

УДК 551.466.6.001.57

<sup>1</sup>К.І. Капітанчук, канд. техн. наук, проф.<sup>2</sup>П.І. Греков, канд. техн. наук, доц.<sup>3</sup>В.В. Овсянкін, дир.

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГЛИБИНИ ЗАНУРЕННЯ МОРСЬКОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ВИСОТИ ХВИЛЬ

<sup>1,2</sup> НАУ, кафедра авіаційних двигунів

E-mail: kafad@nau.edu.ua

<sup>3</sup>Науково-виробнича фірма "Крок-1"

*Розроблено методику розрахунку глибини занурення морської енергетичної станції з робочим елементом роторного типу при збільшенні висоти морських хвиль.*

*Developed method of calculation of depth immersion of the marine power station with the taking in element of rotor type at the increase of height of marine waves.*

### Вступ

Потужність хвиль Світового океану становить близько 10–90 млрд. кВт, 2,7 млрд. кВт з яких може бути реально використано людством [1]. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє використовувати енергію морських хвиль лише в прибережних зонах, де вона не перевищує 80 кВт/м.

Потужність морських хвиль Чорного та Азовського морів значно менша і становить 6–8 кВт/м, тобто з кожного погонного метра фронту хвилі можна створити електричну енергію для забезпечення восьми квартир, а з фронту в 1000 м – десяти середніх підприємств, розташованих на березі, наприклад, нафтогазовидобувних підприємств у вигляді капітальних будинків.

### Постановка проблеми

Енергетична стратегія України до 2030 р. – перетворення енергії морських хвиль в електричну – перспективна в розвитку паливно-енергетичного комплексу. Питома густина морської хвильової енергії, що належить до одиниці площі поверхні, в десять разів більша за густину вітрової енергії і значно перевищує густину сонячної енергії.

Питома потужність хвиль, що створюються на великих глибинах при значній віддаленості від берега, за величиною на порядок вища за хвилі в прибережній зоні.

Крім того, процес перетворення енергії морських хвиль в електричну не пов'язаний з руйнівним екологічним впливом на природу. Отже, використання енергії морських хвиль для України необхідне, а створення енергетичних машин для роботи в морі актуальне.

### Аналіз досліджень і публікацій

Використання енергії морських хвиль поки знаходиться на стадії побудови експериментальних установок різних конструкцій.

Експериментальні установки класифікуються за такими ознаками:

- типом носія;
- призначенням;
- розташуванням;
- способом перетворення та знімання енергії;
- діапазоном висот хвиль.

Морські хвильові енергетичні установки досліджувались у США, Англії, Данії та Японії.

У сучасних хвильових установках енергія хвиль може або безпосередньо перетворюватися в енергію обертання вала генератора, або служити основою приводу (через редуктор) турбіни, на одному валу з якою знаходиться генератор.

Усі відомі хвильові установки складаються з чотирьох основних частин:

- робочого органа (елемента, що відбирає енергію);
- робочого тіла;
- силового перетворювача;
- системи кріплення.

Основний недолік усіх створених станцій – нестійкість до руйнівної дії морських хвиль у період різкого підвищення сили вітру, коли умови роботи станції відрізняються від розрахункових, тому багато уваги приділяють вивченню можливості занурення (при потребі) станції на безпечну глибину без вимикання її з робочого режиму.

Глибина збудження хвилями статичного напору водойми залежить переважно від геометричних показників хвилі [2].

Тому для висоти хвилі від 0,3 до 3 м із рахувань зменшення собівартості електростанції і її безпечної роботи слід орієнтуватися на використання потенційної енергії приблизно з глибин від 3 до 30 м.

При висоті хвилі в 5–6 м рекомендовано використання станції на глибині 50–60 м, а при висоті хвиль 10–20 м – 100–200 м.

Разом з тим, виникає потреба у визначенні кінематичних та енергетичних параметрів хвилі на глибині за відомими параметрами хвилі на поверхні моря для можливості виконання розрахунків геометричних даних робочого та інших елементів станції.

Українська науково-виробнича фірма “Крок-1” розробила і активно впроваджує проект сучасної морської гідроелектростанції потужністю до 20 МВт з робочим елементом роторного типу, що зображена на рис. 1.

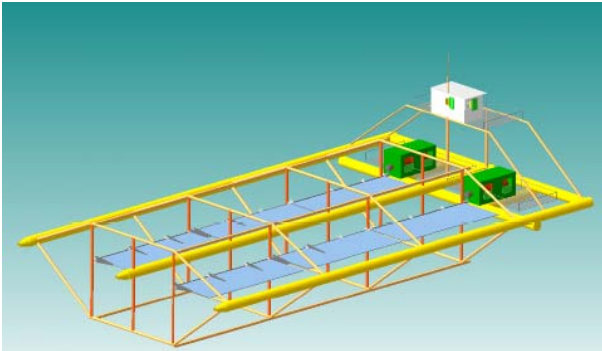


Рис. 1. Варіант платформи морської енергетичної електростанції за типом тримарану

Оптимальним режимом роботи цієї станції визнано режим, коли висота хвилі збігається з максимальним діаметром робочого елемента. Отже, при будь-якому збільшенні величини морських хвиль від розрахункових величин для роботи станції вона повинна підтоплюватися на таку глибину, де амплітуда коливань хвиль буде розрахунковою.

**Теоретичні основи методики розрахунку глибини занурення морської енергетичної станції**

Розглянемо профіль вільної поверхні морської хвилі в момент часу  $t=0$  в координатах  $x-y$ , де вісь  $x$  напрямлена горизонтально вздовж руху фронту хвилі, а вісь  $y$  – вертикально вверх (рис. 2, а).

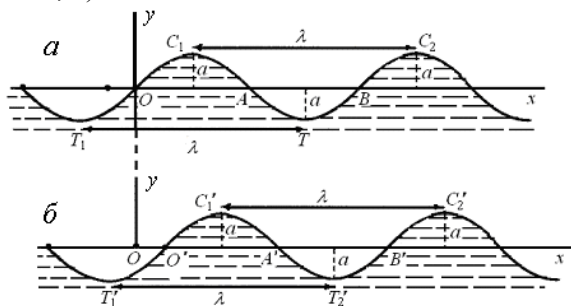


Рис. 2. Профіль вільної поверхні прогресивної гармонічної хвилі:

$a - t = 0$ ;  $b - t \neq 0$ ;

O, A, B, O', A', B' – вузлові точки хвилі; C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C'<sub>1</sub>, C'<sub>2</sub> – положення гребенів; T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T'<sub>1</sub>, T'<sub>2</sub> – положення впадін

При цьому рівняння вертикального перерізу вільної поверхні в момент часу  $t$  буде мати вигляд  $y = a \sin(mx - nt)$ ,

(1)

де  $a$  – амплітуда коливань простої гармонічної прогресивної хвилі;  $m, n$  – постійні величини.

У будь-який момент часу  $t \neq 0$  цей профіль пересовується на величину відрізка  $00'$  відносно начала системи координат, що відображено на рис. 2, б.

Оскільки профіль хвилі в момент часу  $t$  має той самий вигляд, що і в момент часу  $t = 0$  відносно системи координат, початок якої перенесено в точку  $0'$ , то рівняння (1) може бути записано у вигляді

$y = a \sin m(x - nt/m)$ .

(2)

При цьому  $00' = nt/m$  – відрізок, на величину якого перемістився профіль.

Отже, рівняння (2) характеризує рух, при якому крива  $y = a \sin(mx)$  рухається в напрямку осі  $x$  зі швидкістю  $c = n/m$ , яка має назву швидкості розповсюдження хвилі.

Форма вільної поверхні залишається незмінною як в момент часу  $t$ , так і в момент часу  $t + \frac{2\pi}{n}$ .

Звідси довжина хвилі визначається

$\lambda = \frac{2\pi}{m}$ ,

а період хвилі

$\tau = \frac{2\pi}{n}$ .

Таким чином, рівняння профілю хвилі може бути подано у вигляді

$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - ct)$ .

Рівняння (2) описує рух у двох вимірах, тобто рух, що можна уявити як рух рідини між двома вертикальними площинами, які розташовані на одиничній відстані одна від другої.

Розглядаючи процес розповсюдження хвилі висотою  $\eta = \eta(x, t)$  над середнім рівнем на глибині  $h$  відносно незбудженого рівня вздовж осі  $x$ , запишемо рівняння вільної поверхні у вигляді  $y - \eta - h = 0$ .

Поверхня рухається разом з рідиною, тому

$\frac{d(y - \eta - h)}{dt} = 0$ .

Отже,

$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0$ .

(3)

Згідно з лінійною теорією квадратів та добутками всіх величин та похідних у рівнянні (3) можна знехтувати.

Тому на вільній поверхні це рівняння набуває вигляду

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \psi}{\partial x}, \quad (4)$$

де  $\psi$  – функція струменя.

З тих самих міркувань лінійності умова (3) виконується вздовж поверхні  $y = h$ .

Рівняння (4) є кінематичною умовою на вільній поверхні для хвильових профілів малої висоти і нахилу. Згідно з рівнянням (4) для безвихрових хвиль, що мають профіль

$$\eta = a \sin(mx - nt),$$

функція струменя  $\psi$  при  $y = h$  пропорційна величині  $\sin(mx - nt)$ . Отже, розв'язання рівняння (4) має вигляд комплексного потенціалу

$$w = b \cos(mz - nt).$$

Тоді на вільній поверхні визначимо

$$\psi = -b \sin(mx - nt) \operatorname{sh}(mh).$$

Підстановка величини  $\psi$  у рівняння (4) приводить до виразів:

$$bm \operatorname{sh}(mh) = an;$$

$$w = \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz - nt),$$

де  $c$  – швидкість розповсюдження хвилі.

Умова для тиску на вільній поверхні для морських хвиль може бути подана у вигляді [3]:

$$g\eta = \frac{\partial \varphi(x, y, t)}{\partial t}, \quad (5)$$

де  $\varphi$  – функція вибору в рівнянні тиску.

Рівняння (5) дозволяє визначити величину підвищення середнього рівня моря при відомому значенні  $\varphi$ . Комбінуючи кінематичне граничне рівняння (4) з граничною умовою для тиску (5), визначимо

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - g \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0, \quad y = h.$$

У випадку простої гармонійної хвилі

$$w = \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz - nt);$$

$$\eta = a \sin(mx - nt).$$

Якщо перенести початок координат на незбіджену поверхню, комплексний потенціал перетворюється до вигляду

$$\begin{aligned} w &= \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz + mih - nt) = \\ &= ac [\cos(mz - nt) - i \sin(mz - nt)]. \end{aligned}$$

При  $h \rightarrow \infty$  комплекс  $\operatorname{cth}(mh) \rightarrow 1$  і тому для хвиль на глибині

$$w = ace^{-i(mz-nt)}.$$

Для траєкторій окремих частинок води

$$\frac{d\bar{z}'}{dt} = -\frac{dw}{dz} = iacme^{-i(mz-nt)}, \quad \bar{z}' = ae^{-i(mx-nt)}e^{my},$$

$$\text{звідси } |\bar{z}'| = ae^{my}.$$

Траєкторії окремих частинок води являють собою кола радіуса  $a$ . Коли  $y \rightarrow -\infty$ , радіуси кіл зменшуються до нуля.

Для того, щоб дану акваторію моря можна було вважати глибокою, необхідно виконання умови  $\operatorname{cth}(mh) = 1 = \operatorname{th}(mh)$ .

При  $\operatorname{th} 2,65 = 0,99$  ця умова виконується у випадку виконання нерівності

$$mh = \frac{2\pi h}{\lambda} > 2,65.$$

За цією методикою розроблено програму і проведено розрахунки розповсюдження енергії морських хвиль з різними амплітудами, періодами коливань і швидкостями руху.

Один із фрагментів цих розрахунків для  $a = 0,5$  м і  $c = 5,5$  м/с зображено на рис. 3.

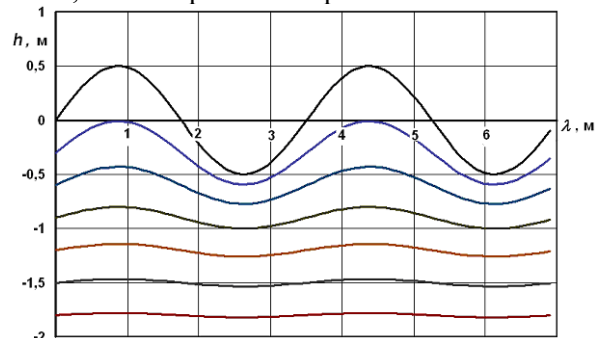


Рис. 3. Розрахунок амплітуди коливань гармонійної хвилі при збільшенні глибини

## Висновки

1. Занурення робочого елемента хвильової станції залежить від його геометричних розмірів і розрахункових енергетичних параметрів морських хвиль на поверхні.
2. Акваторію моря можна розглядати як глибоку, якщо його глибина перевищує половину довжини хвилі на поверхні.

## Література

1. *Енергетичні ресурси та потоки.* – К.: Укр. енцикл. знання, 2003. – 472 с.
2. *Иценко Ю.А.* Захват энергии взаимодействия глубин и волн Мирового океана // Энергия.– 2003. – №3. – С. 28–36.
3. *Милн-Томсон Л.М.* Теоретическая гидродинамика. – М.: Мир, 1964.– 655 с.

Стаття надійшла до редакції 18.10.06.