

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»
ГІРНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГЕОТЕХНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ПО КУРСУ
«ОСНОВИ ГЕОФІЗИКИ»

для студентів денної та заочної форм навчання
ОС «бакалавр» спеціальності 103 Науки про землю

Луцьк–2022

УДК 550.3(072)

Основи геофізики: Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи геофізики» для студентів денної та заочної форм навчання ОС «бакалавр» спеціальності 103 Науки про землю [Електронний ресурс] /уклад. В.І. Альохін, Н.О. Черненко. – Луцьк.: ДонНТУ, 2022. – 44 с.

Методичні рекомендації містять теоретичний матеріал, рекомендації щодо організації, методики і послідовності виконання практичних робіт та націлені на надання студентам допомоги у виконанні практичних робіт з дисципліни «Основи геофізики».

Укладач: Альохін В.І д.г.н., доцент, в.о. зав. кафедри геотехнічної інженерії; Черненко Н.О. асист. кафедри геотехнічної інженерії.

Рецензент: Мерзлікін А.В., Декан гірничого факультету ДонНТУ, доцент, кандидат технічних наук

Відповідальний за випуск: Альохін В.І – в.о. зав. кафедри геотехнічної інженерії

Затверджено навчально – методичним відділом ДонНТУ, протокол № 2 від « 25 » жовтня 2022 р.

Розглянуто на засіданні кафедри геотехнічної інженерії, протокол №8 від «20» жовтня 2022 р.

©ДонНТУ, 2022 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	E
rror! Bookmark not defined.	
1. Визначення гравітаційного поля Землі	Error! Bookmark not defined.
2. Розв'язання прямої та зворотної задачі гравірозвідки для геологічних аналогів тіл правильної геометричної форми.....	11
3. Розв'язання прямої та зворотної задачі магніторозвідки для геологічних аналогів тіл правильної геометричної форми.....	15
4. Інтерпретація кривих вертикального електричного зондування ...	20
5. Сейсмічні дослідження для пошуків корисних копалин. Прямі, відбиті і заломлені хвилі та їх годографи.....	26
6. Геофізичні методи дослідження свердловин. Геолого-геофізична інтерпретація результатів геофізичних досліджень в свердловинах.....	33
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	44

ВСТУП

Виконання практичних робіт є важливим етапом підготовки фахівців до майбутньої практичної діяльності у сфері пошуків та розвідки родовищ корисних копалин. Геофізика — комплекс наук про фізичні властивості Землі й фізичні процеси, які відбуваються в атмосфері, гідросфері та літосфері під впливом внутрішніх сил Землі й космічних тіл. При виконанні практичних робіт студенти знайомляться з основами геофізичних методів і їх місцем загальному комплексі геологічних досліджень. Роль геофізичних методів при рішенні геологічних завдань настільки значна, що геофізичні методи застосовуються практично на всіх стадіях геологорозвідувальних досліджень.

Метою вивчення дисципліни є ознайомлення з основними методами вивчення складу і структури надр Землі на основі спостережень, виконаних на її поверхні, базовими принципами геофізичних спостережень, обробки та інтерпретації геофізичних даних, а також фізичних та геологічних умов окремих методів геофізики – сейсмології та сейсморозвідки, гравіметрії, магнітометрії, радіометрії, геотермії та ядерної геофізики

В результаті виконання практичних робіт студент повинен вміти розробляти теоретичні моделі геофізичних полів Землі та на їх основі визначати основні параметри Землі; вирішувати пряму та зворотню задачі гравітаційної, магнітної, електромагнітної та

сейсмічної розвідки; проводити інтерпретацію результатів геофізичних досліджень свердловин.

Практична робота

Визначення гравітаційного поля Землі

Мета: вивчення гравітаційного поля Землі, визначення зміни гравітаційного поля на місцевості.

Завдання: визначити залежність сили тяжіння від широти місцевості, висоти місцевості та щільності порід.

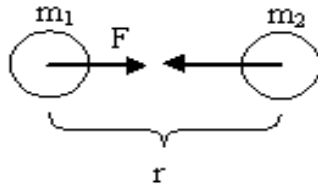
Теоретичні відомості

Гравітаційне поле Землі — це поле сили тяжіння, зумовлене тяжінням Землі та відцентровою силою, викликаною її обертанням за добу. Оскільки і гравітація, і відцентрова сила діють постійно, то гравітаційне поле є постійним явищем.

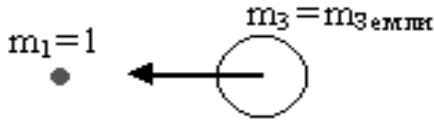
Силою тяжіння називається сила з якою тіла притягаються до Землі.

$$F = f \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (1)$$

де f – гравітаційна стала ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$);



Притягування тіла масою m_1 до Землі підпорядковується закону Ньютона (закон всесвітнього тяготіння):



$$F = f \frac{Mm_2}{R^2}, \quad (2)$$

M - маса Землі;

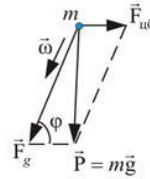
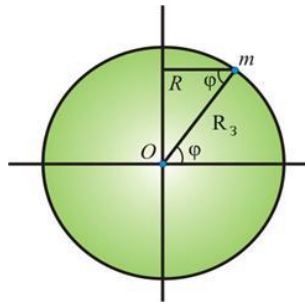
R - відстань між центрами мас (Землі та тіла).

Відцентрова сила, викликана обертанням Землі за добу, перпендикулярна до вісі обертання Землі:

$$P = R\omega^2 R, \quad (3)$$

де ω - кутова швидкість обертання Землі;

$R = R_3 \cos \varphi$ φ – широта місцевості



Величина відцентрової сили змінюється від 0 (на полюсах) до $0,34 \text{ (м/с}^2\text{)}$ (на екваторі).

Через обертання Землі, а також через те, що форма Землі - геоїд , у першому наближенні — еліпсоїд (екваторіальний радіус Землі більший за полярний на 21км), прискорення вільного падіння залежить від географічної широти місцевості.

$$g = f \frac{M}{R_3^2} \approx 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} , \quad (4)$$

Різниця величини радіусів на полюсі та на екваторі призводить до змін напруженості гравітаційного поля ($9,83\text{м/с}^2$) на полюсах $9,78\text{м/с}^2$) на екваторі.

Одиницею вимірювання сили тяжіння в системі СІ є м/с^2 , або позасистемна одиниця Гал. $1 \text{ Гал} = 1 \text{ см/с}^2$.

При розрахунках нормальних значень сили тяжіння Землі прийнято вважати Землю, як тіло правильної геометричної форми. Тому в обчисленнях використовуються формули, як правило для сфероїда або еліпсоїда.

у XVIII столітті французьким математиком Клеро вивів формулу розподілу нормальної сили тяжіння

$\gamma_0 = \gamma_e (1 + \beta_2 \sin^2 B - \beta_1 \sin^2 2B)$, коефіцієнти формули γ_e , β_1 , β_2 визначають за експериментальними даними про гравітаційне поле Землі.

У гравірозвідці вимірювання виконуються за параметром Δg - аномальної сили тяжіння в редукції Буге. Цей параметр є результатом між аномальним $g_{\text{аном}}$ (вимірним) та нормальним $g_{\text{норм}}$ (теоретичним) значенням сили тяжіння. Крім того, в показник g_ϕ вводяться поправки: 1) за вільне повітря g_ϕ , 2) за проміжний шар порід (товщу порід між точкою спостереження поверхнею геоїду або за поправку Буге g_ϕ , 3) за рельєф g_p .

Аномалією сили тяжіння називається різниця між вимірним (спостереженим) значенням сили тяжіння, яке віднесене до деякої поверхні порівняння, та його нормальним або теоретичним.

Показник за вільне повітря g_ϕ або редукція Фая враховується в гравіметричних вимірах як поправка за шар повітря, що знаходиться між точкою спостереження і поверхнею геоїду

Редукція Фая розраховуємо за формулою:

$$g_\phi = 0,3086h, \quad (5)$$

де h – висота місцевості над морем

Параметр g_ϕ вводиться у виміряні значення як поправка за проміжний шар, який ще зветься редукція Буге. Поправка g_ϕ необхідна в тому випадку, якщо виміри проводяться в точці, що

знаходиться вище поверхні геоїду і, отже, проявляється вплив товщі порід заключених між поверхнею геоїду і поверхнею рельєфу

Редукція Буге розраховуємо за формулою:

$$g_6 = -0,0418\sigma h, \quad (6)$$

де σ – щільність порід в надрах місцевості вище поверхні геоїда.

Повна поправка Буге

При застосуванні редукції Буге величезне значення має вибір щільності проміжного шару. У випадку, коли щільність буде заниженою, числові значення аномалії Буге будуть наближатися до аномалій Фая, та може з'явитися пряма кореляція з рельєфом. Як правило за «Інструкцією з гравірозвідки» аномалії обчислюють при двох значеннях щільності 2,3 та 2,67 г/см³. Хоча цілком доречним виглядає введення редукції Буге з реальною щільністю проміжного шару, яку доволі просто отримати за допомогою сучасних програмних засобів. Якщо щільності гірських порід сильно змінюються на території робіт, то при розрахунках редукції Буге вводять для різних ділянок різну щільність.

$$g_a = (0,3086 - 0,0418 \sigma)h, \quad (7)$$

У кінцевому вигляді формула аномальної сили тяжіння в редукції Буге, яка використовується у геофізичній розвідці, включає різницю значень спостереженого і теоретичного полів і суму поправок за вільне повітря, проміжний шар і рельєф:

$$\Delta g = g_{\text{аном}} - g_{\text{норм}} + g_{\text{ф}} + g_6 + g_{\text{р}}, \quad (8)$$

Поправка за рельєф g_p враховується, якщо цей рельєф дуже складний, наприклад, у гірській місцевості.

Значення нормального прискорення сили тяжіння залежить від широти.

Для розрахунку нормального прискорення сили тяжіння використовується формула Р.Ф. Гельмерта

$$g_{\text{норм}} = 978.030(1 + 0.005302\sin^2 B - 0.000007\sin^2 2B) - 14, \quad (9)$$

де $g_{\text{норм}}$ - нормальне значення сили тяжіння (мГл)

B - широта географічна (в градусах) місця точки для якого визначається $g_{\text{норм}}$.

Порядок виконання роботи

1. Визначити залежність сили тяжіння від широти місцевості. Згідно отриманих у викладача координат місцевості, користуючись формулою 9, розрахувати нормальне значення сили тяжіння. По отриманим даним, побудувати графік залежності сили тяжіння від широти, зробити висновки

2. Визначити залежність сили тяжіння від висоти місцевості.

Згідно отриманих у викладача висоти місцевості, користуючись формулою 5, розрахувати редукцію Фая. По отриманим даним, побудувати графік залежності g_ϕ від висоти, зробити висновки.

3. Визначити залежність сили тяжіння від щільності порід.

Згідно отриманих у викладача даних, щодо щільності порід, користуючись формулою 6, розрахувати редукцію Буге. По

отриманим даним, побудувати графік залежності g_b від висоти, зробити висновки.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення поняттю- сила тяжіння?
2. Дати визначення гравітаційному полю?
3. Які поправки вводять при розрахунку аномальної сили тяжіння?
4. Визначити формулу для розрахунку нормального значення сили тяжіння.
5. Дати визначення редукції Буге.
6. Дати визначення редукції Фая.

Практична робота

Розв'язання прямої та зворотної задачі гравірозвідки для геологічних аналогів тіл правильної геометричної форми

Мета: вивчення гравітаційного поля Землі від об'єктів правильної геометричної форми.

Завдання: розрахування прискорення сили тяжіння для кулі; розрахування параметрів аномального об'єкту згідно розрахованого прискорення сили тяжіння.

Для полегшення інтерпретації геофізичних даних у деяких випадках реальні геологічні об'єкти можна апоксимувати тілами правильної геометричної форми.

Рішення прямої задачі гравіметрії для кулі

Рішення прямої задачі гравіметрії полягає у розрахуванні прискорення сили тяжіння g за заданим розподілом аномальних мас. Для розв'язання задачі необхідно знати надмірну щільність, форму і розміри тіла, а необхідно знайти розповсюдження значень прискорення сили тяжіння. Силою тяжіння **F** називається сила, з якою будь-яке тіло притягається до землі. Напруженістю гравітаційного поля або прискоренням сили тяжіння називається сила, що діє на одиницю маси. Напруженість поля -векторна величина.

$$g = \frac{fM}{r^2}, \quad (1)$$

де r – радіус Землі; M – маса Землі; f – гравітаційна стала

$$(6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{с}^2} \text{ або } 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}).$$

Прискорення сили тяжіння для профілю, що проходить через центр елементарного тіла - кулі можна визначити за формулою:

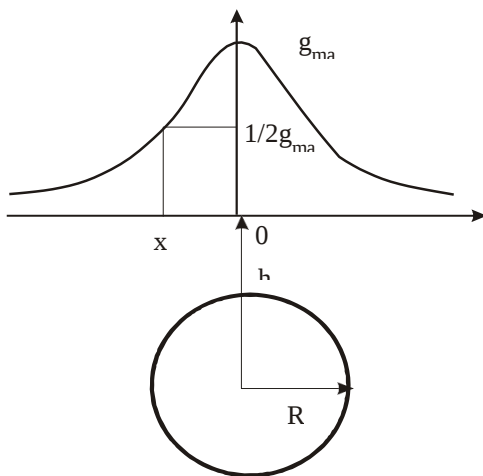
$$g(x) = \frac{fMh}{(x^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (2)$$

де h – глибина до центру кулі (см); x – відстань від початку координат системи до точки спостереження (см); M - надлишкова маса (г),

$$M = V \cdot \sigma = (4 \pi R^3 \sigma) / 3, \quad (3)$$

де V – об'єм кулі (см³); R – радіус кулі (см); σ – надлишкова щільність (г/см³).

$$V = (4 \pi R^3) / 3, \quad (4)$$



Надлишкова щільність - це різниця між щільністю шуканого об'єкта і щільністю вміщуючих порід. Геологічні **об'єкти** аналогії кулі (сфери): гніздоподібні рудні поклади, карстові форми, соляні бані, інтрузії.

Прискорення сили тяжіння вимірюється у см/с² або Гал, 1 Гал = 1 см/с².

Рішення оберненої задачі гравіметрії полягає у вирахуванні глибини залягання об'єкта, його розмірів та надлишкової маси за заданим прискоренням сили тяжіння g .

Глибина залягання центру кулі h визначається по аномалії прискорення сили тяжіння за формулою:

$$h \approx 1,31 * X(0,5) , \quad (5)$$

де $X(0,5)$ – абсциса напівмаксимуму аномалії g .

Надлишкова маса визначається за формулою:

$$M = \frac{g_{max} * h^2}{f} , \quad (6)$$

Радіус кулі можна вирахувати з формули $M = (4 \pi R \sigma)/3$:

$$R = \sqrt[3]{\frac{g_{max} * h^2 * 3}{f * \pi * \sigma * 4}} , \quad (7)$$

Порядок виконання роботи

1. Розрахування прискорення сили тяжіння g для кулі.

Згідно отриманих у викладача даних по аномальному об'єкту (R – радіус кулі, h – глибина до центру кулі, σ – надлишкова щільність) за допомогою формули 2 розрахувати прискорення сили тяжіння g по профілю x : ± 800 м з кроком 100м.

По отриманим даним, побудувати графік для розрахованого прискорення сили тяжіння g для кулі з заданими параметрами.

Уздовж осі абсцисс відкладають значення x в метрах, а вздовж осі ординат – значення g в мГал.

2. Розрахування параметрів аномального об'єкту - кулі.

Згідно отриманих у викладача даних по аномальному об'єкту (прискорення сили тяжіння g по профілю x) за допомогою формул 4,5,7 розрахувати розміри кулі: R – радіус кулі, V – об'єм кулі; h – глибину до центра кулі.

По отриманим даним, побудувати графік прискорення сили тяжіння g для кулі з розрахованими параметрами.

3. Розрахування параметрів аномального об'єкту згідно розрахованого прискорення сили тяжіння.

Згідно результатів отриманих у завданні 1 по аномальному об'єкту (прискорення сили тяжіння g по профілю x) за допомогою формул 4,5,7 розрахувати розміри кулі: R – радіус кулі, V – об'єм кулі; h – глибину до центра кулі.

По отриманим даним, побудувати графік прискорення сили тяжіння g для кулі з розрахованими параметрами. Співставити дані завдання 1, 3 зробити висновки.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення прямої задачі гравіметрії?
2. Дати визначення зворотної задачі гравіметрії?
3. В яких одиницях вимірюється прискорення сили тяжіння?

4. Визначити формулу для розрахунку прискорення сили тяжіння.
5. Визначити формулу для розрахунку об'єму кулі.
6. Визначити формулу для розрахунку радіусу кулі.

Практична робота

Розв'язання прямої та зворотної задачі магніторозвідки для геологічних аналогів тіл правильної геометричної форми

Мета: вивчення магнітних аномалій за заданим розподілом магнітних мас об'єктів правильної геометричної форми.

Завдання: розрахування компонентів магнітного поля від вертикально намагніченої кулі вздовж пофілю, що походить над центром кулі; розрахування параметрів аномального об'єкту згідно отриманих компонентів магнітного поля.

Теоретичні відомості

Рішення прямої задачі магніторозвідки для кулі

Пряма задача магніторозвідки полягає у розрахунку магнітних аномалій за заданим розподілом магнітних мас, що займають обсяг деякого тіла павільної форми (кулі). У деяких випадках реальні геологічні об'єкти можна апоксимувати тілами правильної геометричної форми.

Для розв'язання задачі потрібно знати вертикальну намагніченість J , положення, форму і розміри тіла, а необхідно знайти значення вертикальної Z_a і горизонтальної H_a складової

напруженості магнітного поля на поверхні вздовж пофіля x .
Значення вертикальної Z_a і горизонтальної H_a компоненти
магнітного поля від вертикально намагніченої кулі вздовж пофілю,
що походить над центром кулі, визначаються формулами:

$$Z_a = \frac{M(2h^2 - x^2)}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}, \quad (1)$$

$$H_a = \frac{-3Mhx}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}, \quad (2)$$

де M – магнітний момент кулі ($A \cdot m^2$), x - відстань від початку
координат до точки спостереження (m), h – глибина до центру кулі
(m).

$$M = JV, \quad (3)$$

де J – намагніченість кулі (A/m), V – об'єм кулі (m^3).

$$V = (4 \pi R^3)/3, \quad (4)$$

R - радіус кулі (m).

Вертикальна Z_a і горизонтальна H_a складові напруженості
магнітного поля вимірюються в A/m , на практиці в nTl .

Рішення зворотньої задачі магніторозвідки для кулі

Зворотня задача магніторозвідки для кулі полягає в визначенні за
значенням вертикальної Z_a і горизонтальної H_a компоненти
магнітного поля параметрів кулі h , R , M .

За вертикальною складовою Z_a напруженості магнітного поля можна знайти глибину до центра кулі h :

$$h = 2 * X_{0.5}, \quad (5)$$

де $X_{0.5}$ - абсциса поділеного навпіл максимального значення Z_a .

За горизонтальною складовою H_a напруженості магнітного поля глибина до центра кулі h знаходиться за формулою:

$$h = X_l, \quad (6)$$

де X_l –відстань від максимуму до мінімуму за горизонтальною складовою H_a .

Магнітний момент кулі M можна знайти за формулою:

$$M = \frac{Z_{max} * h^3}{2}, \quad (7)$$

Об'єм кулі:

$$V = \frac{M}{J}, \quad (8)$$

Радіус кулі:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 * V}{4 * \pi}}, \quad (9)$$

Порядок виконання роботи

1. Розрахування вертикальної Z_a і горизонтальної H_a компоненти магнітного поля.

Згідно отриманих у викладача даних по аномальному об'єкту (R – радіус кулі, h – глибина до центру кулі, J – намагніченість кулі) за допомогою формули 1, 2 розрахувати вертикальну Z_a і горизонтальну H_a компоненти магнітного поля по профілю x : $\pm 800\text{м}$ з кроком 100м . По отриманим даним, побудувати графіки.

Уздовж осі абсцис відкладають значення x в метрах, а вздовж осі ординат – значення Z_a і H_a в нТл .

2. Розрахування параметрів аномального об'єкту - кулі.

Згідно отриманих у викладача даних по аномальному об'єкту (вертикальна Z_a компонента магнітного поля по профілю x , J – намагніченість кулі) за допомогою формул 5,7, 8,9 розрахувати розміри кулі: R – радіус кулі, V – об'єм кулі; h – глибину до центру кулі, магнітний момент кулі- M .

По отриманим даним, побудувати графік.

3. Розрахування параметрів аномального об'єкту - кулі.

Згідно результатів отриманих у завданні 1 по аномальному об'єкту (вертикальної Z_a і горизонтальної H_a компоненти магнітного поля) за допомогою формул 5,7, 8,9 розрахувати розміри кулі: R – радіус кулі, V – об'єм кулі; h – глибину до центру кулі, магнітний момент кулі- M .

По отриманим даним, побудувати графіки. Співставити дані завдання 1, 3 зробити висновки.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення прямої задачі магніторозвідки?
2. Дати визначення зворотної задачі магніторозвідки?
3. В яких одиницях вимірюються вертикальна Z_a і горизонтальна H_a складові напруженості магнітного поля?
4. Визначити формулу для розрахунку вертикальної Z_a і горизонтальної H_a складових напруженості магнітного поля.
5. Визначити формулу для розрахунку глибини до центру кулі.
6. Визначити формулу для розрахунку радіусу кулі.
7. Визначити формулу для розрахунку магнітний момент кулі.

Практична робота

Інтерпретація кривих вертикального електричного зондування

Мета: вивчення розподілу електромагнітних полів у земній корі з метою пошуків, розвідки та експлуатації родовищ корисних копалин.

Завдання: побудова та інтерпретація кривих вертикального електричного зондування.

Теоретичні відомості

Електромагнітне поле - це сума електричного та магнітного полів, що призводять до існування в земній корі електромагнітних хвиль. У класичній фізиці електромагнітне

поле описується системою рівнянь Максвелла. Основними параметри поля є:

Е- напруженість електричного поля;

Н - напруженість магнітного поля;

J - щільність струму;

D - електрична індукція;

В- магнітна індукція.

Електромагнітні поля, які вивчаються електророзвідкою діляться на дві групи: природні і штучні.

Взаємодія електромагнітного поля із матеріальними середовищами викликає деформацію цього поля залежно від своїх електричних властивостей.

Електричні властивості:

1) ρ – питомий електричний опір $1/\rho = \sigma$ - питома електропровідність;

2) ϵ – діелектрична проникність;

3) η – поляризованість;

4) μ – магнітна проникність.

Показники ρ , ϵ характеризують здатність виникнення електромагнітних полів у земній корі. Ці показники пов'язані з параметрами поля певними співвідношеннями, які називаються матеріальними рівняннями.

$$J = \sigma \cdot E$$

$$B = \mu \cdot H$$

В основу вирішення прямих (аналітичний розрахунок, фізичне та математичне моделювання) та зворотних (виконання інтерпретації) завдань покладено поняття про геоелектричний розріз, тобто. про розріз у якому кожному геологічному об'єкту надається електричні показники фізичних властивостей (рис 1).

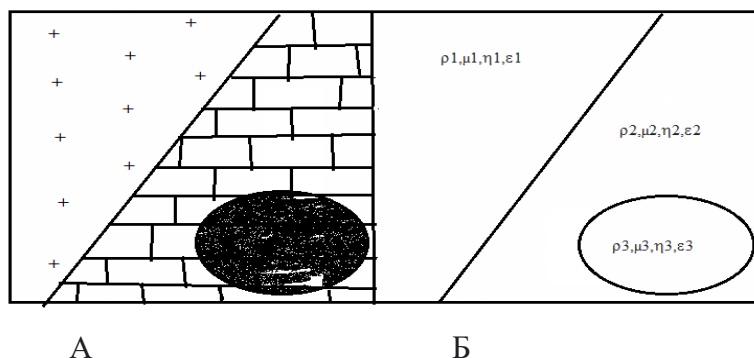


Рис. 1 Геологічний (А) та геоелектричний (Б) розрізи

За електричними властивостями всі природні об'єкти поділяються на:

- 1) Провідники $\rho \rightarrow 0$ та $\epsilon \rightarrow \infty$;
- 2) Напівпровідники $1 \text{ Ом} \cdot \text{м} > \rho > 0$ та $20 \text{ отн. од.} < \epsilon < \infty$;
- 3) Діелектрики $\rho \rightarrow \infty$ та $\epsilon \rightarrow 1$.

Електромагнітне зондування - це друга основна модифікація електророзвідки, мета якої вивчення геологічних розрізів на глибину в заданій точці.

Вертикальне електромагнітне зондування ВЕЗ здійснюється шляхом послідовного збільшення розмірів живильної лінії АВ, коли

кожен наступний рознос збільшується по відношенню до попереднього в 1,5 - 2 рази, що відповідає логнормальному закону, тобто. що більше рознесення (довжина лінії АВ), то більше внесок вторинних зарядів формуються на межах розділів середовищ.

Проведення ВЕЗ зводиться до облаштування на поверхні землі електророзвідувальної установки, яка складається з двох електродів А і В (живильних) і двох вимірювальних (приймальних) М і N електродів, розташованих симетрично щодо центру. Через електроди А і В від батареї або генератора в землю надходить електричний струм силою I , а між приймальними електродами М і N вимірюють різницю потенціалів ΔU . Зробивши перший вимір, збільшують рознесення АВ і знову вимірюють силу струму I і різницю потенціалів U (рис 1).

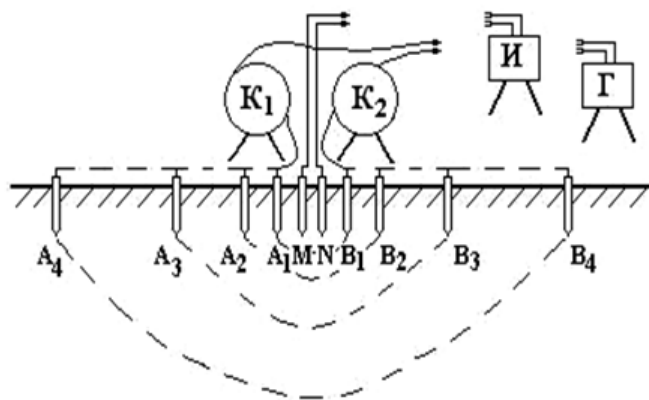


Рис. 2 Схема установки вертикального електричного зондування

(K1,K2 - котушки з дротом; Г - генератор, І - вимірювач, А, В, М, N - живильні та вимірювальні електроди; пунктиром показані струмові лінії)

Електричне зондування виконується постійним або змінним струмом низької частоти. У процесі робіт на кожному розносі за результатами вимірів обчислюють питомий опір:

$$\rho_k = k \frac{\Delta U}{I} ,$$

де k – коефіцієнт встановлення

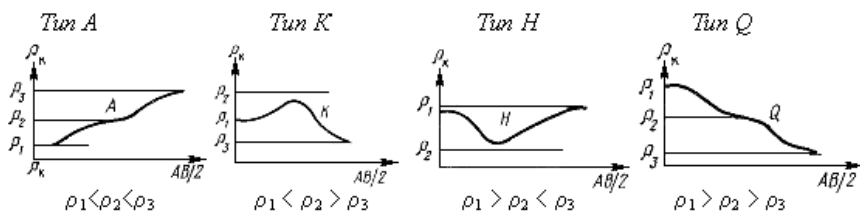
$$k = \pi \frac{AM * AN}{MN}$$

Інтерпретація даних ЕЗ включає аналіз кривих зондування, побудова геоелектричної моделі (розрізу) на основі рішення прямої та зворотної задач і геологічне тлумачення результатів (трансформацію геоелектричного розрізу в геологічний).

Спочатку за результатами польових вимірювань будуються криві ЕЗ в подвійному логарифмічному(білогарифмічному) масштабі (по осях абсис відкладають значення позірних опорів, по осі ординат відстані) з подальшою їх якісною та кількісною інтерпретацією. Основна робоча модель- тришаровий геоелектричний розріз, згідно з яким всі криві зондування поділяються на чотири типи:

- 1) крива типу А: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$;
- 2) крива типу Н: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$;
- 3) крива типу К: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$;

4) крива типу Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$.



Порядок виконання роботи

Згідно отриманих у викладача даних побудувати геоелектричний розріз у подвійному логарифмічному масштабі. По наведеним типам кривих зондування визначити типи кривих геоелектричного розрізу. Пояснити сутність якісної інтерпретації кривих електромагнітних зондувань.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення електромагнітного поля?
2. Дати визначення основних параметрів поля?
3. За електричними властивостями всі природні об'єкти поділяються на...
4. Визначити мету електромагнітного зондування.
5. На які типи поділяються всі криві зондування тришарового геоелектричного розрізу?
6. Визначити формулу для розрахунку питомого опору.

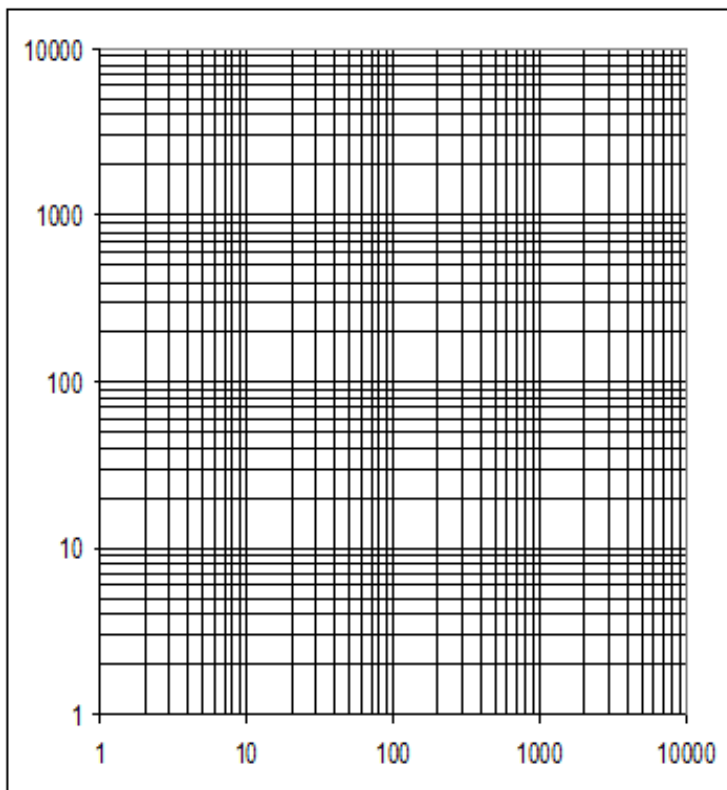


Рис. 6.1. Вигляд білогарифмічного бланку

Практична робота

Сейсмічні дослідження для пошуків корисних копалин.

Прямі, відбиті і заломлені хвилі та їх годографи.

Мета: вивчення типів хвиль та їх годографів, вивчення методу побудування сейсмічних границь.

Завдання: побудування годографів, визначення глибини залягання границі відбиття.

Теоретичні відомості

Сейсморозвідка – це розділ розвідувальної геофізики, в якому вивчаються поля пружних деформацій що відбуваються в геологічних середовищах внаслідок механічних впливів.

Пружністю називається властивість природних об'єктів чинити опір змінам їх обсягів та форм внаслідок механічних напруг. Параметри пружності: Модуль Юнга E

Коефіцієнт Пуассона ν .

Модуль E вимірюється у Паскалях (Па) і виражається формулою:

$$E = R_x / \epsilon_x, \quad (1)$$

де R_x - прикладена напруга за заданим напрямком x , ϵ_x - деформація від прикладеної напруги.

Коефіцієнт ν виражається ставленням міри розтягування-стиснення геологічних об'єктів до їх подовження при додатку розтягуючого навантаження:

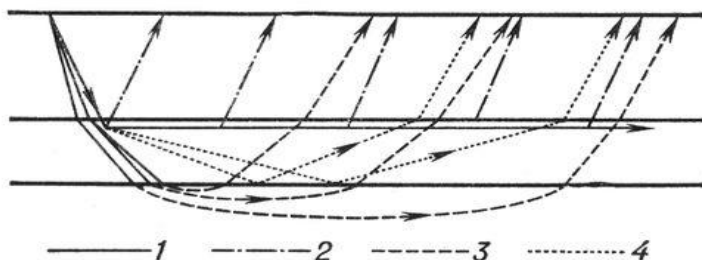
$$\nu = \epsilon_y / \epsilon_x, \quad (2)$$

де ϵ_y, ϵ_x - напрямки координатних осей прямокутної системи.

Поздовжні u_r і поперечні u_s хвилі виникають природних об'єктах в результаті пружних деформацій Ці хвилі називаються об'ємними. Внаслідок процесів розширення-стиснення

виникають поздовжні хвилі; внаслідок процесів зсуву – поперечні

Сейсмічні хвилі що розходяться у всіляких напрямках від джерела пружних (сейсмічних) коливань діляться на хвилі корисні: відбиті та заломлені (головні), та другорядні: дифраговані, інтерференційні та бічні.



1- пряма і хвиля, що проходить

2-відбита головна хвиля

3-заломлена рефрагована хвиля

4-закритична відбита хвиля

В сейсмозвідці користуються часом t і приходу хвилі в точки x і денної поверхні, які є відстанню між пунктами збудження та прийому. Залежність t від x носить назву годографа. Побудова годографів для відомих геологічних моделей це пряме завдання сейсмічної розвідки. Порівняння (підбір) годографів, побудованих за отриманими значеннями, з годографами для модельних середовищ – суть вирішення зворотного завдання сейсмозвідки.

Рівняння годографа для поверхневої (прямої) хвилі:

$$t_1 = \frac{x_1}{v}; t_2 = \frac{x_2}{v}, \quad (3)$$

$$v = \Delta x / \Delta t, \quad (4)$$

де v – швидкість поширення хвилі;

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Рівняння лінійного годографу *відбитих хвиль* для горизонтальної границі:

$$t = \frac{1}{V_1} \sqrt{4h^2 + x^2}, \quad (5)$$

де h - глибина залягання границі

однаковим кутом i .

Рівняння годографа заломлених хвиль для горизонтальної границі:

$$t = \frac{2h}{V_1} \cos i + \frac{x}{V_k}, \quad (6)$$

де V_2 -границна швидкість ($V_2 = V_2$).

Побудувати глибину залягання границі відбиття можна за допомогою методів: засічок, еліпсів, t_0 , кіл.

Метод засічок.

Якщо центром збудження вважається центр O через деякий час (t_1 і t_2) точки прийому (S_1 і S_2) зафіксують відбиті хвилі.

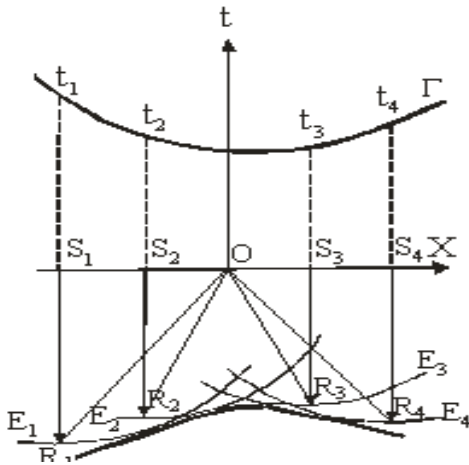
З центрів S_1 і S_2 з радіусом $R_1 = Vt_1$ і $R_2 = Vt_2$ необхідно

Якщо центром збудження вважається центр О через деякий час (t_1 і t_2) точки прийому (S_1 і S_2) зафіксують відбиті хвилі. Довжину відбитої хвилі можна розрахувати за формулою:

За допомогою нитки довжиною L , закріпленої у фокусах O та S відповідного еліпса, олівцем, натягуючи нитку, намічається

еліпс. Розрахунки проводяться для кожної точки S_1 і S_2 .

Границя відбиття – це огинаяча для всіх еліпсів. Для даного методу припускається, що відбита границя криволінійна.

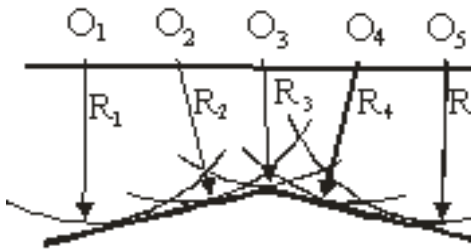


Метод t_0 .

Час за який хвиля проходить від пункту O до границі відбиття та назад вважається t_0 . Глибина відбитих хвиль розраховується за формулою:

$$H = \frac{vt_0}{2}. \quad (8)$$

Маючи декілька годографів будується границя відбиття-огибаюча для кіл радіусом $R=H$.

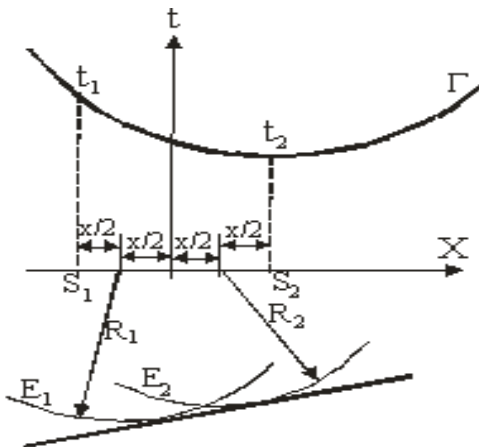


Метод кіл

Для методу кіл припускається, що відбита границя має кут нахилу до 25° . Центр кола у даному методі це середина відрізка O і S . Радіус можна розрахувати за формулою

$$R = \frac{\sqrt{V^2 t^2 - x^2}}{2}, \quad (9)$$

Границя відбиття – це огибаюча для кіл.



Порядок виконання роботи

1. Побудування годографів.

Згідно отриманих у викладача даних розрахувати та побудувати годографи усіх типів хвиль (формули 3,5,6).

2. Побудування границі відбиття.

По годографу отриманому у п. 1, побудувати границю відбиття.

3. Зробити висновки.

Питання для самоконтролю

1. Дати визначення прямої задачі сейсморозвідки?
2. Дати визначення зворотної задачі сейсморозвідки?
3. Описати побудування границі відбиття методом кіл.
4. Описати побудування границі відбиття методом еліпсів.
5. Які існують типи сейсмічних хвиль?
6. Описати побудування границі відбиття методом t_0 .
7. Описати побудування границі відбиття методом засічок.

Практична робота

Геофізичні методи дослідження свердловин. Геолого-геофізична інтерпретація результатів геофізичних досліджень в свердловинах.

Мета: вивчення та інтерпретація методів геофізичних досліджень свердловин.

Завдання: побудування кривих ГДС визначення літології.

Теоретична частина

Геофізичні дослідження свердловин — комплекс фізичних методів, що використовуються для вивчення гірських порід у навколосвердловому та міжсвердловому середовищу, а також для контролю технічного стану свердловин. Геофізичні дослідження свердловин поділяються на дві дуже великі групи методів - методи каротажу та методи свердловинної геофізики. Каротаж, також відомий як промислова або бурова геофізика, призначений для вивчення порід, що безпосередньо примикають до стовбура свердловини (радіус дослідження 1-2 м). Часто терміни каротаж та ГДС ототожнюються, проте ГДС включає також методи, що служать для вивчення міжскважинного простору, які називають свердловинною геофізикою.

Інтерпретація методів ГДС полягає у: 1) обробці діаграм; 2) геофізичній інтерпретації; 3) геологічній інтерпретацію.

Обробка діаграм включає: а) приведення результатів до певних глибин та системи відліків; б) облік та усунення апаратурних та інших перешкод; в) знаходження меж пластів та їх потужності; г) зняття показань.

Геофізична інтерпретація проводиться з метою визначення істинних параметрів, наприклад ρ_p , на основі вирішення зворотної задачі, тобто методом підбору спостережуваної кривої з однією з теоретичних та залученням апріорних даних. Теоретичні криві, наприклад того ж методу КС, є результатом вирішення прямої задачі та виражають залежність ρ_k від різних

визначальних його параметрів (ρ_p – ПЕО(питомий електричний опір) пласта, ρ_c – ПЕО бурового розчину, L_z – довжина зонда зонда (для градієнт-зондів відстань АТ або МО, а для потенціал-зондів – відстань АМ), d_c – діаметр свердловини, $\rho_{ЗП}$ – УЕС зони проникнення, D – діаметр зони проникнення).

Геологічна інтерпретація полягає у визначенні геологічних характеристик розрізу. Зокрема при тлумаченні електричних методів ГДС використовуються обидві модифікації ПО-електропрофілювання одиночними зондами та бічне каротаже зондування (БКЗ). Електропрофілювання застосовують для знаходження меж пластів, а також у сприятливих умовах для літологічного розчленування розрізів, виявлення цільових об'єктів (нафто- газо-, водоколекторів, пластів вугілля, руд тощо). БКЗ використовують визначення кількісних характеристик (коефіцієнтів пористості, нафтогазонасиченості, зольності тощо).

Основні вимоги до проведення якісної інтерпретації:

1) визначення потужності та меж пластів, а також глибин залягання; 2) літологічне розчленування розрізів свердловин; 3) створення для аномальних об'єктів гіпотези про геологічну природу; 4) прийняття рішень про необхідність проведення кількісної інтерпретації та додаткових геолого-геофізичних досліджень.

Точки, що відповідають градієнтам максимального зростання (зменшення) кривих у більшості випадків визначають межі пластів.

Структура ГДС

Методи геофізичних досліджень свердловин поділяються на: геофізичні дослідження нафтогазових свердловин – промислова геофізика, геофізичні дослідження вугільних свердловин, геофізичні дослідження рудних свердловин, геофізичні дослідження інженерних та гідрогеологічних свердловин.

Останнім часом стрімкого розвитку набуває напрямок, що об'єднує методи вивчення геологічного розрізу, розкритого свердловиною, із наземними методами досліджень – свердловинна геофізика.

На відміну від методів ГДС, що вивчають лише навколосвердловинний простір (перші метри у радіальному напрямку від вісі свердловини), свердловинна геофізика дозволяє дослідити міжсвердловинне середовище (вертикальне сейсмічне профілювання, міжсвердловинне прозвучування та ін.). Сучасні досягнення в галузі космічної техніки зробили можливим використання дистанційних зондувань Землі з борту космічних апаратів для вирішення задач як фізики Землі в цілому, так і для вирішення задач прикладної геофізики.

Техніка проведення геофізичних досліджень в свердловинах.

Процес буріння полягає у розбурюванні гірських порід буровим інструментом. Частинки розбуреної гірської породи видаляються на поверхню за допомогою бурового розчину, що постійно циркулює в свердловині під час буріння. За допомогою насосів з поверхні в колону бурильних труб подається буровий розчин, який потрапляє у вибій крізь отвори у долоті (промиваючи його при цьому), підхоплює уламки гірських порід (шлам) і повертається на поверхню із зовнішньої сторони колони бурильних труб.

В якості бурового розчину використовують воду, глинисті та глинисто-вапнякові розчини, емульсійні розчини та розчини на нафтовій основі. Частіше за все використовуються глинисті розчини.

По закінченню буріння та проведення ГДС свердловину укріплюють обсадними металевими колонами.

Гірським породам притаманні різні механічні властивості. Щільні породи при розбурюванні свердловини майже не руйнуються (магматичні породи, пісковики, вапняки, доломіти), тому діаметр свердловини дорівнює номінальному діаметру долота; солі та глинисті породи розмиваються буровим розчином тому діаметр свердловини збільшується (утворюються каверни).

В дослідженнях нафтогазових свердловин найбільший інтерес викликають пористі проникні пласти (пластиколектори), що здатні пропускати крізь себе рідину (воду,

нафту, газ, конденсат) при певних перепадах тиску.

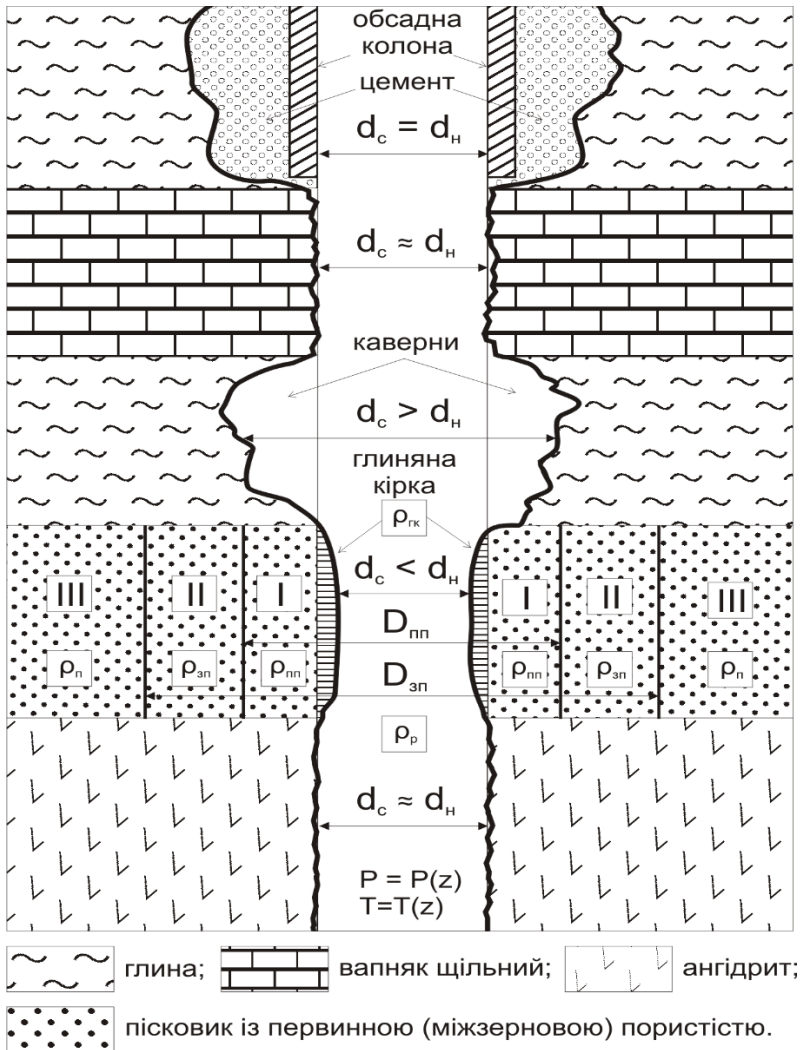


Рис. 1. Модель свердловини, у осадових гірських породах.

Частина проникного пласта, в яку потрапив фільтрат промивальної рідини, називається зоною проникнення.

Найбільш змінена частина пласта поблизу стінки свердловини називається промитою зоною.

Перераховані чинники визначають конструктивні особливості свердловинної апаратури в цілому та її окремих частин. Умови експлуатації свердловинного приладу характеризуються:

1. Свердловинний прилад частіше за все має циліндричну форму це обумовлено тим, що його опускають в свердловини відносно малого діаметру, але значної глибини. Частіше за все, прилад спускається під дією власної ваги. Частина геофізичних досліджень проводять у відкритому стовбурі, оскільки наявність обсадних труб змінює вимірювані фізичні параметри порід але деякі виміри виконують в обсаджений свердловині.

У промисловій геофізиці встановлені наступні діаметри свердловинних приладів: 28, 36, 40, 48, 60, 70, 90 і 100 мм.

Вільний спуск приладу в свердловину ускладнює в'язкість бурового розчину та його виштовхуючи дія, яка стає вельми відчутною при значній питомій вазі розчину і у тих випадках, коли питома вага розчину є близькою або більше середньої питомої ваги каротажного кабелю. Тому в глибоких свердловинах, що буряться на важкому буровому розчині, геофізичні виміри проводять на одножильному броньованому кабелі, середня питома вага котрого складає біля 4.5 г/см^3 .

2. Буровий розчин створює гідростатичний тиск, котрому піддається прилад, занурений у свердловину. Більша частина

нафтових і газових свердловин досягає глибини 3000 м, а максимальна питома вага розчину в них – $1.5-2 \text{ г/см}^3$. В залежності від цільового призначення свердловин встановлені наступні максимальні значення гідростатичного тиску, за якого повинні працювати свердловинні прилади: 200, 600, 1000 й більше за 1000 кг/см^2 .

3. По мірі занурення прилада у свердловину температура зовнішнього середовища змінюється доволі суттєво і зазвичай протягом незначного проміжку часу.

На глибині свердловини біля 3000 м температура на вибої сягає $100-120 \text{ }^\circ\text{C}$. В глибоких і надглибоких свердловинах температура на вибою може досягати $200-250 \text{ }^\circ\text{C}$ тому свердловинні прилади повинні працювати за температур: 50, 120, 200 і більше $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Буровий розчин, в якому знаходиться свердловинний прилад, негативно впливає на матеріали з яких виготовлений прилад викликаючи корозію металів, електролітичні процеси тощо.

5. В процесі вимірів свердловинний прилад зазнає значних механічних впливів при опусканні та підніманні приладу та при транспортуванні.

Специфічні умови експлуатації свердловинної апаратури полягають у тому, що в процесі вимірів свердловинні і наземні прилади знаходяться один від одного на значній відстані. Внаслідок цього операції, що виконуються за допомогою цієї

апаратури, являють собою телеметричні (дистанційні) виміри. Наявність доволі протяжної лінії зв'язку, котрою являється каротажний кабель при великих глибинах досліджень, накладає на телевимірювальну систему свердловинної апаратури доволі жорсткі вимоги, необхідні для досягнення потрібного діапазону і точності вимірів.

Умови вимірювань впливають на результати ГДС і тому обов'язково мають бути враховані при обробці та інтерпретації отриманих даних.

Означені задачі вирішуються за допомогою методів досліджень та спеціальних робіт у свердловинах.

Інтерпретації даних ГДС

Інтерпретації даних ГДС поділяється на:

- редагування цифрових записів;
- перегляд, виправлення узгодження каротажних кривих за глибиною;
- створення, заповнення та редагування попластової бази даних (розріз свердловин розбивається на стратиграфічні шари й однорідні пропластки);
- відбиття границь прошарків, аналіз результатів, редагування;
- знімання відліків геофізичних параметрів, їх коригування;

- оцінку якості методів, визначення опору промивальної рідини, та пластів-колекторів по комплексу БКЗ+БК+ІК;

- визначення літології, глинистості, оцінка фільтраційно-ємкісних властивостей гірських порід та колекторів (пористості і її типів, проникливості, коефіцієнтів насичення та інших підрахункових параметрів продуктивних горизонтів), обчислення зведених характеристик пластів;

- формування оперативного геофізичного заключення за даними ГДС та графічних додатків.

Крім того, комп'ютеризовані технології дозволяють виконувати етапи зведеної інтерпретації, які включають:

- побудову кореляційних профілів, перетинів;
- побудову карт геофізичних поверхонь;
- автоматизований підрахунок запасів вуглеводнів;
- побудову геологічної моделі нафтогазового родовища.

Визначення границь та літології

Автоматичне виділення границь пластів поділяється на два варіанти рішень. Перший використовує симетричні криві ГДС та рекомендується для літологічного розчленування. Другий режим роботи програми передбачає виділення границь пластів по асиметричних (градієнт-) зондах з використанням методу суттєвих екстремумів.

Після видвлєння границь пластів визначаються значєння геофізичних параметрів.

Для різних типів зондів значєння знімаються за різними правилами . З градієнт-зондів знімаються оптимальні та екстремальні значєння, з симетричних зондів - екстремальні та середні значєння залежно від співвідношення потужності пласта та довжини зонду. У відліки по шарах обмеженої товщини вносяться поправки за вплив вміщуючих порід.

За допомогою геофізичних програм вирішується широке коло завдань: оцінка пористості, глинистості, проникливості, нафтогазонасиченості по окремих геофізичних параметрах чи їх комплексу; виділення колекторів та основних літотипів гірських порід розрізу.

Порядок виконання роботи

Згідно отриманих у викладача даних побудувати криві ГДС. За допомогою побудованих кривих визначити границі шарів гірських порід та описати літологічний склад.

Питання для самоконтролю

1. Розкрити поняття геофізичні дослідження свердловин?
2. На які Методи поділяються геофізичні дослідження свердловин?
3. Який буровий розчин використовують при бурінні свердловин?
4. Описати етапи інтерпретації даних ГДС.

5. Геолого-технологічні дослідження поділяються на..
6. Які чинники визначають конструктивні особливості свердловинної апаратури?

Література

1. Толстой М.І. Основи геофізики: Підручник [Текст] / М.І. Толстой, А.П. Гожик, М.В. Рева та ін. – К.: Вид. поліграф. центр «Київський університет», 2006. – 446 с.
2. Фурман В.В. Основи геофізики (фізика Землі): навчальний посібник з практикуму для студентів геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка / укл. : В.В. Фурман, Ю.М. Віхоть, О.М. Павлюк. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2016. –104 с.
3. Продайвода Г.Т., Трипільський О.А., Чулков С.С. Сейсморозвідка: підручник – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 351 с.
4. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики: Підручник. – К.: „Карбон Лтд”, 2000. – 248 с.
5. Вижва С. А. та ін. Ядерна геофізика : підручник для студ. геологічних спец. вищ. навч. закладів / ред. Л. Воронцова. — К. : Вид-во КНУ ім. Тараса Шевченка, 2012. — 607 с.