УДК 551.466

Анахов П. В.
ВП "Інформаційно-технологічний центр" ДП "НЕК "Укренерго", м. Київ

СЕЙШОВИЙ МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ РУХУ ВОДНИХ МАС

Ключові слова: *зворотно-обертальний рух, сейшова течія, сейшова хвиля, сейшові коливання*

Вступ. Водоймам властиві коливання стоячих хвиль (сейш). Їх позитивні риси складають можливі господарські застосування: вимірювання глибини, перемішування водних мас, підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій, розвантаження тектонічного напруження, руйнування льодового покриву, сейсмічна розвідка. В той же час для стоячих хвиль характерні негативні риси, що визначаються тимчасовими несприятливими обставинами [1].

Сейші обумовлюють рухи води по вертикалі, уподібнюючись поршню, який здійснює зворотно-поступальні переміщення. Опускаючись вниз, хвилі породжують мікросейсми, піднімаючись вгору – мікробароми (рис. 1).

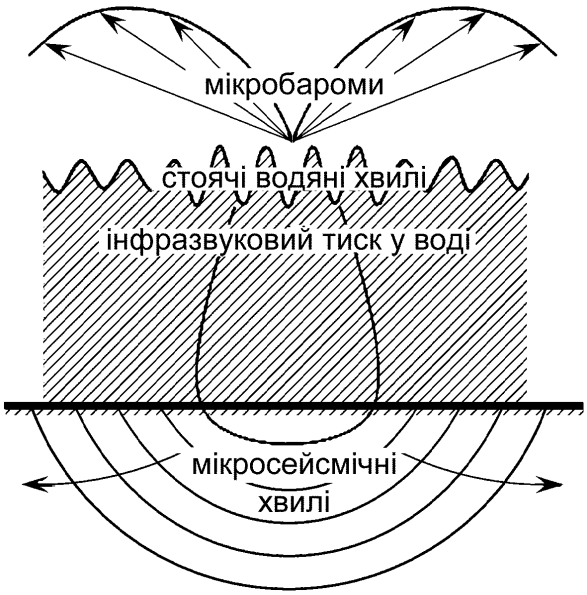

Рис. 1. **Комплекс явищ, які виникають при зворотно-поступальному вертикальному русі стоячих хвиль, в гідросфері, атмосфері та земній корі [2]**

Сейші породжують вторинні течії, при яких рідина коливається по горизонталі з періодом хвилі. Теоретичне обґрунтування цього ефекту [3] підтверджено модельними експериментами [4, 5] і спостереженнями в натурних умовах [6, 7].

Метою статті є дослідження закономірностей сейшового руху водних мас, які можуть бути використані в інженерних додатках.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розподіл по довжині *L* закритої нестратифікованої водойми висот *h* одновузлових сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними течій показано на рис. 2.

Стояча хвиля утворюється в результаті накладання падаючої на перепону і відбитої від неї прогресивних хвиль, які поширюються назустріч одна одній. На рис. 2а показано профілі стоячої хвилі протягом півперіоду коливання $0 \le t \le \pi/2$ в закритому басейні прямокутного перерізу з горизонтальним дном. Вони представлені падаючою хвилею в момент часу t=0 і відбитою, без втрат потужності, – в момент часу $t=\pi$. Максимальна висота хвиль h=2A (де A – амплітуда), співпадає із лінією пучностей [-1;1]. Мінімальна висота h=0 спостерігається у вузлових точках [8].

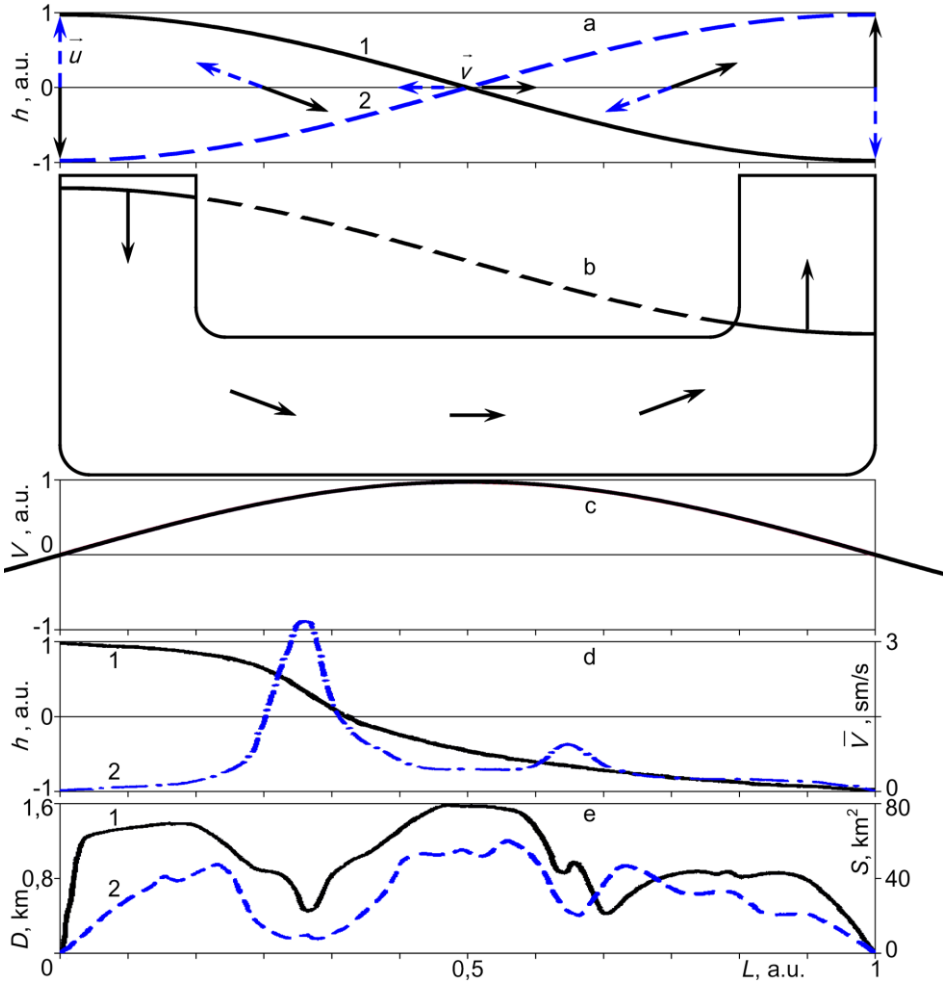

Рис. 2. **Одновузлові сейшові коливання в озері Байкал:** *a – профілі падаючої (1) і відбитої (2) прогресивних хвиль [8]; b – зворотно-обертальний рух води у сполучених посудинах; c – очікувана швидкість течії; d – спостережені висоти коливань рівня (1) і швидкості течій (2) [6]; e – глибина D (1) і площа водного перерізу S (2) [6]*

Напрямки руху водних мас показані двосторонніми стрілками: рівні води – вертикальною складовою $\vec{u}$, а течії – горизонтальною $\vec{v}$ [9]. Відбита хвиля змінює напрям руху на протилежний по відношенню до падаючої [6].

Криволінійний рух результуючого потоку при опусканні падаючої хвилі показано на рис. 2b (показано напрямки руху в момент часу t=0). Потік уподібнюється гойдалці, яка здійснює зворотно-обертальні переміщення води у сполучених посудинах.

Швидкості течій розподіляються по ділянках між вузлами і пучностями хвилі нерівномірно. Їх максимальні значення спостерігаються в околицях вузлів,

мінімальні – в околицях пучностей [6, 8, 10]. Очікувані швидкості руху, зі зсувом фази $\pi/2$ по відношенню до падаючої хвилі, показано на рис. 2c.

На рис. 2d показано графіки спостережених в озері Байкал висот сейшових хвиль і середніх швидкостей течій. Відхилення від очікуваних значень обумовлюються невідповідністю моделі реальним морфометричним даним (рис. 2e). Сплески швидкостей сейшових течій спостерігаються в зонах підняття дна над Селенгінським і Академічним підводними хребтами [6].

На рис. 3 показано розподіл по довжині закритої водойми висот багатовузлових сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними течій, зі встановленим вище півперіодним зсувом фази.

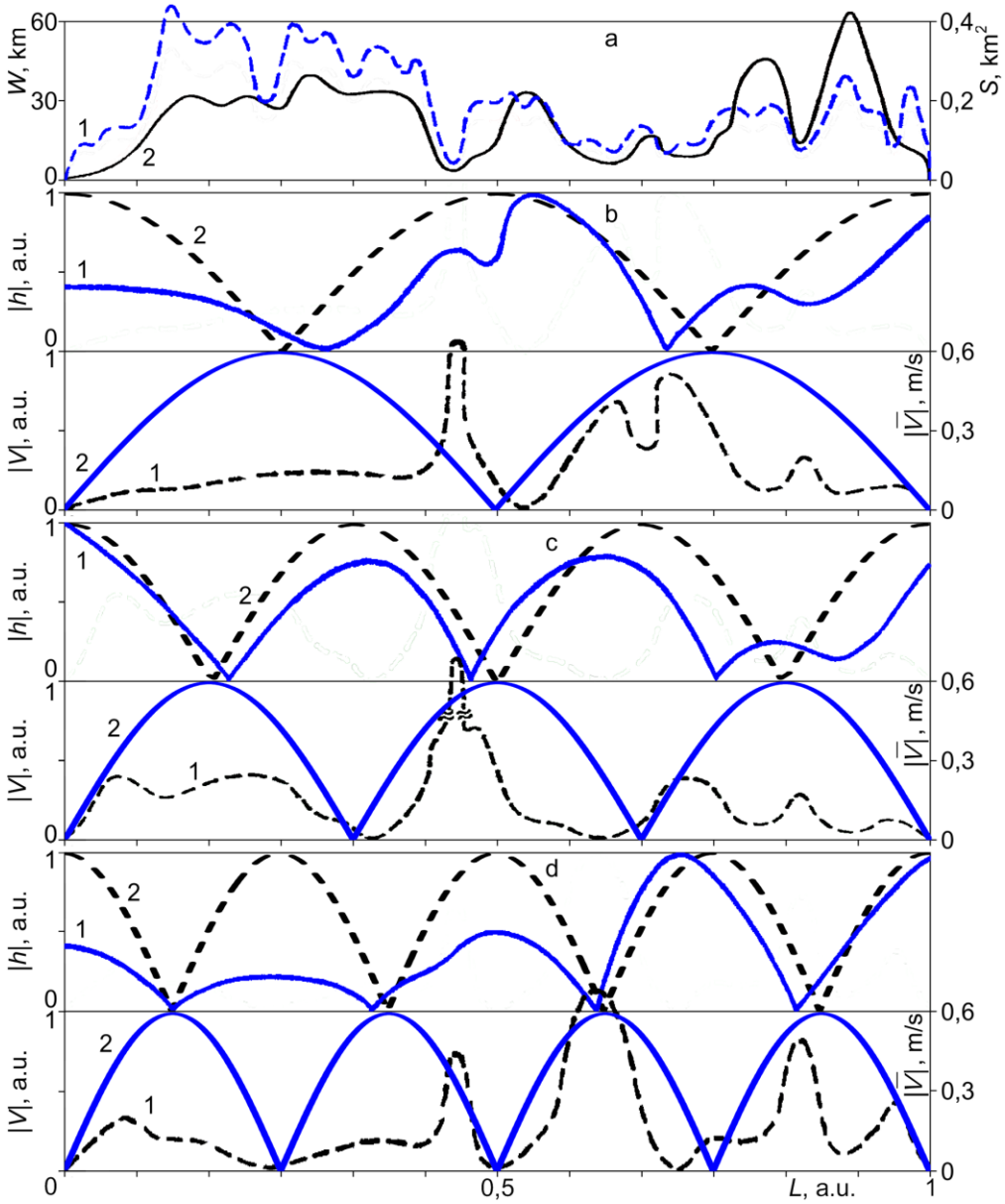

Рис. 3. **Багатовузлові сейшові коливання в озері Балхаш:** *a – ширина W (1) і площа водного перерізу S (2) [6]; b – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня двовузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії; c – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня тривузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії; d – зверху: спостережені (1) [6] і очікувані (2) висоти коливань рівня чотиривузлових сейш, знизу: спостережені (1) [6] і очікувані (2) швидкості течії*

Характерні криві очікуваних рухів порівняні із спостереженими в натурних умовах. Аномально швидка сейшова течія, яку чітко видно при коливаннях двовузлових сейш, відповідає зоні вузької протоки Узун-Арал між східною і західною частинами озера.

Висновки. На прикладі сполучених посудин показано, що сейшові рухи нестратифікованих водних мас складають вертикальні коливання хвиль і синхронні горизонтальні коливання течій, з півперіодним зсувом фази.

Список літератури

1. *Кесова Л.А.* Защита водохранилищ электростанций от вредного воздействия сейшевых волн / Л.А. Кесова, П.В. Анахов // Гідроенергетика України. – 2016. – №3-4. – С. 25-28. **2.** *Табулевич В.Н.* Влияние штормовых вибраций на землетрясения / В.Н. Табулевич, Е.Н. Черных, В.А. Потапов, Н.Н. Дреннова // Природа, 2002, №10. – С. 12-16. **3.** *Longuet-Higgins M.L.* Mass transport in water waves / M.L. Longuet-Higgins // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences. – 1953. – Vol. 245, No. 903. – P. 535-581. DOI: 10.1098/rsta.1953.0006. **4.** *Калиниченко В.А.* Нелинейные эффекты в поверхностных и внутренних волнах Фарадея: Дис. … д-ра физ.-мат. наук: 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы". – М., 2010. – 212 с. **5.** *Со А. Н.* Волны Фарадея в горизонтально подвижном сосуде с локальными особенностями дна и стенок: Автореф. … дис. канд. физ.-мат. наук: 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы". – М., 2016. – 25 с. **6.** *Судольский А.С.* Динамические явления в водоемах / А.С. Судольский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 263 с. **7.** *Шарова В.В.* Размыв у вертикальной стенки от воздействия косоподходящих волн: Дис. … канд. техн. наук: 05.23.07 "Гидротехническое строительство". – М., 2016. – 126 с. **8.** *Rabinovich A.B.* Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapoure: World Scientific Publ., 2009. – P. 193-236. **9.** *Maurrasse F.J-M.R.* Spatial and Temporal variations of the Haitian K/T Boundary record: implications concerning the event or events / F. J-M. R. Maurrasse, M.A. Lamolda, R. Aguado, D. Peryt, G. Sen // Journal of Iberian Geology. – 2005. – Vol. 31, No. 1. – P. 113-133. **10.** *Матишов Г.Г.* Влияние сейш на формирование экстремальных уровней и течений в Азовском море / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Ю.И. Инжебейкин // Вестник Южного научного центра РАН. – 2008. – Т. 4, №2. – С. 46-61.

Сейшовий механізм формування руху водних мас

Анахов П. В.

Метою статті є дослідження закономірностей сейшового руху водних мас. Дослідження виконано графічним методом, який включає аналіз падаючої і відбитої прогресивних хвиль в закритому басейні прямокутного перерізу з горизонтальним дном, та у сполучених посудинах. Очікувані коливання порівняні із спостереженими одноперіодними в озері Байкал і багатоперіодними, – в озері Балхаш. Показано, що зворотно-обертальні рухи складають вертикальні коливання хвиль і синхронні горизонтальні коливання течій, з півперіодним зсувом фази. Розглянуті закономірності сейшового руху водних мас можуть бути використані в інженерних додатках.

Ключові слова: *зворотно-обертальний рух, сейшова течія, сейшова хвиля, сейшові коливання.*

Сейшевый механизм формирования движения водных масс

Анахов П. В.

Целью статьи является исследование закономерностей сейшевого движения водных масс. Исследование выполнено графическим методом, который включает анализ падающей и отраженной прогрессивных волн в закрытом бассейне прямоугольного сечения с горизонтальным дном, и в сообщающихся сосудах. Ожидаемые колебания сопоставимы с наблюденными однопериодными в озере Байкал и многопериодными, – в озере Балхаш. Показано, что возвратно-вращательные движения составляют вертикальные колебания волн и синхронные горизонтальные колебания течений, с полупериодным сдвигом фазы. Рассмотренные закономерности сейшевого движения водных масс могут быть использованы в инженерных приложениях.

Ключевые слова: *возвратно-вращательное движение, сейшевая волна, сейшевое течение, сейшевые колебания*

Seiche mechanism of water mass movement

Anakhov P. V.

Purpose *of manuscript is the study of regularity of seiche movement of water mass.* ***Method.*** *Study was done by graphical method, which includes analysis of incident and reflected progressive waves in a closed rectangular basin with horizontal bottom, and in communicating vessels.* ***Results.*** *It is shown that swing movements of oscillations consists of vertical waves, and synchronous horizontal currents with half-period phase shift. Expected fluctuations are comparable with observed with one-period seiches in Baikal Lake, and multi-period seiches, – in Balkhash Lake. Deviations from expected values stipulated by disparity of model to real morphometric data.* ***Originality.*** *In example of communicating vessels we show, that seiche oscillations of water masses without stratification consists from vertical oscillations of waves and synchronous horizontal oscillations of currents, with half-period shift of phase.* ***Practical significance.*** *Such knowledge can be used in engineering applications: measuring of depth, at promoting the mixing of water masses, increasing of hydroelectric power, releasing of tectonic stresses, destruction of ice cover, and in seismic tomography.*

Keywords: *swing movement, seiche wave, seiche current, seiche oscillations.*

Надійшла до редколегії 02.03.2017