}(h_{\text{ef}}).$$

Задача візуалізації інформаційних параметрів вирішується тим успішніше, чим точніше наближається ефективний опір  $\rho_{\text{ef}}(h_{\text{ef}})$  до середньої поздовжньої провідності геоелектричного розрізу  $\rho_l(z)$  як функції заданої глибини  $z$ , а ефективна провідність  $S_{\text{ef}}(h_{\text{ef}})$  до свого дійсного значення сумарної поздовжньої провідності  $S(z)$ . Враховуючи фізичні основи індукційного зондування [1–4] слід, очевидно, приймати закони зміни з глибиною середнього поздовжнього опору і сумарної поздовжньої провідності геоелектричного розрізу за граничні еталони електромагнітного зондування, незалежно від способів їх реалізації. За значеннями поздовжнього опору або сумарної поздовжньої провідності однозначно може бути відновлена дійсна структура геоелектричного розрізу на основі простого алгоритму:

$$\rho(z) = \frac{\rho_l(z)}{1 - \frac{z}{\rho_l(z)} \cdot \frac{\partial \rho_l}{\partial z}} = \frac{1}{\frac{\partial S}{\partial z}} \quad (3)$$

Під час практичного використання інформаційних характеристик електромагнітного зондування неминує виникати задача підвищення ступеня їх роздільної здатності і достовірності визначення інтерпретаційних параметрів результатів експерименту. Для цього за принципом алгоритму (3) може бути реалізована диференціальна трансформація ефективного скінового опору (або поздовжньої провідності) у форму ефективного інтерпретаційного опору геоелектричного розрізу  $\rho_i(h_{\text{ef}})$ , яка в геометричному і часовому поданні відповідно виражається:

$$\rho_i(h_{\text{ef}}) = \frac{\rho_{\text{ef}}(h_{\text{ef}})}{1 - \frac{h_{\text{ef}}}{\rho_{\text{ef}}} \cdot \rho'_{\text{ef}}(h_{\text{ef}})} = \frac{1}{S'_{\text{ef}}(h_{\text{ef}})}$$

$$\rho_i(t) = \rho_{\text{ef}}(t) \left[ 1 + \frac{S_{\text{ef}}(t) \cdot \rho'_{\text{ef}}(t)}{S'_{\text{ef}}(t) \cdot \rho_{\text{ef}}(t)} \right] = \rho_{\text{ef}}(t) \left[ 1 + \frac{(\log \rho_{\text{ef}})'}{(\log S_{\text{ef}})'} \right], \quad (4)$$

$$\text{де } \rho'_{\text{эф}}(h_{\text{эф}}) = \frac{\partial \rho_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})}{\partial h_{\text{эф}}}; \quad S'_{\text{эф}}(h_{\text{эф}}) = \frac{\partial S_{\text{эф}}}{\partial h_{\text{эф}}}; \quad \rho'_{\text{эф}}(t) = \frac{\partial \rho_{\text{эф}}(t)}{\partial t}; \quad S'_{\text{эф}}(t) = \frac{\partial S_{\text{эф}}(t)}{\partial t};$$

$$(\log \rho_{\text{эф}})' = \frac{\partial(\log \rho_{\text{эф}})}{\partial(\log t)}; \quad (\log S_{\text{эф}})' = \frac{\partial(\log S_{\text{эф}})}{\partial(\log t)} - \text{логарифмічні похідні.}$$

За своїм принциповим змістом вирази (4) є диференціальним алгоритмом визначення ефективного інтервального (інтерпретаційного) опору індукційного зондування, аналогічного (3). Цей алгоритм дає результат, який тим виразніше відповідає дійсній структурі геоелектричного розрізу, чим достовірніше інформаційні ефективні параметри  $\rho_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})$  і  $S_{\text{эф}}(h_{\text{эф}})$  відображають середній поздовжній опір і сумарну поздовжню провідність геоелектричного розрізу. Звідси логічно випливає, що основна концепція нормування результатів натурних спостережень за аналітичним зображенням інтегральних часових характеристик перехідних процесів для моделей однорідного півпростору і тонкого шару направлена на те, щоб забезпечити максимальну візуалізацію результатів експерименту у формі, наближеній до граничних еталонів електромагнітних зондувань  $\rho_l(z)$  і  $S(z)$ .

Вибір часової або геометричної форми реалізації еквівалентних інтерпретаційних алгоритмів (4) залежить від можливостей і умов обчислювальних операцій. При виконанні розрахунків краще використовувати часові виконання обчислювальних процедур. Для теоретичного аналізу роздільної здатності інтерпретаційного опору більш зручною є геометрична форма.

У розглянутій схемі індукційного аналізу нестационарного магнітного поля головними ланками є питання отримання ефективних електричних параметрів – опору  $\rho_{\text{эф}}$  і поздовжньої провідності  $S_{\text{эф}}$ . Як відмічено вище, розрахунок ефективних електричних параметрів здійснюється на основі аналітичних зображень інтегральних часових характеристик для моделей однорідного провідного півпростору і тонкого провідного шару. Перейдемо до розгляду властивостей інтегральних часових характеристик для згаданих моделей, а також алгоритмів визначення ефективного опору і провідності. При цьому ми обмежимося ситуацією, коли гальванічним джерелом збудження електромагнітного поля є електричний диполь, а реєстрація магнітного поля виконується індукційним датчиком (установка “диполь–петля”). Таку установку найчастіше використовують у методі зондування становленням поля в дальній зоні (ЗСД), натомість у методі зондування

становленням поля в ближній зоні (ЗСБ) переважно використовують установки з квадратними збуджувальними петлями. Зважаючи на те, що розноси таких установок відносно малі, і режим пізнього етапу перехідного процесу (стадія ближньої зони, на якій втрачається залежність перехідного процесу від геометрії джерела) настає відносно рано розглянуті нижче алгоритми розрахунку ефективних опорів і провідностей для установки “диполь–петля” можуть бути застосовані і для установок з квадратними петлями, адже збуджувальна дія квадратної петлі може бути апроксимована дією чотирьох електричних диполів. Хоча, з точки зору строгості принципового забезпечення методики трансформації інформативних сигналів у ефективні геоелектричні параметри, необхідна теоретична розробка цього питання для джерела збудження у вигляді заземленої лінії кінцевої довжини. Розгляд цього питання є предметом окремого дослідження.

**Часові характеристики перехідних процесів в однорідному півпросторі.** Визначення ефективних опорів. Аналітичне співвідношення для інтегральної часової характеристики у випадку моделі однорідного провідного півпростору з питомим опором  $\rho$  отримуємо шляхом реалізації алгоритму (1), в якому нормований сигнал індукційного датчика  $q(r, t)$  і нормоване магнітне поле  $h_z(r, t)$  відповідають цій моделі [1–4]. У результаті інтегральна часова характеристика перехідного процесу для однорідного провідного півпростору при збудженні електромагнітного поля електричним диполем має вигляд [8]:

$$\varphi_0(r, t) = \frac{2t}{3u} \frac{\left[ \left(1 - \frac{3}{2}u\right) \Phi\left(\frac{1}{\sqrt{u}}\right) + \frac{3}{\sqrt{\pi}} \sqrt{ue^{-\frac{1}{u}}}\right]^{\frac{5}{3}}}{\Phi\left(\frac{1}{\sqrt{u}}\right) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{u} \left(1 + \frac{2}{3}u\right) e^{-\frac{1}{u}}}, \quad (5)$$

де  $u = t/\tau$  – нормований час ( $\tau = r^2\mu/(4\rho)$ ) – параметр становлення поля;

$r$  – рознос установки);  $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi$  – функція Крампа (інтеграл ймовірності).

Дослідження поведінки часової характеристики (5) в асимптотичних областях ранніх ( $t \rightarrow 0$ ) і пізніх ( $t \rightarrow \infty$ ) стадій перехідного процесу дає наступний результат:

$$\varphi_0(r, t) \Big|_{t \rightarrow 0} = \frac{2t}{3u} = \frac{2}{3} \tau = \frac{1}{6} \frac{r^2\mu}{\rho}; \quad (6)$$

$$\varphi_0(r, t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{8}{3(225\pi)^{1/3}} \frac{t}{u} = \frac{2}{3(225)^{1/3}} \frac{r^2 \mu}{\rho}. \quad (7)$$

Отримані співвідношення свідчать, що в області асимптот часова характеристика виходить на постійні значення, залежні від питомого опору півпростору  $\rho$  та розносу установки  $r$  (повний вигляд інтегральної часової характеристики, нормованої за параметром становлення  $\tau$ , наведений на рис. 1, а). Асимптотична поведінка часової характеристики дозволяє однозначно визначити питомий опір півпростору в інтервалах перехідного процесу, які належать до його ранньої ( $t \rightarrow 0$  – хвильова стадія) та пізньої ( $t \rightarrow \infty$  – стадія ближньої зони) стадій за однотипними, що відрізняються лише коефіцієнтом, досить простими співвідношеннями, відповідно:

$$\rho = \frac{1}{6} \frac{r^2 \mu}{\varphi_0(r, t)}; \quad (8)$$

$$\rho = \frac{2}{3(225\pi)^{1/3}} \frac{r^2 \mu}{\varphi_0(r, t)}. \quad (9)$$

Дослідження співвідношення (5) як функції питомого опору півпростору свідчить, що задача його визначення за часовою характеристикою є коректною в будь-якій стадії перехідного процесу, зареєстрованого на будь-якій відстані від джерела, тобто в будь-якій просторово-часовій області експерименту. Ця примітна обставина дозволяє запропонувати повністю коректний алгоритм визначення ефективного опору, основу якого складає нормування експериментальної часової характеристики  $\varphi(r, t)$  за її теоретичним аналогом для однорідного півпростору  $\varphi_0(r, t)$ , тобто  $\varphi(r, t) = \varphi_0(r, t)$ .

Зручну практичну реалізацію отримання ефективного опору  $\rho_{\text{ef}}$  можна побудувати так: введемо функцію  $F_0(u)$  від безрозмірного параметру  $u$  (нормованого часу) співвідношенням

$$F_0(u) = t/\varphi_0(r, t) \quad (10)$$

і назвемо її нормувальною функцією. Для однорідного півпростору, враховуючи (5), вона набуде вигляду:

$$F_0(u) = \frac{3}{2} u \cdot \frac{\Phi\left(\frac{1}{\sqrt{u}}\right) - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{u}} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{1}{u}\right) e^{-\frac{1}{u^2}}}{\left[\left(1 - \frac{3}{2} u\right) \Phi\left(\frac{1}{\sqrt{u}}\right) + \frac{3}{\sqrt{\pi}} \sqrt{u} e^{-\frac{1}{u^2}}\right]^{2/3}}. \quad (11)$$

Рис. 1. Інтегральна часова характеристика моделі однорідного провідного півпростору (а) та нормувальна функція для визначення ефективного опору (б). Пунктиром і суцільною лінією позначені рання і пізня асимптоти відповідно

Асимптотична поведінка нормувальної функції (11) в областях малих та великих значень змінної  $u$ , з урахуванням (6) та (7), виглядатиме таким чином:

$$F_0(u)|_{u \rightarrow 0} = \frac{3}{2}u; \quad F_0(u)|_{u \rightarrow \infty} = \frac{3(225\pi)^{1/3}}{8}u. \quad (12)$$

Графік функції  $F_0(u)$ , наведений на рис. 1, б, свідчить, що нормувальна функція є однозначно оберненою на додатній піввісі змінної  $u$ . Ця властивість функції дозволяє використовувати її як норму для визначення ефективного опору, причому таку норму, що забезпечує коректність розрахунку  $\rho_{\text{еф}}(t)$  в довільній просторово-часовій області електромагнітного експерименту.

Безпосередня практична реалізація розрахунку ефективного опору  $\rho_{\text{еф}}(t)$  зводиться, таким чином, до чисельного розв'язку рівняння

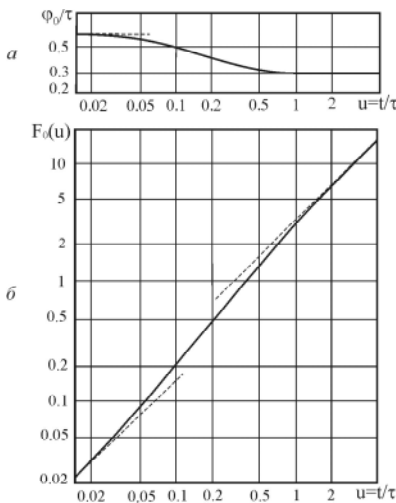
$$t/\varphi(r,t) - F_0(u) = 0 \quad (13)$$

відносно безрозмірного параметра  $u$  і подальшого визначення на цій основі значень ефективного опору у вигляді:

$$\rho_{\text{еф}}(t) = \frac{r^2 \mu u}{4t}. \quad (14)$$

В асимптотичних областях, де поведінка функції  $F_0(u)$  визначається співвідношеннями (12), визначення  $\rho_{\text{еф}}(t)$  значно спрощується. Аналіз нормувальної функції в її асимптотичних областях дозволяє зробити висновок про правомірність застосування наступних асимптотичних алгоритмів визначення ефективного опору, що забезпечують розрахунок  $\rho_{\text{еф}}(t)$  з точністю вище 1 % :

$$\rho_{\text{еф}}(t) = \frac{1}{6} \cdot \frac{r^2 \mu}{\varphi(r,t)}, \quad \text{при } t/\varphi(r,t) \leq 0,05; \quad (15)$$



$$\rho_{\text{эф}}(t) = \frac{2}{3(225\pi)^{1/3}} \cdot \frac{r^2 \mu}{\varphi(r, t)} \quad \text{при } t/\varphi(r, t) \geq 10, \quad (16)$$

Розглянута методика розрахунку ефективних опорів, що заснована на використанні інтегральних часових характеристик перехідних процесів, збуджених електричним диполем, повністю придатна і для аналізу електромагнітного зондування співвісною установкою, де у якості джерела застосовується незаземлена кругла петля.

**Часові характеристики для моделі тонкого провідного шару.** Визначення ефективної провідності. Для забезпечення логічно цілісної та системи представлення і аналізу інформації в методі становлення поля, викладеній вище, проаналізуємо можливість визначення ефективної позовжньої провідності  $S_{\text{эф}}(t)$  шляхом нормування інтегральної часової характеристики (1) за її теоретичним уявленням для моделі тонкого провідного шару. При цьому теоретичні конструкції будемо розглядати для двох варіантів нормувальних моделей: а) джерело та індукційний датчик, приземлені на тонкому шарі; б) джерело і датчик, підняті над тонким шаром на деяку висоту  $h$ . Як показали теоретичні розрахунки, а також практичний досвід застосування розробленої методики отримання кривих  $S_{\text{эф}}(t)$ , алгоритми, базовані на використанні першого варіанту нормувальної моделі доцільніше використовувати для аналізу електромагнітного зондування в дальній зоні джерела збудження (метод зондування становленням поля в дальній зоні (ЗСД)), а другого – при обробці й аналізі результатів зондування становленням поля в ближній зоні (метод ЗСБ).

Раціональність використання дещо відмінних теоретичних норм при отриманні кривих  $S_{\text{эф}}(t)$  у різних модифікаціях ЗС пояснюється такими причинами. Характерною рисою імпульсу становлення поля в дальній зоні є його динамічна виразність, обумовлена суттєвим впливом хвильової стадії перехідного процесу, за характером якої безпосередньо на якісному рівні можна оцінити структуру геоелектричного розрізу. За цих умов застосування досить чутливих способів визначення  $S_{\text{эф}}(t)$  приводить до можливості появи на трансформантах екстремальних особливостей, що, природно, не відповідає умові оптимальності перетворення сигналу в криву  $S_{\text{эф}}(t)$ , адже реальна глибинна залежність сумарної позовжньої провідності є функцією без екстремальних особливостей, що зростає. В зв'язку з цим перший варіант теоретичної норми (приземлені на шар джерело і датчик поля), як менш чутливий, більш доцільний при аналізі даних ЗС у дальній зоні. Другий варіант (джерело і датчик елект-



ромагнітного поля підняті над тонким шаром), більш чутливий, необхідно використовувати при обробці даних зондування становленням поля в ближній зоні, оскільки динамічна виразність інформативних сигналів у ближній зоні джерела досить слабка.

Інтегральна часова характеристика  $\varphi_s(r, t)$  сигналу  $\varepsilon(t)$ , що індукується в контурі піднятого на висоту  $h$  над тонким провідним шаром індукційного датчика магнітного поля при збудженні перехідного процесу електричним диполем, піднятим на ту ж саму висоту [9, 10], визначиться, відповідно (1), у вигляді:

$$\varphi_s(r, t) = \frac{1}{3} \frac{\tau_s}{m}, \quad (17)$$

де  $\tau_s = r\mu S/2$  – параметр становлення поля в тонкому провідному шарі ( $S$  – поздовжня провідність шару);  $m = 2h/r + t/\tau_s$ .

Окремий варіант часової характеристики для випадку приземлених джерела і датчика впливає з (17), в якому висоту підйому установки й індукційного датчика  $h$  вважають рівною нулю ( $h = 0$ ):

$$\varphi_s(r, t) = \frac{1}{3} \frac{r^2 \mu^2 S^2}{4t}. \quad (18)$$

Виключна простота перехідної характеристики в цьому випадку дозволяє отримати простий аналітичний алгоритм однозначного визначення ефективної провідності  $S_{\text{ef}}(t)$  за експериментальною часовою характеристикою  $\varphi(r, t)$ :

$$S_{\text{ef}}(t) = \frac{2}{r\mu} \sqrt{3t\varphi(r, t)}. \quad (19)$$

У випадку піднятої над шаром установки “диполь–петля” пряме аналітичне визначення  $S$  з виразу (17) неможливе, оскільки в ньому присутній ще один невідомий параметр – висота підйому установки  $h$ . В той же час коректність визначення  $S$  при відомій висоті  $h$  практично очевидна. Про це свідчить аналіз нормувальної функції  $F_s(t/\tau_s) = t/\varphi_s(r, t)$ , яка виглядає так:

$$F_s\left(\frac{t}{\tau_s}\right) = 3 \frac{t}{\tau_s} \left(2 \frac{h}{r} + \frac{t}{\tau_s}\right). \quad (20)$$

Неважко переконатись у тому, що вона є однозначно оберненою відносно нормованого часу  $t/\tau_s$ , чим і доведена коректність задачі визначення поздовжньої провідності шару за часовою характеристикою  $\varphi_s(r, t)$ .

Для усунення невизначеності щодо розрахунку поздовжньої провідності  $S$  тонкого шару, спричиненої наявністю параметра  $h$ , доцільно додатково використати нормоване магнітне поле вимикання  $1 - h_z(r, t)$ , яке в рамках розглянутої моделі задачі визначається співвідношенням [9, 10]:

$$1 - h_z(r, t) = \frac{1}{(1 + m^2)^{3/2}}. \quad (21)$$

Розв’язуючи систему рівнянь (17) і (21) отримуємо аналітичний алгоритм визначення ефективної провідності  $S_{\text{еф}}(t)$  у вигляді:

$$S_{\text{еф}}(t) = \frac{6\varphi(r, t)}{r\mu} \sqrt{\frac{1}{[1 - h_z(r, t)]^{2/3}} - 1}. \quad (22)$$

Таким чином, розрахунок ефективної поздовжньої провідності з використанням інтегральних часових характеристик перехідних процесів, збуджуваних електричним диполем, може однозначно виконуватись за аналітичними співвідношеннями, що відповідають двом варіантам вибору нормувальної моделі: а) моделі тонкого шару з розташованою безпосередньо на ньому установкою – за формулою (18); б) моделі тонкого шару з піднятою над ним установкою – за формулою (22).

**Асимптоти кривих індукційних зондувань.** Розглянемо спочатку асимптоти часових кривих ефективного опору  $\rho_{\text{еф}}(t)$ , методика розрахунку яких викладена вище. Відповідь на запитання про ранню асимптоту кривої  $\rho_{\text{еф}}(t)$  є очевидною – для горизонтально-шаруватого розрізу ефективний опір за  $t \rightarrow 0$  виходить на істинний питомий опір першого горизонту  $\rho_1$ . Очевидною є і пізня асимптота кривої  $\rho_{\text{еф}}(t)$  для горизонтально-шарового розрізу, основою якого є кінцевий опір  $\rho_n$  ( $n$  – номер останнього горизонту розрізу). В цьому випадку  $\rho_{\text{еф}}(t)$  за  $t \rightarrow \infty$  виходить на істинний питомий опір основи розрізу  $\rho_n$ . Практично досить важливим є питання встановлення пізньої асимптоти кривої ефективного опору для горизонтально-шарового розрізу, що підстиляється ізолятором. Відомо [4, 9, 10], що для даного варіанту геоелектричного розрізу пізня стадія перехідного процесу аналогічна такій самій стадії для моделі тонкого провідного шару з поздовжньою провідністю, яка дорівнює сумарній поздовжній провідності  $S$  надопорної товщі. Тому для визначення пізньої асимптоти кривої  $\rho_{\text{еф}}(t)$  при збудженні поля електричним диполем слід в асимптотичний алгоритм (16) підставити відповідну часову характерис-

тику для тонкого шару (18). В результаті отримаємо пізню асимптоту кривої ефективного опору  $\rho_{\text{еф}}(t)$  у вигляді:

$$\rho_{\text{еф}}(t) \Big|_{\substack{t \rightarrow \infty \\ \rho_n \rightarrow \infty}} = \frac{8}{(225\pi)^{1/3}} \frac{t}{\mu S^2} \approx 0,898 \frac{t}{\mu S^2}. \quad (23)$$

Якщо розріз представлений тонким шаром з провідністю  $S$ , крива ефективного опору крім пізньої асимптоти (23) має і ранню асимптоту, яку доцільно назвати хвильовою. Для отримання аналітичного співвідношення хвильової асимптоти  $S$  скористаємося формулою для визначення  $\rho_{\text{еф}}(t)$  в області ранніх часів, в яку виконати підставити ранню асимптоту часової характеристики тонкого шару, збуджуваного опущеним на шар джерелом (18). В результаті отримаємо хвильову асимптоту кривої  $\rho_{\text{еф}}(t)$  у вигляді:

$$\rho_{\text{еф}}(t) \Big|_{t \rightarrow 0} = \frac{2t}{\mu S^2}. \quad (24)$$

На рис. 2, б наведена повна часова крива ефективного опору (у відносному зображенні) для моделі тонкого провідного шару з нанесеними ранньою і пізньою асимптотами.

Перейдемо до аналізу поведінки кривих ефективної провідності  $S_{\text{еф}}(t)$  в області асимптотичних ранніх і пізніх часів. Пізня асимптота трансформанти  $S_{\text{еф}}(t)$  для горизонтально-шарового розрізу з ізолятором в основі ( $\rho_n = \infty$ ), є очевидною. Враховуючи, що в пізній стадії перехідний процес адекватний становленню поля в тонкому шарі з поздовжньою провідністю, що дорівнює сумарній провідності надопорної товщі, пізня

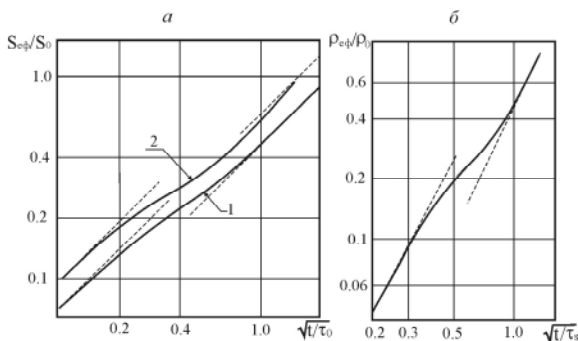


Рис. 2. Часові еталони ефективних геоелектричних характеристик: а – криві ефективної провідності для однорідного півпростору, отримані нормуванням з приземленим (1) і піднятим (2) джерелами збудження ( $S_0 = r/\rho$ ;  $\tau_0 = r^2\mu/(4\rho)$ ); б – крива ефективного опору для моделі тонкого провідного шару ( $\rho_0 = r/S$ ;  $\tau_S = r\mu S/2$ ). Пунктиром і суцільною лінією позначені ранні і пізні асимптоти відповідно

асимптота кривої  $S_{\text{еф}}(t)$ , природно, буде виходити на сумарну позовжно провідність розрізу  $S$ :  $S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow \infty} = S$ .

Важливо знати поведінку трансформанти  $S_{\text{еф}}(t)$  для моделі багатошарового розрізу в області раних стадій перехідного процесу, а також в області пізніх стадій за умови, що основа розрізу має кінцевий питомий електричний опір  $\rho_n$ . В обох випадках аналітичне представлення асимптот кривої  $S_{\text{еф}}(t)$  можна отримати, спираючись на закономірності поведінки інтегральної часової характеристики для моделі однорідного півпростору у відповідних асимптотичних інтервалах часу. При цьому питомий опір такого півпростору на раних стадіях відповідає опору першого горизонту  $\rho_1$ , а на пізніх стадіях – опору основи розрізу  $\rho_n$ .

Ранню асимптоту кривої  $S_{\text{еф}}(t)$ , розраховану з використанням як норми параметрів тонкого провідного шару, збуджуваного приземленим джерелом (електричним диполем), отримаємо шляхом підстановки в алгоритм розрахунку  $S_{\text{еф}}(t)$  (19) представлення часової характеристики (6), в якому  $\rho$  дорівнює  $\rho_1$ . В результаті рання асимптота кривої ефективного опору визначиться:

$$S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow 0} = \sqrt{\frac{2t}{\mu\rho_1}} \approx 1,414 \sqrt{\frac{t}{\mu\rho_1}} \quad (25)$$

Пізню асимптоту трансформанти  $S_{\text{еф}}(t)$ , розраховану в рамках цієї ж нормувальної моделі, отримаємо шляхом аналогічної підстановки в алгоритм (19) відповідного асимптотичного виразу (7) для пізніх стадій часової характеристики однорідного півпростору з питомим опором  $\rho = \rho_n$ . В результаті пізню асимптоту кривої ефективної провідності для горизонтально-шарового розрізу з провідною основою отримаємо у вигляді:

$$S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{2\sqrt{2}}{(15\sqrt{\pi})^{1/3}} \sqrt{\frac{t}{\mu\rho_n}} \approx 0,948 \sqrt{\frac{t}{\mu\rho_n}}. \quad (26)$$

Проаналізуємо тепер рання та пізню асимптоти кривої ефективної провідності, розрахованої шляхом нормування моделлю тонкого шару, збуджуваного піднятим джерелом. Оскільки нормоване за стаціонарним

рівнем магнітне поле ввімкнення  $h_z(t) = \int_0^t \varepsilon(t) dt / \int_0^\infty \varepsilon(t) dt$  в області ранняї стадії ( $t \rightarrow 0$ ) є малою величиною (як свідчить аналіз

$h_z(r, t)|_{t \rightarrow 0} = 6t\rho_1/(r^2\mu)$ ), то визначення  $S_{\text{еф}}(t)$  (22) в межах цього часового інтервалу може виконуватися за наступним асимптотичним алгоритмом:

$$S_{\text{еф}}(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{6}{r\mu} \varphi(r, t) \sqrt{h_z(r, t)} = 12\varphi(r, t) \sqrt{t\rho_1} / \left( r^2\mu^{3/2} \right). \quad (27)$$

Підставивши у (27) асимптотичне представлення інтегральної часової характеристики однорідного півпростору (6) з питомим опором  $\rho_1$ , отримуємо ранню асимптоту ефективної поздовжньої провідності у вигляді:

$$S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow 0} = 2\sqrt{\frac{t}{\mu\rho_1}}. \quad (28)$$

Пізня асимптота кривої  $S_{\text{еф}}(t)$  може бути отримана, якщо врахувати, що нормоване магнітне поле вимкнення в інтервалі пізніх стадій є достатньо малою величиною:  $(1 - h_z(r, t))|_{t \rightarrow \infty} \rightarrow 0$ . Тоді формула (22) для розрахунку  $S_{\text{еф}}(t)$  набуває вигляду:

$$S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{6}{r\mu} \frac{\varphi(r, t)}{[1 - h_z(r, t)]^{1/3}}. \quad (29)$$

Для визначення пізньої асимптоти кривої  $S_{\text{еф}}(t)$  у випадку моделі багатошарового розрізу, що його підстилає шар з кінцевим опором  $\rho_n$ , слід у (29) виконати підстановку пізніх ( $t \rightarrow \infty$ ) асимптот як часової характеристики однорідного півпростору, питомий опір якого відповідає опору основи розрізу ( $\rho = \rho_n$ ), так і нормованого магнітного поля вимкнення  $1 - h_z(r, t)$  для цієї ж моделі. Пізня асимптота часової характеристики представлена співвідношенням (7), а нормоване магнітне поле вимкнення  $1 - h_z(t)$  в області пізніх стадій для моделі однорідного півпростору може бути виражене:

$$1 - h_z(t)|_{t \rightarrow \infty} = \frac{1}{15\sqrt{\pi}} \left( \frac{r^2\mu}{t \cdot \rho_n} \right)^{3/2}; \quad (30)$$

Виконавши ці підстановки, отримуємо пізню асимптоту кривої ефективної провідності у вигляді:

$$S_{\text{еф}}(t)|_{t \rightarrow \infty, \rho_n \neq \infty} = \frac{4}{(15\sqrt{\pi})^{1/3}} \sqrt{\frac{t}{\mu\rho_n}} \approx 1,34 \sqrt{\frac{t}{\mu\rho_n}}. \quad (31)$$

Порівняння ранніх і пізніх асимптот часових кривих ефективної провідності  $S_{\text{еф}}(t)$ , отриманих шляхом нормування моделлю тонкого провідно-

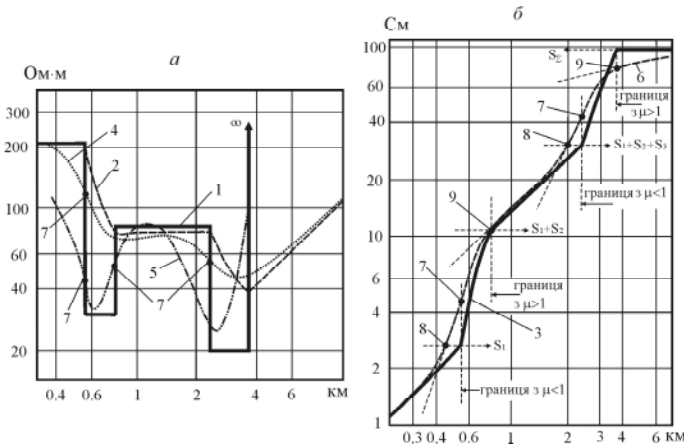


Рис. 3. Криві ефективного і інтерпретаційного опорів (а) та ефективною поздовжньої провідності (б): 1 – модель геоелектричного розрізу; 2, 3 – глибинні функції середнього поздовжнього опору та сумарної поздовжньої провідності розрізу; 4, 5 – графіки ефективних поздовжнього та інтерпретаційного опорів; 6 – графік ефективною поздовжньої провідності; 7, 8, 9 – особливі точки на кривих: перегинів (7), вигнутості (8), опуклості (9). Параметри розрізу:  $h_1 = 560$  м,  $\rho_1 = 210$  Ом·м,  $S_1 = 2,7$  см;  $h_2 = 240$  м,  $\rho_2 = 30$  Ом·м,  $S_2 = 8,0$  см;  $h_3 = 1600$  м,  $\rho_3 = 80$  Ом·м,  $S_3 = 20$  см;  $h_4 = 1300$  м,  $\rho_4 = 20$  Ом·м,  $S_4 = 65$  см;  $h_5 = \infty$ ,  $\rho_5 = \infty$

го шару, збуджуваного приземленим (25, 26) і піднятим (28, 31) джерелами, свідчить, що їх часові функції фактично є тотожними, відрізняючись кількісно в  $\sqrt{2}$  рази. На рис. 2, а наведені у відносному зображенні криві  $S_{\text{еф}}(t)$  для моделі однорідного півпростору, отримані шляхом нормування моделлю тонкого провідного шару, збуджуваного приземленим і піднятим джерелами. Можна вважати, що запропоновані алгоритми трансформації інформативних імпульсів становлення магнітного поля в криві  $S_{\text{еф}}(t)$  задовольняють критеріям оптимальності перетворення сигналу, оскільки відмічається монотонне зростання ефективною поздовжньої провідності з часом, що відповідає самому принципу індукційних електромагнітних зондувань.

Деякі відмінності в кількісних параметрах ранніх і пізніх часових асимптот кривих індукційних зондувань при однакових їх функціональних характеристиках знаходять своє тлумачення у відмінних особливостях ранньої (хвильової) і пізньої (ближньої зони) стадій перехідного процесу. В зв'язку з цим повні часові криві  $S_{\text{еф}}(t)$  для однорідного півпростору і  $\rho_{\text{еф}}(t)$  для тонкого шару мають перегини. Цей об'єктивний недолік часової форми зображення кривих зондувань усувається завдяки представленню зон-

дувальних кривих у масштабі ефективної глибини  $h_{\text{еф}}(t)$ . Остання вводить звичайним узгодженим взаємозв'язком  $h_{\text{еф}}(t) = \rho_{\text{еф}}(t) \cdot S_{\text{еф}}(t)$  і тому немає необхідності в окремому розгляді її асимптотичної поведінки. Можна вважати, що глибинні зондувальні криві  $\rho_{\text{еф}}(h_{\text{еф}})$  і  $S_{\text{еф}}(h_{\text{еф}})$  представляють собою певний електромагнітний образ функціональних залежностей середнього поздовжнього опору і сумарної поздовжньої провідності геоелектричного розрізу від глибини.

На рис. 3 наведені глибинні криві ефективного опору і провідності, розраховані за розробленими алгоритмами, у співставленні з модельними кривими геоелектричних розрізів. Як випливає з ілюстрацій, криві зондування в функції ефективних глибин досить близькі до еталонних узагальнених характеристик розрізів. На цих же ілюстраціях представлені інтерпретаційні криві ефективних опорів, розраховані за алгоритмами (4). Вони досить добре відображають модель геоелектричного розрізу і, отже, можуть бути використані для ефективного експрес-інтерпретації даних електромагнітних зондувань.

**Методика візуальної інтерпретації кривих індукційних зондувань.** Питання інтерпретації експериментальних даних в будь-якому методі розвідувальної геофізики, включно з електророзвідкою, завжди належало до найважливіших. Класичний спосіб інтерпретації даних електромагнітного зондування полягає у доборі такої моделі геоелектричного розрізу (заввичай горизонтально-шарової), результат вирішення прямої задачі для якої добре співпадає би з результатами експерименту. Таку інтерпретацію можливо здійснити лише за допомогою сучасних швидкісних обчислювальних машин. Визнаючи за цим напрямком [11] в інтерпретації електромагнітних зондувань пріоритетне значення, ми вважаємо недоцільним нехтувати методами інтерпретації, заснованими на візуальному аналізі експериментальних кривих електромагнітного зондування

Візуальна експрес-інтерпретація кривих електромагнітного зондування базується на встановлених зв'язках характерних особливостей трансформант інформативного сигналу з геометричними і електричними параметрами розрізу. Нами проведено багато розрахунків теоретичних сигналів становлення поля в ближній зоні для установки “петля в петлі” за програмою *MAG* (автори програми – Трегубович Г.М., Могілатов В.С.). Згодом теоретичні сигнали для заданих моделей середовищ були оброблені за авторськими програмами, і отримані таким чином криві ефективного і інтерпретаційного опорів, а також ефективної поздовжньої провідності в глибинному зображенні ретельно проаналізовані. В результаті

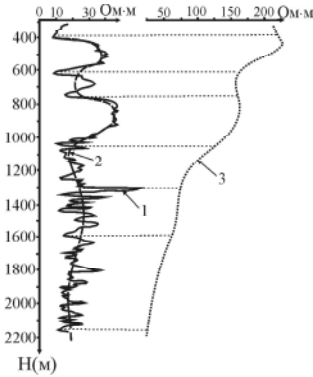


Рис 4. Співставлення даних електрокаротажу з результатом обробки ЗСБ: 1 – каротажна крива позірного опору (потенціал-зонд); 2 – осереднена крива позірного опору; 3 – крива інтерпретаційного опору за даними ЗСБ

аналізу встановлений досить тісний зв'язок особливостей трансформант з характеристиками розрізу, який дозволяє проводити візуальну інтерпретацію кривих зондувань.

Про те, що трансформанти досить добре візуалізують геоелектричний розріз, свідчать не тільки теоретичні розрахунки, але й експериментальні дані. Так, на рис. 4 наведено співставлення даних стандартного електричного каротажу, виконаного потенціал-зондом у одній зі свердловин Центрального Сибіру, з кривою інтерпретаційного опору, отриманою за результатами обробки даних зондування становленням поля в ближній зоні (4) і представленою в ефективному глибинному зображенні. Ми бачимо виразну відповідність особливостей поведінки кривої інтерпретаційного опору характеристикам усередненої кривої електричного каротажу. Співставлення можливе в даному випадку лише на якісному рівні, оскільки крива КС стандартного каротажу має суттєво занижені рівні значень опорів внаслідок впливу високопровідного бурового розчину.

Повернемося до розгляду можливостей візуальної інтерпретації кривих електромагнітного зондування (рис. 4, б). На ньому зображені в білогарифмічному масштабі дві криві: крива зміни сумарної поздовжньої провідності з глибиною (крива 3) – фактично геоелектричний розріз, представлений у вигляді графіка узагальненого параметру, і крива ефективної поздовжньої провідності (крива б), отримана за результатами обробки розрахованого сигналу для заданої моделі розрізу (параметри моделі приведені у підпису до рис. 4, б). Як видно з рис. 4, б, крива ефективної провідності, що виражена в функції ефективних глибин, досить добре відображає реальний геоелектричний розріз. На цій кривій виділяються ділянки з більшими і меншими градієнтами зростання ефективної поздовжньої провідності, що відповідають більш і менш провідним горизонтам геоелектричного розрізу. На кривій можна виділити деякі характерні точки, а саме точки увігнутості, опуклості і перегину. Точки увігнутості розташовані між ділянками кривої з меншими і більшими градієнтами зростання ефектив-



ної провідності і практично співпадають з точками відриву дотичної, проведеної до високоградієнтної ділянки кривої. Незавжди помітити, що ординати точок увігнутості (відриву дотичних) відповідають сумарній поздовжній провідності до покрівлі горизонту підвищеної провідності. Абсциса точки увігнутості відмічає глибину, яка є заниженою в порівнянні з дійсною глибиною до покрівлі провідника приблизно в 1,2 рази. В той же час абсциса точки перегину більш градієнтної ділянки кривої практично співпадає з глибиною поверхні провідника (границя з  $\mu = \rho_{i+1}/\rho_i < 1$ ).

Дуже цінну інформацію дають координати точок опуклості кривої ефективної поздовжньої провідності. Самі точки опуклості розташовані між більш градієнтними і менш градієнтними ділянками кривої  $S_{\text{ef}}(H_{\text{ef}})$  і фактично співпадають з точками відриву дотичних, проведених до ділянок з меншим градієнтом зростання ефективної провідності. Координати точок опуклості з точністю не нижче 10 % дають нам значення сумарної поздовжньої провідності і глибини поверхні високоомного горизонту (границя з  $\mu = \rho_{i+1}/\rho_i > 1$ ). Причому, якщо високоомний горизонт потужний, а його питомий опір високий (прямує до нескінченності), що відображає наявність “площинки” на кривій ефективної поздовжньої провідності, то визначену за проміжною точкою опуклості сумарну поздовжню провідність необхідно збільшити в 1,1 рази, або визначити за рівнем “площинки”. Сумарна поздовжня провідність всього розрізу визначається за ординатою останньої точки опуклості, при цьому отримане значення множиться на коефіцієнт 1,2. Якщо є чіткий вихід кривої на горизонтальний рівень, то сумарна поздовжня провідність розрізу визначається за ним.

Візуальна інтерпретація зондування становленням поля в ближній зоні може бути виконана також за кривими ефективних і інтерпретаційних опорів, представлених як функції ефективних глибин. Аналіз теоретичних розрахунків свідчить, що мінімуми кривих інтерпретаційних опорів відмічають значення глибини, які практично відповідають дійсній глибині залягання покрівлі провідних горизонтів (у більшості випадків вони завищені на 5–10%). Ці ж значення вказують точки перегину кривих ефективних опорів (рис. 4, а). У випадку наявності в розрізі високопровідних тонких шарів точка мінімуму інтерпретаційного опору відбиває середину (центр провідності) даного шару. Відмітка підосів провідних шарів (покрівель високоомних горизонтів) припадає на абсциси мінімумів кривих ефективних опорів (або точок перетину кривих інтерпретаційних і ефективних опорів). При цьому, якщо провідні шари потужні, то визначене таким чином значення глибини є заниженим у 1,15–1,2 рази. Про ступінь потужності провідника

можна судити за різницею абсцис точок перегину і мінімуму кривої ефективного опору. Якщо мінімум кривої ефективного опору невиявний (або відсутній), то глибину до підшови провідника краще визначати за точкою перегину кривої інтерпретаційного опору (рис. 4, *a*). Достатньо точну оцінку питомих електричних опорів шарів дають екстремальні значення інтерпретаційних опорів. Питомий електричний опір першого шару оцінюється за початковою гілкою кривої ефективного опору.

Візуальна інтерпретація даних електромагнітного зондування здійснюється комплексно за кривими ефективного та інтерпретаційного опорів та ефективною провідністю. Результати інтерпретації не повинні бути суперечливими та мають бути перевірені розрахунком прямої задачі та співставленням результатів обробки еталонних сигналів з результатами обробки експериментальних даних. Зрозуміло, що такий контроль для кожної точки ЗСБ є обтяжливим і забирає багато часу, отже доцільно здійснювати машинний контроль для груп точок зондування з однотипними кривими.

На рис. 5 наведений приклад співставлення кривих  $\rho_{\text{еф}}(h_{\text{еф}})$  і  $S_{\text{еф}}(h_{\text{еф}})$ , отриманих у результаті трансформації експериментальних сигналів становлення поля, з аналогічними кривими, отриманими в результаті трансформації імпульса становлення поля, розрахованого для геоелектричного розрізу, параметри якого отримані за результатами візуальної інтерпретації експериментальних кривих. Ілюстрації свідчать про достатньо якісне співпадіння експериментальних і розрахункових кривих. Аналіз відповідних розрахунків для різних геоелектричних розрізів свідчить, що наведена методика є прийнятною в широкому класі моделей горизонтально-шаруватих середовищ.

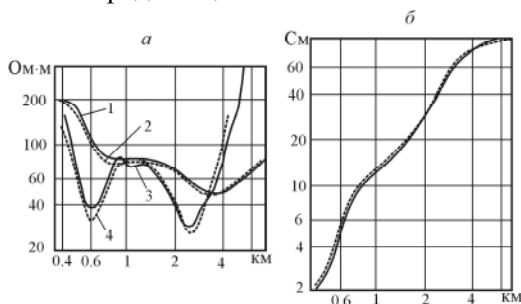


Рис. 5. Співставлення експериментальних кривих з еталонними, розрахованими за результатами візуальної інтерпретації: *a* – криві ефективного  $\rho_{\text{еф}}$  (1, 2) та інтерпретаційного  $\rho_i$  (3, 4) опорів; *b* – криві ефективною поздовжньої провідності  $S_{\text{еф}}$ . Пунктиром і суцільною лінією позначені еталонні та експериментальні криві відповідно

Побудова геоелектричних розрізів здійснюється за результатами візуальної інтерпретації кривих електромагнітного зондування. При цьому виділяють тільки ті горизонти, які мають надійну кореляцію на значних ділянках профілю. Поява на кривих зондувань “випадкового горизонту”, який не має кореляційного зв’язку з експериментальними даними на сусідніх точках, пояснюється, очевидно, спотворюючим впливом локальних неоднорідностей верхньої частини розрізу (ВЧР). Попри це на кривих електромагнітного зондування виділені узагальнені електричні шари й у верхній частині розрізу, що створює можливість геоелектричних побудов.

Крім геоелектричних розрізів, побудова яких здійснюється за результатами візуальної інтерпретації кривих електромагнітних зондувань, важливе значення для комплексної інтерпретації електромагнітних спостережень мають глибинні розрізи інтерпретаційних і ефективних опорів. Суттєвим результатом цих побудов є можливість оцінити основні закономірності зміни пластових опорів, оцінити ступінь однорідності геоелектричних горизонтів, здійснити виділення блоків порід з різними електричними властивостями, а в комплексі з іншими інформаційними характеристиками забезпечити картування наявності зон тектонічних порушень.

**Висновки.** Виконані дослідження спрямовані на вдосконалення алгоритмів та методики аналізу даних імпульсного електромагнітного експерименту, від стану яких істотно залежить ефективність геоелектричних досліджень.

Розроблена уніфікована система індукційного аналізу перехідних процесів, заснована на використанні інтегральних часових характеристик нестационарних магнітних полів, дозволяє виконувати оптимальну візуалізацію структури геоелектричного розрізу в довільній просторово-часовій області електромагнітного експерименту.

Також розроблена методика візуальної експрес-інтерпретації ефективних геоелектричних характеристик, яка дозволяє на попередньому етапі інтерпретації достатньо надійно оцінювати параметри геоелектричного розрізу і виконувати відповідні геоелектричні побудови.

Апробація методики експрес-інтерпретації зондування становленням поля в ближній зоні на результатах математичного моделювання та експериментальних даних підтверджує ефективність виконаних розробок.

1. *Ваньян Л.Л.* Основы электромагнитных зондирований. – М.: Недра, 1965. – 108 с.
2. *Ваньян Л.Л.* Становление электромагнитного поля и его использование для решения задач структурной геологии. – М.: Наука, 1966. – 103 с.
3. *Ваньян Л.Л.* Электромагнитные зондирования. – М.: Научный мир, 1997. – 218 с.
4. *Сидоров В.А.* Импульсная индуктивная электроразведка. – М.: Недра, 1985. – 192 с.

5. *Каменецкий Ф.М., Новиков П.В., Тимофеев В.М.* Использование дифференциальных трансформаций для качественной интерпретации данных метода переходных процессов // *Физика Земли.* – 1993. – № 7. – С. 91–96.
6. *Гроза А.А., Рева Н.В.* Временные характеристики становления магнитного поля дипольного источника // *Геофизический сб.* – 1974. – Вып. 61.
7. *Рева М.В., Руденко Т.В.* Про використання повних формул перехідних процесів для нормування інформативних сигналів в методі становлення поля // *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка.* – Геологія. – 2003. – Вип. 26.
8. *Рева М.В., Руденко Т.В.* Интегральные характеристики индукционной петли над однородным проводящим пространством // *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка.* – Геологія. – 2002. – Вип. 23. – С. 26–30.
9. *Гроза А.А.* Переходные процессы в тонких проводящих слоях // *Геофизический сб.* – 1976. – Вып. – 72. – С. 30–44.
10. *Шейнман С.М.* Становление электромагнитных полей в Земле // *Прикладная геофизика.* – 1947. – Вып. 3. – С. 3–55.
11. *Эпов М.И., Ельцов И.Н.* Прямые и обратные задачи геоэлектрики в одномерных средах. – Новосибирск: Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии СО РАН, 1992. – Препр., № 2. – 30 с.

**Трансформация информативных сигналов становления поля в эффективные геоэлектрические параметры с использованием интегральных временных характеристик переходных процессов** Н.В. Рева, Т.В. Руденко, Н.С. Егорова, Л.П. Андриевская

**РЕЗЮМЕ.** В работе предложена методика трансформации информативных сигналов, которые в соответствии с методом становления поля регистрируют индукционные датчики, в эффективное сопротивление и продольную проводимость. Трансформация сигналов основана на использовании их интегральных переходных характеристик. Показано, что данный подход может обеспечивать оптимальную обработку и визуальный анализ информативных сигналов в любой пространственно-временной области экспериментальных наблюдений.

**Ключевые слова:** переходный процесс, временная характеристика, магнитное поле, геоэлектрический разрез, индукционный датчик.

**Field formation informative signals transformation to the effective geoelectrical parameters using integral characteristics of transitional processes** M.V. Reva, T.V. Rudenko, N.S. Egorova, L.P. Andrievska

**SUMMARY.** A method of informational signals transformation, which are registered using the method of field formation, to the effective resistance and longitudinal conductance is proposed. Signal transformation is based on the use of their integral transitional characteristics. We show that this approach can provide optimal processing and visual analysis of informative signals in any spatio-temporal area of the experimental observations.

**Keywords:** transient process, time behaviour, magnetic field, geoelectric profile, induction sensor.