



КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ СТОЯЧИХ ХВИЛЬ ВОДОЙМ

Розроблена порівняльна характеристика стоячих хвиль водойм, сімейство яких включає озерні і прибережні сейші, тягун. Збудження і розгойдування стоячих хвиль є результатом дії зовнішніх по відношенню до водойми сил і створених для цього умов. Хвилі, в свою чергу, здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Розроблено алгоритм розрахунку сумарної ефективності заходів щодо комплексного використання енергії стоячих хвиль, який враховує нанесену шкоду і принесену користь.

К л ю ч о в і с л о в а: мікробароми, мікросейсми, сейші, стимулювання хвиль, тягун.

Вступ. Редакційною радою журналу "Винахідник і раціоналізатор", з метою популяризації винахідницької діяльності в енергетичному секторі економіки України, проводився конкурс "Мала поновлювальна енергетика – 2016". Кращим визначено проект "Стимулювання коливань сейшових хвиль у водосховищах електростанцій", автор Анахов П.В. [1]. Створення умов для резонансного збудження і розгойдування стоячих сейшових хвиль (власних коливань водойм) місячно-сонячними припливами, а також хвилями, що формуються при управлінні водопропускними гідропородами, дозволить підвищити виробіток електроенергії. Це положення детально обґрунтовано в статті [2].

Однак, сейші – не єдиний тип стоячих хвиль водойм, і виробіток гідравлічної енергії – не єдиний їх позитив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стоячі хвилі здійснюють обертально-поступальні рухи водних мас, які визначають вертикальні коливання хвиль і горизонтальні коливання течій. При цьому вони збуджують мікробароми і мікросейсми, як це показано на Рис. 1.

Стоячим хвилям і течіям, а також коливанням їхнього походження притаманні негативні риси, які наведені в Табл. 1.

Проте, не завжди стоячі хвилі започатковують небажані події. Навіть тягун, про який ніхто ще не сказав доброго слова, за певних умов у певний час можна безпечно використовувати для суспільних потреб. Можливі господарські застосування, що

складають позитивні риси стоячих хвиль, наведені в Табл. 2.

Метою статті є розробка механізму оцінки ефективності заходів щодо комплексного використання стоячих хвиль водойм, за якого враховуються нанесена шкода і принесена користь.

Виклад основного матеріалу. Збудження і розгойдування стоячих хвиль є результатом дії зовнішньої по відношенню до водойми збуджувальної сили і збуджуваної сили, за умови близькості їх періодів [6]:

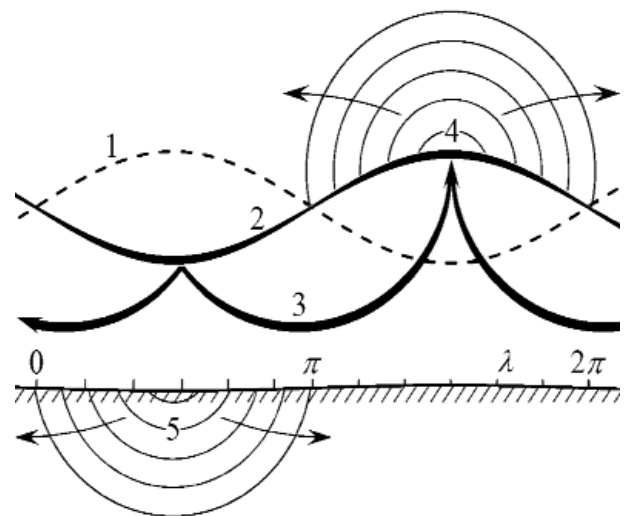


Рис. 1. Комплекс явищ, які виникають за дії стоячих водяних хвиль, в атмосфері, гідросфері та земній корі: 1 – амплітуда хвилі в момент часу $t = 0$; 2 – амплітуда хвилі в момент часу $t = \pi$; 3 – напрямок течії безпосередньо перед досягненням хвилею оптимального значення ($t \rightarrow \pi$); 4, 5 – мікробароми і мікросейсми в момент часу $t \rightarrow \pi$ (з [3], змінений)

Таблиця 1. Небажані події, які можуть виникнути при рухах стоячих хвиль і течій і заходи щодо захисту від них

Явища	Небажані події	Можливі наслідки	Заходи щодо захисту
Хвилі і течії	Гідрологічна небезпека, обумовлена дією окремих хвиль, суперпозицією одночасно діючих двох і більше хвиль, резонансом двох і більше хвиль [4]	Переливання через гребінь гідротехнічної споруди або розмивання проток і зменшення стійкості споруд аж до руйнування	Запобігання збудженню і розгойдуванню хвиль; придушення їх висоти; застосування хитання частоти; вдосконалення способів швартування та пристроїв для їх здійснення; підвищення точності гідрометеорологічних прогнозів; евакуація плавучих засобів і людей [4]
Хвилі і течії	Зміни форми окремих ділянок берега [4]	Порушення в роботі гідротех.ніч-них споруд, водного транспорту	Руйнування льодового покриву, з урахуванням впливу сейшових коливань на формування ослаблених місць [5]
Хвилі і течії	Утворення ослаблених місць у льоді, в т.ч. станових тріщин [4]	Зростання небезпеки льодових ударів	Розвантаження надлишкового тектонічного напруження шляхом ініціювання слабкої сейсмічності [6]
Хвилі і течії, мікросейсми	Підвищення сейсмічності депресійної зони водойми [4]	Зростання небезпеки землетрусів	



Таблиця 2. Господарські застосування явищ, які виникають при рухах стоячих хвиль

Явища	Способи застосування явищ	Ефекти від застосування
Хвилі і течії	Виробіток гідравлічної електроенергії [7]	Підвищення виробітку потужності ГЕС шляхом: збудження хвиль; максимізації висоти хвиль; вибору оптимального місця розміщення ГЕС [2, 7]
Хвилі і течії	Перемішування водних мас в умовах стратифікації і обертання водойм від замулення [3]	Підвищення біологічної продуктивності морських продуктів, а саме – збільшення біомаси водоростей і риби [8]
Хвилі і течії, мікросейсми, мікробароми	Вимірювання глибини водойми [9]	Дистанційний контроль повільних змін глибин віддалених водних об'єктів, інформація про які може бути обмеженою [9]
Мікросейсми	Сейсмічна розвідка [10]	Підвищення ефективності шляхом: збільшення дальності дії; підвищення імовірності достовірності прийнятого сейсмічного сигналу; контрольованого хитання частоти [10]

$$T_{out} \approx kT_S, \quad k = (1, 2, 3, \dots) \vee \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots\right). \quad (1)$$

де T_{out} – період збуджувальної сили; k – коефіцієнт пропорційності; \vee – знак диз'юнкції; T_S – період збудженої стоячої хвилі.

Сімейство стоячих хвиль включає тягун і сейші [4]. В свою чергу, розрізняють сейші замкнених (озера) і напівзамкнених (бухти) водних басейнів [11]. Порівняльна характеристика стоячих хвиль представлена в Табл. 3.

Суттєвою особливістю тягуну, період якого T_{sb} часто співпадає із періодами власних коливань, є його збудження зовнішніми інфрагравітаційними хвилями з періодом T_{ig} .

На відміну від тягуну сейші звичайно збуджуються одиничною довгоперіодною хвилею (похилом водної поверхні на значній площі), що може обумовлюватися наступними причинами: різкі зміни атмосферного тиску над водною поверхнею чи льодовим покривом; вітрове хвилювання, яке призводить до виникнення згонів і нагонів; накопичення води в одній частині водойми, викликане хвилею цунамі, потоками впадаючих і витікаючих рік або зливаю; сейсмічні явища; періодичні при-

пливоутворюючі сили Сонця і Місяця [4]. Суттєвою особливістю сейш є їх пов'язаність із довжиною водойм залежністю:

$$T_S = \lambda(L)/V_w, \quad (2)$$

де V_w – (фазова) швидкість руху стоячої хвилі.

Потенціал стоячих хвиль визначає вироблена ними енергія. Кількість енергії складають, по-перше, енергія хвиль W_w , максимуми яких у визначений час припадають на лінії пучностей (див. Рис. 1), по-друге, енергія течій W_c , максимуми яких припадають на створи вузлових ліній:

$$W_w = W_w + W_c. \quad (3)$$

Максимальні енергії хвиль і течій розраховуються за формулами:

$$W_w = (P/m) l \Delta t, \quad (4)$$

$$W_c = (P/m^2) s \Delta t, \quad (5)$$

де P – потужність водотоку; P/m – питомий потік енергії на одиницю ширини хвильового фронту і на одиницю довжини хвилі вздовж напрямку її поширення, кВт/м; P/m^2 – густина потужності потоку води течії, кВт/м²; l – довжина хвильового фронту; s – водний переріз течії; Δt – інтервал дії хвиль (сеанс коливань), який є функцією часу ре-

Таблиця 3. Порівняльна характеристика стоячих хвиль водойм

Тип стоячих хвиль	Вид водойми	Параметри і характеристики			
		L^1	$\lambda_S(L)^2$	$T_S(T_{ig})^3$	$\tau(T_S)^4$
Озерні сейші	Замкнута	L_R	$\lambda_1 = 2L_R$	$T_1 \gg \frac{1}{2}T_{ig}$	$\tau \gg T_1$
Прибережні сейші	Напівзамкнута, що з'єднується протокою із: водоймою порівняної довжини водоймою більшої довжини	$L_H \sim L_S$	$\lambda_0 = 4L_H$	$T_0 \gg \frac{1}{2}T_{ig}$	$\tau > T_0$
Тягун			—	$T_{sb} \approx \frac{1}{2}T_{ig}$	$\tau \sim T$
Прибережні сейші		$L_H \ll L_S$	$\lambda_0 = 4L_H$	$T_0 \gg \frac{1}{2}T_{ig}$	$\tau \sim T_0$

¹ порівняння довжин суміжних водойм: L_R – водосховищ, L_H – бухт, L_S – моря;

² залежність довжини нижчих мод сейш (першої для замкнутої водойми, нульової – для напівзамкнутої) від довжини водойми $\lambda_S(L)$ [11];

³ порівняння періодів стоячих хвиль із періодами збуджуючих тягун (період якого становить T_{sb}) інфрагравітаційних хвиль, що надходять з боку відкритого моря $T_S(T_{ig})$ [11];

⁴ порівняння часу релаксації хвиль із їх періодом $\tau(T_S)$.



лаксації τ , представленого в Табл. 3.

Хвилі у відповідь на збудження здійснюють як руйнівну (негативні впливи на довкілля), так і творчу (позитивні впливи) роботу (див. Табл. 1, 2). При комплексному використанні стоячих хвиль необхідно враховувати нанесену шкоду і принесену користь. Кількість спожитої при цьому енергії відповідає кількості виробленої.

Розглядатимемо енергію, якій не знайшлося застосування і якої до того ж не вистачило на реалізацію небажаних подій, як використану на перемішування водних мас. Тоді кількість засвоєної при комплексному використанні хвиль енергії розраховуватимемо за формулою:

$$W_{w,c} = \sum_i^n W_i k_i \eta_i \Delta t_i + \sum_j^m W_j k_j \eta_j \Delta t_j, \quad \sum_i^n k_i + \sum_j^m k_j = 1, \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m,$

де i – кількість заходів щодо захисту від небажаних подій; j – кількість способів застосування; W_i, W_j – кількість енергії, спожитої для започаткування небажаних подій і господарського застосування; k_i, k_j – коефіцієнти використання енергії; η_i, η_j – коефіцієнти корисної дії; $\Delta t_i, \Delta t_j$ – інтервали часу проведення заходів щодо захисту від небажаних подій і господарського застосування стоячих хвиль.

Алгоритм розрахунку сумарної ефективності заходів щодо комплексного використання енергії стоячих хвиль водойм представлено на Рис. 2.

Висновки. Стоячі хвилі здійснюють обертально-поступальні рухи водних мас, які визначають вертикальні коливання хвиль і горизонтальні коливання течій, крім того збуджуючи мікробароми і мікросейсми. Для повноцінного аналізу поведінки і розрахунку ефективності використання стоячих хвиль, сімейство яких включає озерні і прибережні сейші та тягун, розроблена їх порівняльна характеристика.

Збудження і розгойдування стоячих хвиль, потенціал яких визначає вироблена ними енергія, є результатом дії зовнішніх по відношенню до водойми сил і створених для цього умов. Хвилі, в свою чергу, здійснюють як руйнівну, так і творчу роботу. Розроблено алгоритм розрахунку сумарної ефективності заходів щодо комплексного викори-

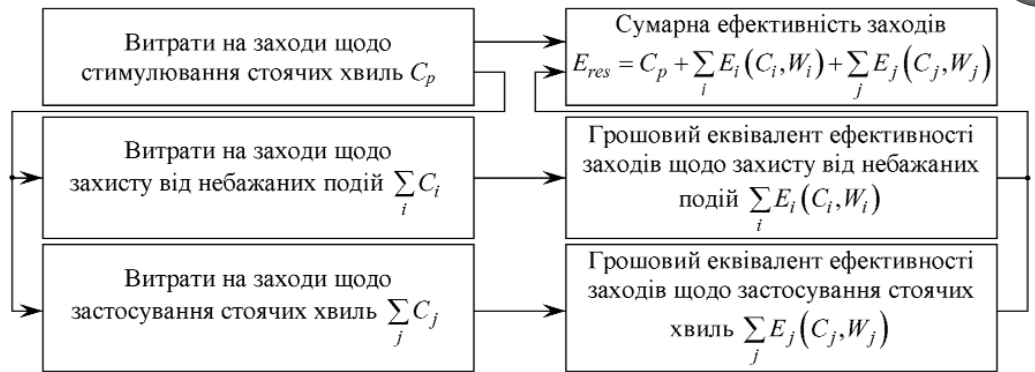


Рис. 2. Алгоритм розрахунку сумарної ефективності заходів щодо комплексного використання енергії стоячих хвиль водойм

стання енергії стоячих хвиль водойм, який враховує нанесену шкоду і принесену користь. Порівняння величин очікуваної ефективності заходів дасть змогу об'єктивно оцінити ефективність комплексного використання енергії стоячих хвиль водойми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конкурс "Мала поновлювальна енергетика – 2016" завершено! // Винахідник і раціоналізатор. – 2016. – № 6. – С. 2.
2. Анахов П.В. Возможные перспективы использования сейшових хвиль в гидроэнергетиці України / П. В. Анахов // Гідроенергетика України. – 2016. – № 1–2. – С. 10–12.
3. Анахов П.В. Сейшовий механізм формування руху водних мас / П.В. Анахов // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т. 1. – С. 131–135.
4. 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.
5. Анахов П. Високоточне руйнування льодового покриву водойми / П. Анахов // Водне господарство України. – 2014. – № 3 (111). – С. 22–24.
6. Анахов П.В. Використання мікросейсмогенних явищ для розвантаження тектонічних напружень // Геофізический журнал. – 2014. – Т. 36, № 5. – С. 128–142.
7. Анахов П.В. Підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій за рахунок енергії сейшів / П. В. Анахов // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №3(37). – С. 51–55.
8. Ostrovsky I. Seiche-induced mixing: Its impact on lake productivity / I. Ostrovsky, Y. Z. Yacobi, P. Walline, I. Kalikhman // Limnology and Oceanography. – 1996. – Vol. 41, Iss. 2. – P. 323–332.
9. Анахов П.В. Дистанційний контроль глибини водойми з використанням багатоканального доступу до полів сейшового походження / П. В. Анахов, С. П. Анахов // Геоінформатика. – 2016. – №1 (57). – С. 79–83.
10. Анахов П.В. Сейсмична розвідка методом хитної частоти / П. В. Анахов // Геоінформатика. – 2015. – № 2 (54). – С. 46–51.
11. Rabinovich A.B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapore: World Scientific Publ., 2009. – P. 193–236.

