

УДК 53.06

НЕПРЯМЕ ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ВОДОЙМИ СЕЙСМОЕЛЕКТРИЧНИМ МЕТОДОМ

П. Анахов, завідувач навчальної лабораторії,
О. Анахова, доцент,
Державний університет телекомунікацій, м. Київ

До основних механічних впливів водойм на земну поверхню віднесено деформацію ґрунту і варіації порового тиску. Під їх дією геологічне середовище завдяки електромеханічним перетворювачам генерує електромагнітне поле. Зумовлені коливаннями сейш, відповідні електромагнітні поля можна використати для вимірювання глибини водойми.

Waters may be characterized by seiches oscillation, whose frequency is a function of morphometric characteristics. Going down, seiches excite microseisms. The main mechanical effects of

waters on the Earth's surface are deformation of ground and pore pressure variation. Under their influence geological environment by electromechanical transducers generates an electromagnetic field. Electromagnetic field changes, induced by fluctuations of seiches, are the essence of electromagnetic situation and can be used to measure the depth of the water. The method is distinguished by high probability of acceptance of signal and its correct interpretation thanks to the use of various converters with their own frequency spectrum of vibrations, measuring long-period modulated and high frequency modulating oscillations.

Ключові слова: деформація ґрунту, сейсмоелектричний ефект, сейші, фільтрація вологи в ґрунті.
Key words: deformation of ground, seismoelectric phenomena, seiches, pore pressure variation.

Наша «новаторська» уява давно звикла до так званої інноваційної ідеї щодо вимірювання висоти споруди за допомогою молотка і секундоміра — опускаєш молоток з даху, записуєш час його польоту і за відомою формулою виконуєш розрахунок. Однак, непряме вимірювання глибини водойми має на увазі суто практичні цілі: по-перше, моніторинг глибин віддалених водойм за відсутності безсумнівної інформації; по-друге, дослідження інформативних електричних сигналів мікросейсмічного походження.

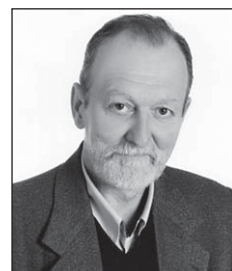
Водоймам властиві довгоперіодні коливання стоячих хвиль (сейш), профіль яких змінюється у часі між вузлами поступального руху, а амплітуда коливань рівня змінюється уздовж довжини хвилі, досягаючи піку в пучностях. Опускаючись вниз, коливання води збуджують мікросейсми (рисунок).

Частота сейш є функцією морфометричних характеристик водойми, до яких належать довжина, ширина, площа, глибина, об'єм водної маси. Залежність $f(D)$ можна пояснити для моделі у формі прямокутного басейна з горизонтальним дном і незмінними характеристиками [2]:

$$f = \frac{n\sqrt{gD}}{2L}, \text{ Гц} \quad (1)$$

де $n = 1, 2, \dots, n$ — кількість вузлів; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — прискорення вільного падіння; D — характерна глибина басейна.

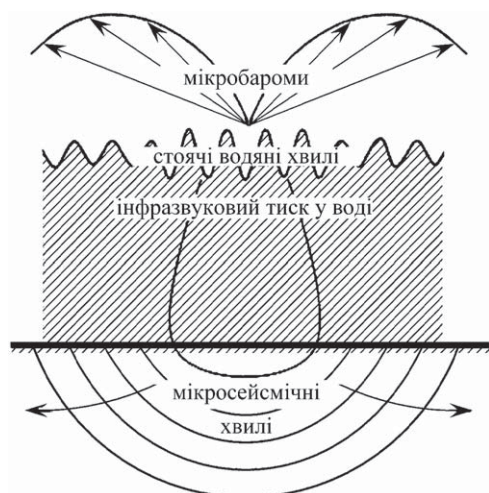
Для розрахунку глибини за відомою частотою сейш запропоновано розв'язувати зворотну задачу — $D(f)$ [3].



П. Анахов



О. Анахова



Комплекс явищ, які виникають за дії стоячих водяних хвиль, у гідросфері, атмосфері та земній корі [1]
Complex phenomena that occur under the action of standing water waves in hydrosphere, atmosphere, and earth's crust [1]

Сейші породжують мікросейсмічні коливання поверхні Землі. Їх вимірювання пропонується для дистанційного контролю глибини [4].

Недоліком методу є необхідність застосовувати дорогі засоби вимірювань.

Мета статті — розроблення методу віддаленого вимірювання глибини водойми із застосуванням порівняно недорогих засобів радіотехнічних вимірювань.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

До основних механічних впливів водойм на земну поверхню віднесено як деформацію ґрунту, так і варіації порового тиску, зумовлені режимом підземних вод (знакоперемінною фільтрацією вологи) [5].

Періодичні зміни рівня води супроводжують зміни гідрогеологічного впливу підземної призми філь-

траційних вод. Гранична глибина гідрогеологічного впливу в однорідному середовищі G , нижче якої поровим тиском, зумовленим змінами циклічної зміни рівня води можна знехтувати, оцінюється за формулою [6]:

$$G = \pi \sqrt{\frac{2C}{(f/3600)}}, \text{ м}, \quad (2)$$

де f — частота сейш, циклів за годину; $C = (0,1 - 10) \text{ м}^2/\text{с}$ — величина водопровідності пласта.

Літосферні деформації від тиску сейшової хвилі утворюють ґратку з ліній пучностей. Мінімальний тиск на дно на лінії вузлів складатиме $\sigma_n = 0$, Па, максимальний тиск на дно на лінії пучності можна розрахувати за формулою [7]:

$$\sigma_{an} = \rho gh / 2, \text{ Па}, \quad (3)$$

де $\rho \approx 10^3 \text{ кг/м}^3$ — густина води; h — висота хвилі.

У 40-і роки 20-го століття відкрито сейсмоелектричні ефекти 1-го і 2-го роду. Суть їх полягає в тому, що під дією сейсмічного поля геологічне середовище змінює свої електромагнітні властивості і генерує електромагнітне поле [8]. Механізми генерування електромагнітного поля фізико-хімічними процесами в геологічному середовищі представлені у таблиці.

Зумовлені коливаннями сейш, відповідні електромагнітні поля становлять суть змін електромагнітної обстановки і можуть використовуватися для моніторингу глибини водойми.

Причому, довгоперіодні сейшові коливання модулюють високочастотні мікросейсми, зумовлені розтріскуванням під вагою води (також, як зумовлені вітром низькочастотні власні коливання висотних об'єктів модулюють зумовлені розтріскуванням високочастотні мікросейсми [10]). Представлене явище модуляції високочастотних сейсмічних шумів Землі, зумовлене довгоперіодними

Механізми генерування електромагнітного поля фізико-хімічними процесами в геологічному середовищі [9]

Mechanisms of generating an electromagnetic field by physical and chemical processes in geological environment [9]

Фізико-хімічні процеси	Електромагнітні перетворювачі				
	П*	Ф*	МГД*	ЕП*	ЕМ*
1. Фільтрація вологи і газів	-	-	+	-	+
2. Теплові явища	+	+	-	-	-
3. Деформація	+	-	+	-	+
4. Хімічний розклад	-	-	-	+	-
5. Розкриття тріщин втоми	+	-	+	-	-

*Механізми перетворення енергії: П — п'єзоэффект; Ф — флуктуації дефектів і диполів у кристалічних ґратках; МГД — магнітогідродинамічний ефект (електрокінетичний ефект); ЕП — електричне поле хімічних реакцій; ЕМ — електромагнітна індукція.

деформувальними процесами, експериментально доведено Л. Рикунівим, О. Хаврошкіним і В. Циплаковим (відкриття №282, заявка №ОТ-9032 від 03.07.1975 р.). Згідно з цією теорією довгоперіодні коливання корелюють із високочастотними, що дозволяє їх спільну інтерпретацію. У такому випадку підвищується результувальна ймовірність достовірності прийнятого сейсмічного сигналу P_{res} , яку розраховують за формулою:

$$P_{res} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_i), \quad (4)$$

де P_i — ймовірність достовірності прийнятого довгоперіодного або високочастотного сигналу.

ВИСНОВКИ

Розроблено удосконалений метод непрямого вимірювання глибини водойми, який використовує, по-перше, залежність частоти власних коливань води від глибини, по-друге, збудження цими коливаннями мікросейсмів і відповідне генерування електромагнітного поля завдяки перетворювачам.

Особливо відзначено підвищену вірогідність прийняття сигналу і його правильної інтерпретації внаслідок використання різних перетворювачів із власними спектрами коливань та вимірювання довгоперіодних модульованих і високочастотних модульованих коливань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Табулевич В.Н. Влияние штормовых вибраций на землетрясения / В.Н. Табулевич, Е.Н. Черных, В.А. Потапов, Н.Н. Дреннова // Природа (V.N. Tabulevich, E.N. Chernykh, V.A. Potapov, N.N. Drennova. Vliyanie shtormovykh vibratsiy na zemletrjaseniya (Influence of storm vibrations on earthquakes). Priroda (Nature)). — 2002. — №10. — С/С. 12—16.
2. Арсеньева Н.М. Сейши на озерах СССР / Н.М. Арсеньева, Л.К. Давыдов, Л.Н. Дубровина, Н.Г. Конкина. — Л.: Изд-во Ленинградского университета (N.M. Arsen'eva, L.K. Davydov, L.N. Dubrovina, N.G. Konkina. Sejshi na ozerah SSSR (Seiches on the lakes of USSR). Leningrad University), 1963. — 184 с/с.
3. Пат. 82977 України, МПК G01F 23/22. Спосіб моніторингу рівня води у водоймі / Анахов П. В. — №u201301484; заявл. 08.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16 (Pat. 82977 Ukrainy, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi (Method of monitoring level in the waters) / Anakhov P.V. Appl. No.: u201301484; Filed 08.02.2013; Date of Patent: 27.08.2013; Bulletin No. 16).
4. Пат. 90436 України, МПК G01F 23/22. Спосіб моніторингу рівня води у водоймі / Анахова О. В. — №u201315408; заявл. 30.12.2013; опубл. 26.05.2014; Бюл. №10 (Pat. 90436 Ukrainy, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi (Method of monitoring level in the waters) / Anakhova O.V. Appl. No.: u201315408; Filed 30.12.2013; Date of Patent: 26.05.2014; Bulletin No. 10).
5. Gupta H. K. Artificial Water Reservoir Triggered Earthquakes / Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Editor: Gupta H. K. — Springer, 2011. — P. 15—24.
6. Talwani P. On the Nature of Reservoir-induced Seismicity / P. Talwani // Pure and Applied Geophysics. — 1997. — Vol. 150, Iss. 3-4. — Pp. 473-492.
7. Анахов П.В. Підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій за рахунок енергії сейшів / П.В. Анахов // Енергетика: економіка, технології, екологія (P.V. Anakhov. Pidvyshhennja vyrobittku potuzhnosti gidroelektrostancij za rahunok jenjergiji sjejsliv (increase of hydroelectric power due to seiches energy). Energy: Economics, technology, ecology). — 2014. — №3(37). — С/С. 51—55.
8. Светов Б.С. Перспективы сейсмоэлектромагнитных исследований в новом столетии / Б.С. Светов. — М.: Наука. (Проблемы геофизики XXI века: в 2 кн. / Отв. А.В. Николаев. — Кн. 2) (B.S. Svetov. Perspektivy sejsmojelektromagnitnyh issledovanij v novom stoletii (Prospects of seismoelectromagnetic studies in new century): In Geophysics Problems in XXI century: in 2 b. Ed. A. V. Nikolaev. B. 2). М.: Nauka. — 2003 — С/С. 113—128.
9. Макарец Н.В. Механизмы формирования сейсмоэлектрического эффекта / Н.В. Макарец, П.В. Анахов // Геофизический журнал (N. V. Makarec, P. V. Anakhov. Mehanizmy formirovaniya sejsmojelektricheskogo jeffekta (Mechanisms of forming the seismoelectric effect). Geofizicheskij zhurnal). — 2008. — Т/Т. 30, №6. — С/С. 113—120.
10. Капустян Н.К., Рогожин А.Е., Сусин О.А. Опыт сейсмических наблюдений воздействий ветра на нарушенный массив горных пород // Физика Земли (Kapustian N.K., Rogozhin A.E., Susin O.A. Opyt sejsmicheskikh nabljudenij vozdejstvij vetra na narushennyj massiv gornyh porod (Seismic observations of the wind effect on a faulted rock mass) // Fizika Zemli (Izvestiya. Physics of the Solid Earth)). — 2004. — №3. — С/С. 54-59. ■

Отримано / received: 19.04.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. І. Ластівкою (Україна).
Prof. I. Lastivka, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published