



## МОЖЛИВІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СЕЙШОВИХ ХВИЛЬ В ГІДРОЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

*Гідроенергетичний потенціал України складають енергії стоку, хвиль і течій. Розглянуто події резонансного збудження місячно-сонячними припливами сейшових хвиль, частота яких залежить від глибини води. Дотримання умови припливно-сейшового резонансу і резонансу, що формується при управлінні водопропускною гідроспорудою, дозволить підвищити виробіток електроенергії.*

*К л ю ч о в і с л о в а: гідроенергетичний потенціал, припливно-сейшовий резонанс, сейшова хвиля.*

Загальний (теоретичний) гідроенергетичний потенціал України складає понад 44 млрд. кВт·год. Економічно ефективний потенціал становить 17,5 млрд. кВт·год., з яких використовується близько 11 млрд. кВт·год. (63 %). Тому головним пріоритетом розвитку гідроенергетики, з метою освоєння 6,5 млрд. кВт·год. невикористовуваних ресурсів, визначене будівництво додаткових великих гідропотужностей. Другим пріоритетом є освоєння потенціалу малих річок України, який становить 28% загального гідроенергетичного потенціалу (12,5 млрд. кВт·год.) [1].

Потенціал, який оцінюється об'ємом природного стоку, без урахування зумовленого насосним і турбінним режимами роботи ГАЕС кругообігу, можна розрахувати за формулою [2]:

$$P = \rho g \bar{Q} H = 9,81 \bar{Q} H, \quad (1)$$

де  $P$  — потужність водного потоку, кВт;  $\rho$  — густина води;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — прискорення вільного падіння;  $\bar{Q}$ ,  $H$  — середні витрати води і падіння річки на вибраній ділянці, відповідно.

Гідроенергетичний потенціал Азовського і Чорного морів, водосховищ ГЕС та ГАЕС об'єднує енергії хвиль і течій. Повідомляється, що питомий потік енергії тільки вітрових хвиль в Азовському морі становить 3 кВт/м, Чорному — 6–8 кВт/м, а сумарна потужність хвиль, що набігають на Чорноморське узбережжя, складає 14,7 млн. кВт [3].

Потенціал водойм можна розрахувати за формулою [4]:

$$\frac{P}{m} = \frac{\rho g^2 A^2 T}{8 \pi} = 3,9 A^2 T;$$

$$\frac{P}{m^2} = \rho \frac{V^3}{2} = 0,5 V^3, \quad (2)$$

де  $P/m$  — питомий потік енергії на одиницю ши-

рини хвильового фронту і на одиницю довжини хвилі вздовж напрямку її поширення, кВт/м;  $P/m^2$  — густина потужності потоку води течії, що рухається зі швидкістю  $V$ , кВт/м<sup>2</sup>,  $A = h/2$  — амплітуда хвилі;  $h$  — висота хвилі;  $T$  — період хвилі.

Довгоперіодні місячно-сонячні припливи, будучи «ні хвилями, ні течіями», розглядаються індивідуально. Високоточна передбачуваність часу їх коливань в Азово-Чорноморському басейні нівелиюється малою величиною. Про спостереження припливів в інших водоймах не повідомляється.

На відміну від припливних, співрозмірні з ними по частоті сейшові хвилі можуть мати значні величини. Наприклад, в Севастопольській бухті амплітуда сейш досягає 40 см [5]. Другою особливістю сейш є їх притаманність усім водоймам, оскільки сейші є власними коливаннями водойм. Третьою особливістю сейш є їх погана передбачуваність, що обумовлено складністю прогнозування натурних характеристик збуджувальної сили. На Рис. 1 показано теоретичні і спостережені сейшові коливання рівня і течій.

На думку академіка І. Курчатова, в гідрологічному житті всякого водного басейну можна знайти елементи того ж періоду, і вочевидь ці елементи завжди можуть слугувати збуджувальною силою для басейну. Причому особливої важливості набуває збіг частот власних коливань із зовнішніми силами [8].

У спектрі хвиль Кандалакської затоки Білого моря (Росія) явно виражені коливання рівня із періодом 6 годин 12 хвилин. Ак. В. Шулейкін визначив, що це явище викликане резонансом власних коливань води в затоці з першою гармонікою місячного припливу [9].

Аналіз спостережень довгоперіодних хвиль для трьох пунктів Далекосхідного регіону, розташованих в Росії (бухт Малокурульська і Крабова на березі о. Шикотан, затоки Касатка на о. Ітуруп)



виявив ефект модуляції сейшових коливань припливною хвилею [10].

У ряді водойм океану спостерігається приплив подвійної висоти – на південному узбережжі Англії в протоці Солент і порту м. Саутгемптон, а також біля о. Портленд, що за 90 км на захід від Саутгемптона; в порту Ден-Хелдер (Нідерланди); в затоці Баззардс (США). Умовою утворення явища є додавання до основного тону місячного припливу коливання більш високої частоти. Ним може бути збуджена припливом сейшова хвиля [11].

Відносна амплітуда збудженої сейшової хвилі [12]

$$A_S = \left[ \left( 1 - \frac{f_{out}}{f_S} \right)^2 + q^{-2} \left( \frac{f_{out}}{f_S} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad (3)$$

де  $f_S$  – частота сейш;  $f_{out}$  – частота збуджувальної хвилі;  $q$  – добротність водойми, яка визначає втрати енергії в коливальній системі і ширину смуги частот резонансу.

Умову припливно-сейшового резонансу як селективного відгуку водної маси на вплив із частотою, близькою до частоти власних коливань водойми, запишемо у вигляді [13]:

$$f_{out} \approx n f_S, \quad n = (\bar{1}; n) \vee (\bar{1}; 1/n), \quad (4)$$

де  $n$  – коефіцієнт;  $\vee$  – знак диз'юнкції (логічне АБО).

Зміна глибини озера Севан (Вірменія) в минулому сторіччі викликала зміну частоти сейш. При аналізі явища виявлена закономірність модулювання частоти власних коливань водойми функцією глибини води. Ефект можна пояснити узагальненою формулою Меріана для прямокутного басейну з горизонтальним дном:

$$f(t)_S^{ab} = 1800 \sqrt{g D(t)} \sqrt{\left( \frac{a}{L(t)} \right)^2 + \left( \frac{b}{W(t)} \right)^2},$$

$$L(t) = \text{const}, \quad W(t) = \text{const}, \quad (5)$$

де  $f(t)_S$  – закон зміни частоти сейш;  $a = \bar{1}; a$ ,  $b = \bar{1}; b$  – кількість вузлів поздовжньої і поперечної хвиль, відповідно;  $D, L, W, D(t), L(t), W(t)$  – характерні глибина, довжина, ширина басейну і закони їх зміни, відповідно.

Дотримання умови припливно-сейшового резонансу має на увазі вибір створу підпірної гідротехнічної споруди та визначення глибини водосховища. Результатом є, по-перше, збудження власних коливань водосховища і розгойдування

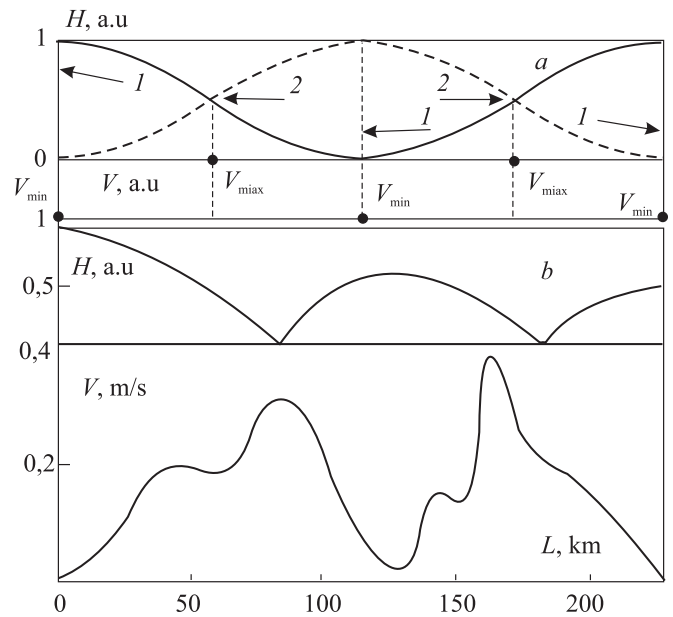


Рис. 1. Розподіл по довжині водойми відносних висот двовузлових сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними сейшових течій: *a* – теоретичні, в замкнутому прямокутному басейні з горизонтальним дном (зверху суцільною лінією профілі хвилі в момент часу  $t$  і пунктирною – в момент  $t+T/2$ , 1, 2 – пучність і вузол хвилі, відповідно [6]; знизу відносні швидкості течій; символами • відмічені рівні [7]); *b* – спостережені в Каховському водосховищі (зверху висота коливань, знизу середня швидкість течій, *L* – відстань від греблі Каховської ГЕС [6])

затухаючих сейш постійно діючою місячно-сонячною припливною хвилею, по-друге, збільшення амплітуди сейшових коливань рівня і швидкостей спричинених ними сейшових течій. Така технологія може розглядатися як оптимізація припливної ГЕС.

Водопрпускні гідротехнічні споруди водосховищ при наповненні/скиданні води імітують природний приплив/відплив. Використання технічної реалізації припливу – пропуску води – дозволяє створити незалежну або мало залежну від обумовлених зовнішніми впливами варіацій рівня води водну обстановку водосховища. Фактична заміна припливу місячно-сонячного на такий, що формується при управлінні водопрпускнуою гідроспорудою, дозволить підвищити виробітку електроенергії хвильових ГЕС [14].

### Висновки.

Гідроенергетичний потенціал України, на додачу до енергії стоку, складають енергії хвиль і течій. Причому сейшові хвилі і течії притаманні всім водоймам, і можуть мати значні величини.

Розглянуто події резонансного збудження місячно-сонячними припливами сейшових хвиль, частота яких залежить від глибини води.

Дотримання умови припливно-сейшового резонансу при наповненні водосховищ може розглядатися як оптимізація припливної ГЕС.



Заміна припливу місячно-сонячного на такий, що формується при управлінні водопропускною гідропорудою, дозволить підвищити виробіток електроенергії хвильовими ГЕС.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Суходоля О.М., Сидоренко А.А., Безун С.В., Білуха А.А.* Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України. Аналітична доповідь / За ред. Суходолі О.М. – К.: НІСД, 2014. – 54 с.
2. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА и окружающая среда / Под общ. ред. Ю. Ландау, Л. Сиренко: Монография. – К.: Либра, 2004. – 484 с.
3. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє: В 5 кн. Кн. 5: Книга 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. [Електронний ресурс] / [Т.О. Бурячок, З.Ю. Буцьо, Г.Б. Варламов та ін.] – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua>.*
4. *Возобновляемые и вторичные источники энергии: ч. 1 / сост. В. М. Житаренко. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 200 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/1040>.*
5. *Горячкин Ю.Н.* Сейши в Севастопольской бухте / Ю.Н. Горячкин, В. А. Иванов, Л.Н. Репетин, Т.В. Хмара // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 342–353.
6. *Судольский А.С.* Динамические явления в водоемах / – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 263 с.
7. *Шевченко Г.В., Ивельская Т.Н.* Цунами и другие морские опасные явления в портах Сахалинской области по результатам инструментальных измерений / Мореходство и морские науки – 2012: избранные доклады четвертой Сахалинской региональной морской научно-технической конференции (5–7 сентября 2012 г. и 12 февраля 2013 г.) / Под ред. В.Н. Храмушина. – Южно-Сахалинск: Сахалинская областная типография, 2013. – 300 с. – С. 143–165.
8. *Курчатова И.В.* Сейши в Черном и Азовском морях / Избранные труды. – Т. 1. – М.: Наука, 1982. – С. 382–391.
9. *Шулейкин В.В.* Физика моря. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.
10. *Ковалев Д.П.* Исследование особенностей длинноволновых процессов в прибрежной зоне океана. Автореф. дис... канд. ф.-м. наук: 25.00.28 / Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН. – Владивосток, 2002. – 19 с.
11. *Bowers D.G., Macdonald R.G., McKee D., Nimmo-Smith W. A.M., Graham G.W.* On the formation of tide-produced seiches and double high waters in coastal seas // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2013. – Vol. 134. – P. 108–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.014>.
12. *Rabinovich A.B.* Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapore: World Scientific Publ., 2009. – Pp. 193–236.
13. *Анахов П.В.* Використання мікросейсмогенних явищ для розвантаження тектонічних напружень // Геофізичний журнал. – 2014. – Т. 36, № 5. – С. 128–142.
14. *Пат. 85347* України, МПК F03B 13/12. Спосіб підвищення ефективності хвильової гідроелектростанції / Анахов П.В., Анахов С.П. – №u201309021; заявл. 18.07.2013; опубл. 11.11.2013; Бюл. № 21.

© Анахов П. В., 2016

