

МОЖЛИВІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОСЕЙСМІВ, ВИКЛИКАНИХ СТОЯЧИМИ ХВИЛЯМИ ВОДОЙМ

Мета досліджень – пошук можливих способів використання спричинених стоячими хвилями водойм мікросейсмів. Відповідно до теорії стоячі хвилі виникають під час зіткнення двох хвиль, що рухаються назустріч одна одній. Наведено умови збудження хвиль і розгойдування хвиль, які затухають. Подано докази того, що тиск хвилі в пучності на межах поділу водного середовища і ґрунту пропорційний до амплітуди водної хвилі. Можливість використання в сейсмічній розвідці стоячих хвиль підтверджується даними спостережень штормових мікросейсмів на віддалених станціях. Для збільшення дальності передавання доцільно застосувати мікросейсми з великим періодом, які забезпечують низьке затухання. Один зі способів зменшення небезпеки землетрусу передбачає ініціювання слабкої сейсмічності штучними джерелами, щоб зняти надлишкове тектонічне напруження. Одним із найпотужніших джерел літосферних деформацій є власні коливання рівня рідини у великих водоймах. Розглянуто ідею використання ефекту резонансу припливно-сейшових вібрацій для ініціювання слабкої сейсмічності. Штучно збудження сейш досягають, керуючи водопропускною гідропородою. Мережа передавання інформації підтримує мультиплексування каналів зв'язку із розділенням за фізичною природою і середовищами передавання. Під час управління водопропускними спорудами здійснюється штучне розгойдування сейшових коливань зі зсувом фази. Зсув фази хвилі, яка розгойдується, щодо тієї, що затухає, своєю чергою, зумовлює варіації періодів сейш, що призводить до пропорційних варіацій періодів мікросейсмів. Це рішення дає змогу кодувати повідомлення тривалостями періодів сейш і мікросейсмів, із подальшим їх передаванням. Гідрологічні спостереження виявили ефект залежності періодів поверхневих сейш від глибини води. Розв'язання зворотного завдання, із виміряним періодом сейш, дає змогу розрахувати глибину водойми. На додаток до безпосереднього вимірювання глибини запропоновано спосіб віддаленого вимірювання, що використовує аналіз коливань ґрунту сейшового походження. Аналіз варіацій електромагнітного випромінювання геологічного середовища показав, що вони визначаються механізмами перетворення енергії цих процесів на енергію електромагнітного поля. Дослідження цих варіацій дає можливість розрахувати глибину водойми. **Наукова новизна.** Детально розглянуто способи використання збуджених стоячими хвилями мікросейсмічних коливань. Висвітлено способи управління стоячими хвилями: регулюванням глибини водойми; регулюванням періоду збуджувальної хвилі; регулюванням фази збуджувальної хвилі. Досліджено залежність амплітуди результуючого коливання стоячих хвиль від фази розгойдувального коливання аналогічного періоду. Подано захищені патентами України інноваційні розробки, які передбачають господарське використання мікросейсмів, спричинених стоячими хвилями водойм. Зазначено, що як необхідність, так і можливість використання того чи іншого способу виконання визначеного конкретного завдання визначаються внутрішніми та зовнішніми об'єктивними умовами, які існують у певний час у певному просторі.

Ключові слова: затухання хвиль; збудження хвиль; сейші; тягун; розгойдування хвиль.

Вступ

Короткоперіодні мікросейсмічні коливання широко використовують у сейсмічній розвідці.

Обговорюється можливість застосування пасивних методів для дослідження глибинної будови регіону. Як зондувальний сигнал у таких методах використовують сейсмічний шум, який в умовах конкретного регіону має певні особливості [Ляшук та ін., 2015].

Практичне застосування мікросейсмічних хвиль частотою 2–4 Гц можливе для пошуку та

локалізації покладів вуглеводнів, а також для оцінювання глибин залягання неоднорідностей, зокрема контурів нафто- і газоносності [Зацерковний та ін., 2016].

Результати обстеження конструкцій з використанням мікросейсмів дають змогу виявити найослабленіші місця в конструкції будівлі. Наявність постійного моніторингу дає можливість простежувати найменші зміни в стані конструкцій, щоб вжити своєчасних заходів для локалізації виниклого дефекту [Терентьев та ін., 2015]. Зокрема,

мікросейсми частотою 0,5–10 Гц, що збуджуються в геологічному середовищі під час роботи електричних машин, використовують для вирішення будівельних завдань, оснований на аналізі хвиль різного генезису і типів (емісія, техногенні сигнали, поверхневі хвилі) [Єгупов, 2018].

Одним із найпотужніших джерел створюваних мікросейсмів є тиск довгоперіодних стоячих хвиль з періодом власних коливань водного басейну, сейш і тягуна, наприклад [Насонкин и др., 2008; Нестеров, 1996].

Їхній профіль змінюється у часі між вузлами поступального руху, а амплітуда коливань рівня змінюється вздовж довжини хвилі, досягаючи піка в пучності, як показано на рис. 1.

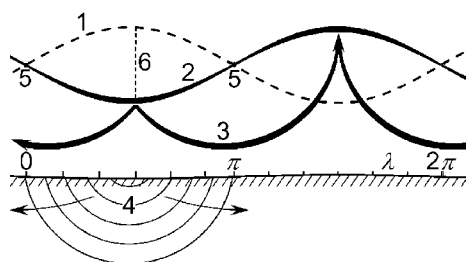


Рис. 1. Явища, що виникають внаслідок дії стоячих водних хвиль у гідросфері та земній корі:

1, 2 – амплітуди хвилі в моменти часу $t = 0$, $t = \rho$; відповідно; 3 – напрям течії безпосередньо перед досягненням хвилею максимального (оптимального) значення ($t \approx \rho$); 4 – мікросейсми у момент часу $t \approx \rho$; 5, 6 – вузли та пучності хвилі відповідно (з [Анахов, 2019], змінено)

Сейши у багатьох водоймах діють протягом 30–50 % тривалості безльодоставного періоду. В озері Байкал вони майже безперервні, найчастіше повторюються одновузлові коливання – 84 % тривалості безльодоставного періоду. В озері Балхаш сейші діють у середньому приблизно 60 % часу, а в окремі місяці безльодоставного періоду сумарний час їхньої дії сягає 80 % [Судольский, 1991]. Загалом сейшові коливання водної маси є звичайним станом для будь-якої водойми в кожний момент її існування, і якщо вони не завжди помітні, то це лише наслідок малих амплітуд коливання [Лабзовский, 1971].

У роботі Судольського (1991) наведено результати спостережень сейшових коливань у літні місяці 1970, 1971 рр. у центральній частині найбільшого в Україні Каховського водосховища.

Повідомляється, що дії тягуна зазнають 12 портів Чорного моря: Туапсе, Сочі, Поті, Батумі,

Самсун, Гіресун, Бургас, Варна, Констанца, Іллічівськ, Ялта, Феодосія та деякі севастопольські бухти [Балинец, 2007; Лабзовский, 1971].

Крім того, за 1982–2006 рр. у морському порту “Чорноморськ” Одеської області спостерігалось 85 випадків виникнення тягуна [Гаврилюк, Берлинский, 2019].

Стоячі хвилі зумовлюють коливання всього об’єму водної маси, уподібнюючись до поршня, який здійснює зворотно-поступальні рухи. Повідомлень щодо використання довгоперіодних мікросейсмічних коливань, спричинених дією сейш і тягуна, автор не отримав.

Мета

Мета досліджень – пошук можливих способів використання спричинених стоячими хвилями водойм мікросейсмів.

Методика

Відповідно до теорії (наприклад, [Судольский, 1991; Rabinovich, 2004]), стоячі хвилі виникають у разі зіткнення двох хвиль, що рухаються назустріч одна одній, – тієї, що падає на перешкоду, $A_{incident} = A_0 \cos(kx - wt)$ і відбитої від перешкоди $A_{reflected} = A_0 \cos(kx + wt)$. У результаті утворюється хвиля виду

$$A_{sw} = A_{incident} + A_{reflected} = 2A_0 \cos(kx) \cos(wt), \quad (1)$$

де $A_{incident}$, $A_{reflected}$, A_{sw} , A_0 – амплітуди хвилі, яка падає, відбитої та стоячої хвиль і початкова амплітуда хвилі, відповідно; k – хвильове число ($k = 2\pi / l$); l – довжина хвилі; w – циклічна частота ($w = 2\pi / T$); T – період хвилі; x , t – змінні для позначення довжини та часу.

Згідно з [Rabinovich, 2004] стоячі хвилі збуджуються за резонансу збуджувальної зовнішньої хвилі (наприклад, тієї, що падає на перешкоду з амплітудою A_{inc}) періодом T_{exc} та збудженої стоячої хвилі періодом T_{sw} .

У статті [Dogan et al., 2021] розглянуто модель збудження довгоперіодної стоячої хвилі у разі збігу швидкостей поширення збуджувальної V_{exc} та збудженої V_{ph} хвиль

$$(T_{exc} \approx T_{sw}) \dot{U}(V_{exc} \approx V_{ph}), \quad (2)$$

де \dot{U} – логічна операція диз’юнкції.

Період сейшової хвилі водойми можна розрахувати за формулою [Rabinovich, 2004]:

$$T_{sw} = l_{sw} / (nV_{ph}) = const, \quad n = 1, 2, 3, K, \quad (3)$$

де l_{sw} – довжина стоячої хвилі водойми, яку визначають її морфометричні характеристики

($l = 2L / m$); L – довжина водойми (для поздовжніх сейш), m – мода коливань, $m = 1, 2, 3, K$); V_{ph} – фазова швидкість руху хвилі у водоймі ($V_{ph} = \sqrt{gD}$); g – прискорення вільного падіння ($g \gg 9,8 \text{ m/s}^2$); D – глибина води.

Стоячі хвилі мають схильність до затухання. З огляду на це, перепишемо рівняння (1) так [Судольський, 1991; Rabinovich, 2004]:

$$A_{sw} = A_{inc} + A_{ref} = 2A_0 \cos(kx) \cos(\omega t) \exp(-2d\omega t), \quad (4)$$

де $\exp(-2d\omega t)$ – закон затухання коливань; d – логарифмічний декремент затухання.

Підтримувати коливання сейш дає змогу їх розгойдування. Опишемо розгойдувальну хвилю як

$$A_{exc} = A_0 \cos(\omega t + j), \quad 0 \leq j \leq 2\pi, \quad (5)$$

де j – фаза.

У разі складання сейшової та однієї розгойдувальної хвилі з аналогічним періодом коливань виникає хвиля A_{res} виду:

$$A_{res} = A_{sw} + A_{exc} = 2A_0 \cos(kx) \cos(\omega t) + \cos(\omega t + j) \quad (6)$$

Тиск хвилі в пучності на межах поділу середовищ (води та ґрунту), пропорційний до амплітуди водяної хвилі. Його можна розрахувати за формулою [Evers, 2008]:

$$P = 2\gamma A^2 \omega^2 \cos(2\omega t), \quad (7)$$

де γ – густина води ($\gamma \gg 1000 \text{ kg/m}^3$).

Значний енергетичний потенціал стоячих хвиль і течій, передбачуваність їх значень і розташування максимумів, доступність, наявність таких вторинних впливів, як мікросейсми в літосфері, визначають перспективи їх економічного використання. Комплекс явищ, що виникають внаслідок дії сейш у гідросфері та земній корі, показано на рис. 1.

Способи використання мікросейсмів

Сейсмічна розвідка

Можливість використання у сейсмічній розвідці стоячих хвиль підтверджується даними спостережень довгоперіодних штормових мікросейсмів на значно віддалених станціях [Табулевич, 1986].

Відповідно до рішення, захищеного патентом України 87564, для збільшення дальності передавання доцільно застосувати мікросейсми з максимально великим періодом, які забезпечують низьке затухання (див. формулу (4)) [Спеціалізована БД].

На додаток до традиційного способу використання мікросейсмів для сейсмічної розвідки запропоновано “екзотичні” застосування стоя-

чих хвиль.

Розвантаження тектонічного напруження

Один зі способів зменшення небезпеки землетрусу передбачає ініціювання слабкої сейсмічності штучними джерелами з метою зняття надлишкового тектонічного напруження. Вплив мікросейсмічних коливань на геологічне середовище може полягати в тому, що їх дія забезпечує спрямовану еволюцію деформаційних процесів у земній корі. Отже, хитні рухи призводять до крипових переміщень і низькочастотних “тихих землетрусів” уздовж сейсмогенних розломів [Страхов, Савин, 2013; Ruzhich et al., 2021].

У ХХ ст. виявлено можливість виникнення нової або підвищення наявної сейсмічної активності внаслідок створення водойм – ефект збудження землетрусів у разі заповнення водосховищ. До причин виникнення землетрусів зараховано, зокрема, дію таких мікросейсмогенних процесів, як варіації рівня води, утворення штормових мікросейсмічних зон [Gupta & Rastogi, 1975].

У роботах [Нестеров, 1996; Чехов и др., 1994] обґрунтовано припущення про те, що одним із найпотужніших джерел літосферних деформацій є власні коливання рівня рідини у великих водоймах.

Наприклад, згін, трохи вищий за 2 м у південній частині Північного моря, якщо збігаються швидкості поширення збуджувальної та збудженої хвиль, викликає стоячі хвилі (див. формулу (2)). Стоячі хвилі, своєю чергою, спричиняють вертикальні зсуви на 20–30 мм і збільшення сили тяжіння на 6–8 мґал у прибережних районах Данії, Німеччини, Нідерландів і східного узбережжя Англії [Fraterpietro et al., 2006].

На думку академіка І. Курчатова (1982), в гідрологічному житті всякого водного басейну можна знайти елементи того самого періоду, і, очевидно, ці елементи завжди можуть слугувати збуджувальною силою для басейну, причому особливої важливості набуває збіг періоду власних коливань і зовнішніх сил.

Запишемо умову збудження водної маси ($T_{exc} \approx T_{sw}$) у формі резонансу зовнішньої припливної хвилі T_{exc} з періодом, близьким до періоду T_{sw} сейшових коливань [Rabinovich, 2004]:

$$A_s = \frac{1}{(1 - T_{sw}/T_{exc})^2 + Q^{-2} (T_{sw}/T_{exc})^2}, \quad nT_s \gg T_T, \quad n = (1; 2; K; n) \dot{\cup} \left\{ \frac{1}{2}; K; \frac{1}{n} \right\}, \quad (8)$$

де Q – добротність, яка визначає затухання енергії хвиль у системі; n – коефіцієнт.

Ідея використання ефекту резонансу припливно-сейшових вібрацій для ініціювання слабкої сейсмічності захищена патентом України 83039. Штучне збудження сейш досягається керуванням водопропускною (водоскидною або водопідйомною) гідропородою. У цьому випадку період зовнішньої хвилі T_{exc} визначає тривалість попускання води [Спеціалізована БД].

Кодування і передавання повідомлень

Схема повноцінної гібридної мережі передавання інформації являє собою тривірневу ієрархічну послідовність мультиплексорів, як показано на рис. 2.

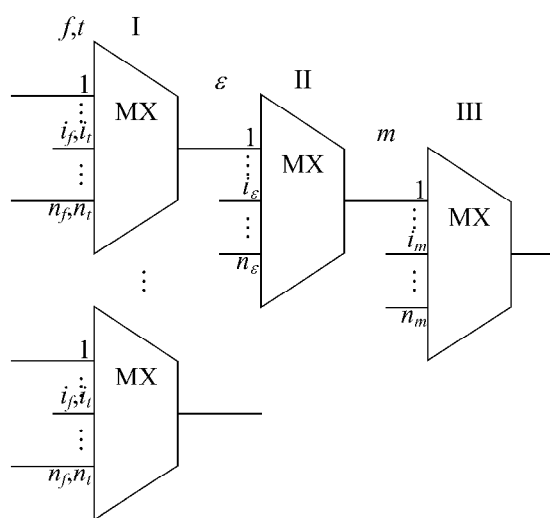


Рис. 2. Функціональна схема передавача гібридної мережі передавання інформації:

I – рівень мультиплексування каналів із частотно-часовим розділенням сигналів; II – рівень мультиплексування каналів із розділенням сигналів за фізичною природою; III – рівень мультиплексування каналів із розділенням сигналів за середовищами передавання (з [Anakhov et al., 2020], змінено)

Згідно зі схемою, наведеною на рис. 2, гібридна мережа передавання інформації, на додачу до частотного (те саме, що і спектрального, з розділенням по довжині хвилі) і часового мультиплексування, підтримує мультиплексування каналів зв'язку із розділенням за фізичною природою і середовищами передавання. У табл. 1 наведено матрицю їх відповідності.

У табл. 1 наведено узагальнену інформацію щодо можливих способів передавання інформації. Ураховуючи ці дані, можна анонсувати новий спосіб передавання – геофізичний (мікросейсмічний). Він здійснюється у такий спосіб. Керуючи водоп-

ропускними спорудами, здійснюють штучне розгойдування сейшових коливань зі зсувом фази. Аналіз коливального процесу показав, що, поперше, сейші схильні до затухання, по-друге, на амплітуду коливань істотно впливає фаза розгойдувальної хвилі. На рис. 3 подано цю залежність у фіксований момент часу $t = const$ у пучності $x = const$, у разі розгойдування хвилею аналогічної амплітуди з довільною фазою.

Таблиця 1

Матриця відповідності використовуваних для передавання інформації сигналів різної фізичної природи середовищам передавання [Anakhov et al., 2022a]

Фізична природа сигналу	Середовище передавання				
	атмосфера Землі	космос	підводне	підземне	штучні напрямні
Акустичний	+	-	+	+	+
Електромагнітний	+	+	+	+	+
Оптичний	+	+	+	-	+
Квантовий	+	+	-	-	+
Нейтринний	+	+	+	+	-

Зсув фази розгойдувальної хвилі щодо тієї, що затухає, своєю чергою, зумовлює варіації періодів сейш, що призводить до пропорційних варіацій періодів мікросейсмів. Це рішення, захищене патентом України 127562, дає змогу кодувати повідомлення тривалостями періодів сейш і мікросейсмів, із подальшим їх передаванням [Спеціалізована].

Вимірювання глибини водойми

Гідрологічні спостереження озера Севан (Вірменія) після початку в 1933 р. використання його водних запасів у зрошувальних та енергетичних цілях виявили ефект залежності періодів поверхневих сейш від глибини води [Азернікова, 1975]. Ефект пояснюється на прикладі замкненого прямокутного басейну із горизонтальним дном (див. формулу (3)).

Виконання зворотного завдання, якщо виміряно період сейш, дає змогу розрахувати глибину водойми.

Циклічні зміни рівня під час сейшових коливань породжують мікросейсми. Із урахуванням цього, на додаток до безпосереднього вимірювання глибини, запропоновано спосіб віддаленого вимірювання, що, згідно із рішенням, захищеним патентом України 90436, використовує аналіз коливань ґрунту сейшового походження. Це доціль-

но під час дистанційного вимірювання глибини віддалених водних об'єктів, інформація про які може бути обмежена [Спеціалізована].

Спостереження хвилювання озера Севан (Вірменія) [Азерникова, 1975] й Аральського моря (Казахстан, Узбекистан) [Берг, 1908] виявили нестабільність частот опорного сигналу – сейш. Це негативно визначається на вимірюваннях.

У табл. 2 наведено перелік причин варіацій періодів сейш, які не зумовлені внутрішніми причинами (змінami глибини водойми).

Вивчення геофізичних процесів показує, що дія і розвиток одних явищ завжди створюють

передумови для виникнення і розвитку інших. Наприкінці 1930-х років О. Іванов повідомив про відкриття сейсмічного ефекту другого роду, суть якого полягає у тому, що геологічне середовище під дією сейсмічного поля породжує електромагнітне поле [Іванов, 1939]. Аналіз варіацій електромагнітного випромінювання геологічного середовища показав, що вони визначаються механізмами перетворення енергії цих процесів на енергію електромагнітного поля [Anakhov et al. 2022b].

Дослідження цих варіацій дає змогу розрахувати глибину водойми.

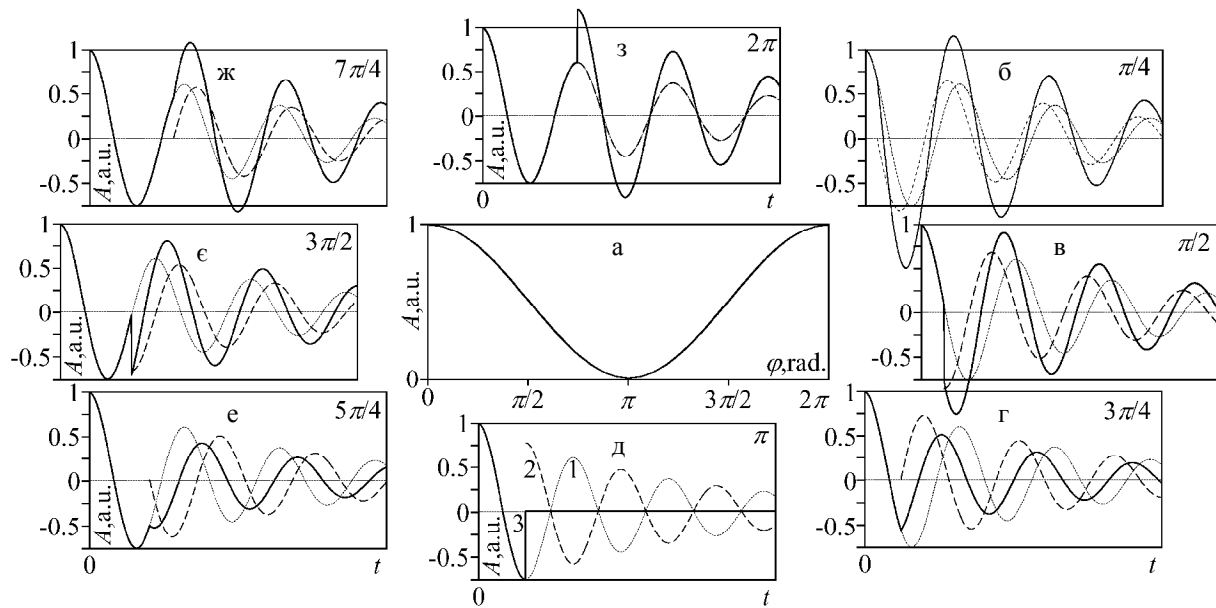


Рис. 3. Амплітуда результуючого коливання сейш A_{res} у разі розгойдування хвилею із довільною фазою ($0 \leq \varphi < 2\pi$):

а – залежність амплітуди результуючого коливання від фази розгойдувального коливання в пучності у фіксовані моменти часу; б–з – залежності амплітуди результуючого коливання від часу під час розгойдування сейш, які затухають, хвилею аналогічних періоду та амплітуди зі зсувом фази $\varphi/4, \varphi/2, 3\varphi/4, \varphi, 5\varphi/4, 3\varphi/2, 7\varphi/4, 2\varphi$, відповідно; 1 – затухаючі коливання; 2 – розгойдувальні коливання; 3 – результуючі коливання

Таблиця 2

Зовнішні причини варіацій періодів сейш [Анахов П., Анахов С., 2016]

Причини варіацій	Пояснення
1. Збудження хвилею із періодом, близьким до сейшового	Для інтервалу часу власне збудження коливань
2. Зміни характерної довжини профілю, по якому здійснюються коливання, у результаті зміни напрямку осі коливань	– за рахунок зміни напрямку барометричного градієнта або вітру – у разі оббігання сейшової хвилі навколо амфідромічної точки (збігається із вузлом сейші), спричиненого обертальним рухом Землі
3. Одночасні зміни довжини і глибин профілю, по якому здійснюються коливання	– за рахунок денівеляції водної поверхні від згінно-нагінних явищ, потоків рік, які впадають і витікають, злив – у разі зміни морфометричних характеристик (наприклад, унаслідок катастрофи, під час гідротехнічного будівництва)
4. Інтерференція із сейшами такого самого або іншого періоду	За рахунок фазової модуляції сейш, які затухають, під час їх розгойдування

Наукова новизна

Детально розглянуто способи використання збуджених стоячими хвилями мікросейсмічних коливань. Наведено способи управління стоячими хвилями: регулюванням глибини водойми; регулюванням періоду збуджувальної хвилі; регулюванням фази збуджувальної хвилі.

Досліджено залежність амплітуди результуючого коливання стоячих хвиль від фази розгойдувального коливання аналогічного періоду.

Практична значущість

Подано захищені патентами України інноваційні розробки, які передбачають господарське використання мікросейсмів, спричинених стоячими хвилями водойм. Перелік способів використання слабких впливів на літосферу і можливі підстави для їх використання наведено в табл. 3.

Зазначимо, що як необхідність, так і можливість використання того чи іншого способу виконання конкретного завдання визначаються внутрішніми та зовнішніми об'єктивними умовами, які існують у певний час у певному просторі.

Таблиця 3

Способи використання мікросейсмів і можливі підстави для їх використання

Спосіб	Пояснення
Сейсмічна розвідка	Пасивна сейсмічна розвідка, за якої може не використовуватися задавальний генератор, з огляду на те, що стоячі хвилі водної маси є звичайним станом водойми
Розвантаження тектонічного напруження	Можливість управління мікросейсмами із застосуванням збуджувальної зовнішньої хвилі
Вимірювання глибини водойми	Доцільне за дистанційного вимірювання глибини віддалених водних об'єктів, інформація про які може бути обмежена
Кодування і передавання повідомлень	Оцінимо швидкість передавання повідомлення, кодованого у вісімковій системі числення (див. рис. 3) із використанням хвилі періодом 9 с. Якщо один елементарний сигнал коду відповідає періоду розгойданого коливання (дискретні сигнали зі зсувом фази j від $p/4$ до $7p/4$), а другий сигнал – паузі тривалістю у період коливань ($j = 2p$), швидкість передавання становитиме 7 знаків/18 с = 0,4 біт/с. Для порівняння – у 2012 р. продемонстровано сеанс бездротового нейтринного зв'язку на відстань 1 035 км, зокрема крізь 240 м гірської породи. Швидкість передавання даних становила 0,1 біт/с [Stancil et al., 2012]

Висновки

1. Подано захищені патентами України інноваційні розробки, які передбачають господарське використання мікросейсмів, спричинених стоячими хвилями водойм: сейсмічна розвідка; розвантаження тектонічного напруження; кодування і передавання повідомлень; вимірювання глибини водойми.

2. Досліджено залежність амплітуди результуючого коливання стоячих хвиль від фази розгойдувального коливання аналогічного періоду.

Список літератури

Азерникова О. А. Поверхностные и внутренние сейши озера Севан. *Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле*. 1975. № 1. С. 97–101.
Анахов П. В., Анахов С. П. Дистанційний контроль глибини водойми з використанням

багатоканального доступу до полів сейшового походження. *Геоінформатика*. 2016. № 1 (57). С. 79–83.
Анахов П. В. Тривимірна модель деформацій котловини басейну Меріана стоячими хвилями. *Геодинаміка*. 2019. № 2 (27). С. 48–53. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.048>.
Балинец Н. А. Умовляння виникнення тягуна в портах Чорного моря. *Екологічна безпека прибережних та шельфових зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2007. Вип. 15. С. 362–369.
Берг Л. С. Аральское море. Опыт физико-географической монографии. Ташкент: Изв. Турк. отд. РГО, т. V., 1908.
Гаврилюк Р. В., Берлинский Н. А. Опасные морские гидрологические явления в северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського національного університету. Серія геогра-*

- фічні та геологічні науки*. 2019. Т. 24, Вип. 2(35). С. 26–39.
- Єгупов В. К. Методи оцінки сейсмостійкості будівель і споруд: дис. ... канд. техн. наук. Одеса, 2018. 97 с.
- Зацерковний В., Тішаєв І., Шульга Р. Джерела походження та взаємодія мікросейсм з геологічним середовищем. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. Вип. 4. С. 82–87. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.75.13>
- Иванов А. Г. Эффект электризации пластов Земли при прохождении через них упругих волн. *Доклады АН СССР*. 1939. Т. 24. № 1. С. 41–43.
- Курчатов И. В. Сейши в Черном и Азовском морях. Избранные труды, Т. 1. М.: Наука, 1982. С. 382–391.
- Лабзовский Н. А. Непериодические колебания уровня моря. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
- Лящук О. І., Андрущенко Ю. А., Карягін Є. В. Особливості використання сейсмічного шуму для вивчення глибинної будови західної Антарктики. *Український антарктичний журнал*. 2015. № 14. С. 58–65. <https://doi.org/10.33275/1727-7485.14.2015.172>
- Насонкин В. А., Чехов В. Н., Боборыкина О. В. Некоторые результаты измерений литосферных деформаций. *Динамические системы*. 2008. Вып. 24. С. 117–120.
- Нестеров В. В. Исследования литосферных деформаций средствами большебазовой лазерной интерферометрии: автореф. дис. ... д-ра ф.-м. наук. Симферополь, 1996. 29 с.
- Спеціалізована БД “Винаходи (корисні моделі) в Україні”. URL: <https://base.uipv.org/searchINV/>
- Страхов В. Н., Савин М. Г. Уменьшение сейсмической опасности: упущенные возможности. *Геофизический журнал*. 2013. Т. 35. № 1. С. 4–11. <https://doi.org/10.7868/S0002333713010080>
- Судольский А. С. Динамические явления в водоемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 263 с.
- Табулевич В. Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний. Новосибирск: Наука, 1986. 151 с.
- Терентьев О. О., Шабала Є. Є., Малина Б. С. Інформаційна технологія системи діагностики технічного стану будівель на основі дослідження мікросейсмічних коливань. *Управління розвитком складних систем*. 2015. № 23. С. 133–139. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4610.2482>
- Чехов В. Н., Нестеров В. В., Иванов Ю. Б., Насонкин В. А. Сверхдлиннопериодные литосферные деформации, возбуждаемые сейшевыми колебаниями. *Доклады РАН*. 1994. Т. 336. № 3. С. 391–393.
- Anakhov P., Zhebka V., Grynkevych G., & Makarenko A. Protection of telecommunication network from natural hazards of global warming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, No. 3/10 (105), P. 26–37. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/206692>
- Anakhov P., Zhebka V., Tushych A., Kravchenko V., Blazhennyi N., Skladannyi P., Sokolov V. Evaluation method of the physical compatibility of equipment in a hybrid information transmission network. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2022a, Vol. 100, No. 22, 6635–6644.
- Anakhov P., Zhebka V., Koretska V., Sokolov V., Skladannyi P. Increasing the Functional Network Stability in the Depression Zone of the Hydroelectric Power Station Reservoir. *CEUR Workshop Proceedings*, 3149, 2022b, 169–176.
- Dogan G. G., Pelinovsky E., Zaytsev A., Metin A. D., Tarakcioglu G. O., Yalciner A. C., Yalciner B., & Didenkulova I. (2021). Long wave generation and coastal amplification due to propagating atmospheric pressure disturbances. *Natural Hazards*, 106, 1195–1221. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04625-9>
- Evers L. G. The Inaudible Symphony: on the Detection and Source Identification of Atmospheric Infrasound: doctoral thesis. Netherlands, Renss Delft University of Technology, 2008, 160 p. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:4de38d6f-8f68-4706-bf34-4003d3dff0ce>
- Fratepietro F., Baker T. F., Williams S. D. P., Camp M. V. Ocean loading deformations caused by storm surges on the northwest European shelf. *Geophysical Research Letters*, 2006. Vol. 33, Is. 6. L06317. <http://doi.org/10.1029/2005GL025475>
- Gupta H. K., & Rastogi B. K. Dams and Earthquakes. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 1975. 229 p.
- Rabinovich, A. B. Seiches and Harbor Oscillations. In Y. C. Kim (Ed.), *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*. Singapore, *World Scientific Publ.*, 2004, 193–236. https://doi.org/10.1142/9789812819307_0009
- Ruzhich V. V., Vakhromeev A. G., Levina E. A., Sverkunov S. A., & Shilko E. V. Control of Seismic Activity in Tectonic Fault Zones Using Vibrations and Fluid Injection in Deep Wells. *Physical Mesomechanics*, 2021, Vol. 24, 85–97. <https://doi.org/10.1134/S1029959921010124>
- Stancil D. D., Adamson P., Alania M., et al. Demonstration of communication using neutrinos. *Modern Physics Letters A*, 2012, Vol. 27, Is. 12, 10 p. <http://doi.org/10.1142/S0217732312500770>

PAVLO ANAKHOV

Department of Infrastructure Systems, National Power Company “Ukrenergo”, 32, Symona Petlyury str., Kyiv, 01032, Ukraine, e-mail: anakhov.pv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9169-8560>

POSSIBLE PROSPECTS FOR THE USE OF MICROSEISMS, CAUSED
BY STANDING WAVES OF WATER BODIES

The purpose of researches – to find possible ways for use microseisms, caused by standing waves in water bodies. According to the theory, standing waves arise when two traveling waves, moving towards each other collide – the first of them falling on an obstacle and the second one reflected from the obstacle. The conditions of excitation the waves and swinging of damped waves are presented. Evidence is presented that the wave pressure at the antinodes at the boundaries of the separation of the water medium and the soil is proportional to the wave amplitude on the water. The possibility for use standing waves in seismic exploration is confirmed by the data of observations of storm microseisms at remote stations. To increase the transmission range, it is advisable to use long-period microseisms, which provide low damping. One method to reduce the risk of an earthquake involves the initiation of weak seismicity by artificial sources in order to periodically relieve excess tectonic stress. One of the most powerful sources of lithospheric deformations is the natural oscillations of the liquid level in large water bodies. The idea for use the resonance effect of tidal-seiches vibrations to initiate weak seismicity is considered. Artificial excitation of the seiche is achieved when controlling a water culvert. Transmission network supports multiplexing of communication channels with separation by physical nature and transmission media. When managing culverts, seiches oscillations are artificially swung with phase-shift oscillations. Phase shift of the exciting wave relative to the damping wave, in turn, causes variations in seiche periods, which leads to proportional variations in the periods of microseisms. This solution allows to encode messages by the durations of seiches and microseisms, with their subsequent transmission. Hydrological observations revealed the effect of the dependence of surface seiches periods on water depth. The solution of the inverse problem, with the measured seiches period, allows calculating the water body depth. Method of remote measurement has been proposed using the analysis of ground oscillations of seiches origin. Analysis of variations in the electromagnetic radiation of the geological environment has showed that they are determined by the mechanisms of energy conversion of these processes into the energy of the electromagnetic field. The study of these variations allows to calculate the depth of the water body. Originality. Methods for use microseismic oscillations excited by standing waves are considered in detail. The methods of managing standing waves are presented: by regulating the depth of the reservoir; by regulating the period of the exciting wave; by regulating the phase of the exciting wave. The dependence of the amplitude of the resulting oscillation of standing waves on the phase of the exciting oscillation of the same period was investigated. Innovative developments protected by patents of Ukraine are presented, which imply the economic use of microseisms caused by standing waves of water bodies. It is noted that both the necessity and the possibility for use one or another method of performing a given specific task are determined by internal and external objective conditions that exist at a certain time in a certain space.

Key words: damping of waves; exciting of waves; seiches; surf beat; swinging of waves.

Надійшла 01.11.2022 р.