

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛІВ МОРСЬКИХ ХВИЛЬ НА ОСНОВІ ТРОХОЇДАЛЬНОЇ МОДЕЛІ

Савченко О.О.*

Національний університет цивільного захисту України (Харків)

Тел. 050-195-45-54

Анотація – наведено можливу схему механічного рушія перетвореної енергії хвиль моря на базі маятникової системи з рухомою точкою підвісу, та досліджено динаміку її дії за допомогою побудови фазових портретів.

Ключові слова – енергія морських хвиль, механічний рушій, перетвореної енергії хвиль моря, фазовий портрет.

Постановка проблеми. Використання енергії морських хвиль займає одне з чільних місць у низці поновлювальних джерел енергії. Загальноприйнятою вважається точка зору, згідно з якою енергію хвиль доцільно використовувати у відкритому морі, а не біля берегів, де рівень зазначеної енергії суттєво знижується внаслідок тертя об дно та зворотної циркуляції води.

В основі функціонування хвильових енергетичних станцій лежить силовий вплив хвиль на робочі органи, виконані у вигляді поплавків, маятників, лопаток, оболонки, тощо. Механічна енергія їх переміщень перетворюється в електричну за допомогою спеціально розроблених електрогенераторів [1,2]. Для обґрунтування схеми практичного використання цього різновиду джерела енергії необхідно мати описи профілів хвиль залежно від глибини. Дана робота являє собою певний крок до розв'язання цієї проблеми.

Аналіз останніх досліджень. До перетворювачів, що відслідковують поверхневий профіль хвилі, відноситься «качка Солтера» (рис.1), а також контурний пліт Коккереля (рис.2). Більш перспективними є перетворювачі, які використовують енергію коливання водяного стовпа у «колодязі» (рис.3). При набіганні хвилі на частково занурену порожнину відкриту під водою, стовп рідини у «колодязі» починає коливатися, викликаючи зміну тиску у порожнині над водою (це можна використати, наприклад, для руху турбін). До недоліків таких перетворювачів є велика матеріалоемність, низький К.К.Д. Але у випадку замерзання моря «колодязь» можна

* Науковий керівник: д.т.н., професор Куценко Л.М.

транспортувати під воду, що спрощує демонтаж установки і збільшує середньорічний коефіцієнт використання її потужності [4,5].

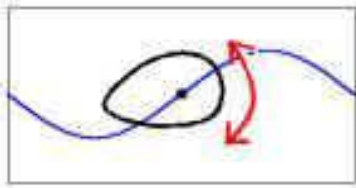


Рис.1. «Качка»
Солтера.

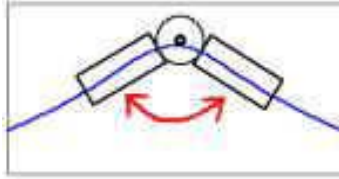


Рис.2. Пліт
Коккереля.

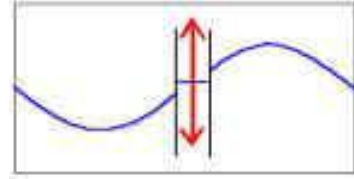


Рис.3. Коливання
водяного стовпа.

На рис. 1-3 напрямки дії механічних рухів перетвореної енергії морських хвиль показано стрілками.

Вигляд руху водяних часток під час хвилювання товщі води вперше було знайдено експериментальним шляхом. На рис. 4 наведено фото часток порошку сургучу в «схвильованій» воді, зроблене братами Веберами [1,2]. Пізніше ці спостереження були підтверджені теоретичними дослідженнями. Були виявлені такі геометричні властивості хвиль [4-5]: у підповерхневому прошарку рідини частки рухаються за еліптичними траєкторіями; рух часток з траєкторіями у вертикальних площинах здійснюється в одній фазі; у товщі води хвилі не викликають масопереніс рідини; потужність, яка переноситься хвилями, пропорційна квадрату їх амплітуди і періоду.

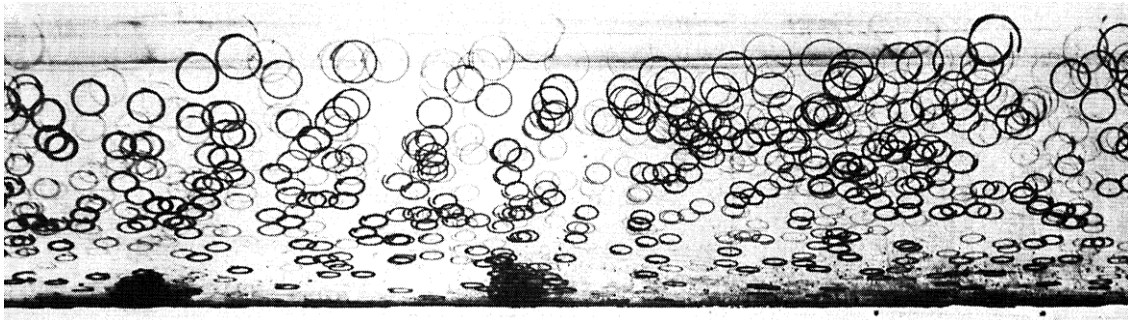


Рис. 4. Траєкторії часток порошку сургучу
в середовищі «схвильованої» води.

Для геометричних досліджень важливим є те, що частки, описують еліптичні траєкторії, а взагалі – описують трохойди. Тому актуальними будуть дослідження механічних рухів перетвореної енергії хвиль, які базуються на трохойдальних моделях хвиль.

Формулювання цілей статті. Розробити програмне забезпечення моделювання профілів морських хвиль у товщі води та на її поверхні, здійсненого на основі трохойдальної моделі формоутворення цих хвиль. Навести можливу схему механічного

рушія перетвореної енергії морських хвиль на базі трохоїдальних моделей хвиль.

Основна частина. Згідно теорії Герстнера [4,5] розглянемо форму поверхні хвилі у випадку, коли хвилювання поширюється праворуч (рис. 5). Видно, що на піднесенні водянні частки рухаються убік поширення хвиль, а в зануренні - у зворотну сторону. Позначаючи через l довжину хвилі, t — час оберту частки, рівний часу, протягом якого хвилювання поширюється на відстань l , нарешті, через v - швидкість поширення хвиль, тобто відстань, на яке пересуваються хвилі за одну секунду, одержуємо рівність $l = vt$.

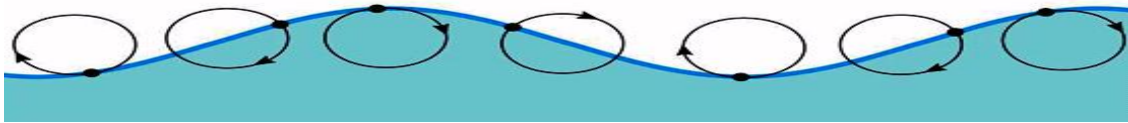


Рис. 5. Формоутворення хвилі згідно трохоїдальної моделі Герстнера.

Зазначимо, що опис хвилеподібного руху при великій глибині дна дає точний частковий розв'язок рівнянь гідродинаміки у вигляді Лагранжа [5]. Причина подібності зазначених розв'язків полягає в близькості профілів синусоїди і трохоїди. Координати будь-якої точки рідини в момент t виражаються в цьому русі такими функціями часу й координат a і b стосовно тієї ж точки в момент часу $t = 0$.

$$x = a + r \sin\theta \quad \text{і} \quad y = b + r \cos\theta, \quad (1)$$

де $r = Re - nb$, $\theta = 2\pi/\lambda (a - ct)$, $n = 2\pi/\lambda$, $c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ і R не більше $1/n$.

Рівняння кривої вільної поверхні перетину вертикальною площиною:

$$x - ct = R \sin\theta + \theta/n; \quad y = R \cos\theta. \quad (2)$$

Рівняннями (2) описана трохоїда, яка утворена точкою, розташованою на відстані R від центра кола радіуса $1/n$, яке котиться без ковзання по прямій паралельній осі X і знаходиться вище її на довжину $1/n$ (рис. 5). При цьому русі в кожному місці рідини відбуваються вихрові обертання, обертальні швидкості яких мають найбільшу величину на вільній поверхні й швидко зменшуються за глибиною. Слід зазначити, що трохоїдальна теорія хвиль Герстнера справедлива лише для правильних двовимірних хвиль, які спостерігаються у випадку вільних вітрових хвиль – тобто брижі (російською мовою – «зыби»). У випадку тривимірного вітрового хвилюванні орбітальні шляхи часток не будуть замкнутими круговими орбітами.

Для алгоритмічної реалізації трохіодальної моделі морських хвиль в плоскому вертикальному перерізі товщі води вважаємо, що великі і малі осі еліпсів зменшуються в глибину за експоненціальним законом. Тоді координати точки на еліпсі будемо обчислювати за формулами:

$$x = x_0 - Ae^{ky_0} \cos(kx_0 - wt); \quad (3)$$

$$y = y_0 - Be^{ky_0} \sin(kx_0 - wt),$$

де (x_0, y_0) – координати центра певного кола, A і B – амплітуди хвилі вздовж горизонталі і вертикалі, w – кругова частота, k – коефіцієнт послаблення хвилі.

Далі наведемо схему механічного рушія, призначеного для перетворення енергії хвиль моря за допомогою маятникової системи з рухомою точкою підвісу. Конструктивно механічний рушій складається з поплавка і зануреного вантажу, який має вигляд диска для зменшення опору води (рис. 6).

Передбачається, що точку підвісу маятника закріплено на поплавку, тому вона рухається по еліптичній траєкторії, а вага вантажу не викликає занурення поплавка. Крім того, завдяки конструктивному оформленню площина коливання маятника розташована у площині, перпендикулярній напрямку хвиль.

Рівняння траєкторії кріплення точки підвісу маятника задамо у загальному параметричному вигляді $x = X(t)$; $y = Y(t)$. У якості параметра коливань оберемо кут $\theta(t)$ відхилення тяги (довжиною одна умовна одиниця) вантажу (вагою одна умовна одиниця) відносно вертикалі. Диференціальне рівняння коливання маятника з рухомою точкою підвісу згідно роботи [6] оберемо у вигляді:

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} \theta(t) \right) + \left(\frac{d^2}{dt^2} X(t) \right) (\cos \theta(t)) + \left(\left(\frac{d^2}{dt^2} Y(t) \right) + 9,81 \right) (\sin \theta(t)) = 0. \quad (4)$$

Було складено програму розв'язання рівняння (4) залежно від таких початкових умов: $\Theta(0) = 0,5$; $\Theta'(0) = -0,5$. На рис. 7 наведено фазовий портрет коливання в системі координат $O\theta\theta'$. На рис. 8 наведено фазовий портрет маятника для початкових умов $\Theta(0) = 0$; $\Theta'(0) = 0$.

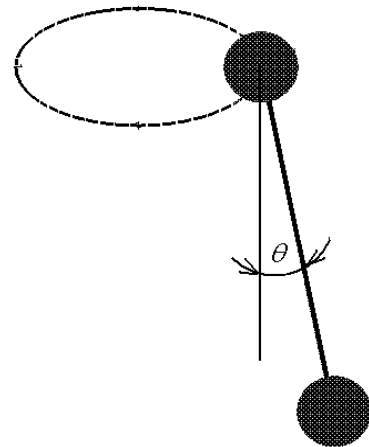


Рис. 6. Схема поплавкового рушія.

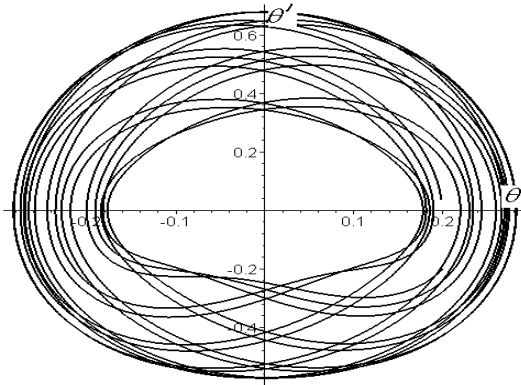


Рис. 7. Фазовий портрет коливання маятника для початкових умов:
 $\Theta(0) = 0,5$; $\Theta'(0) = -0,5$.

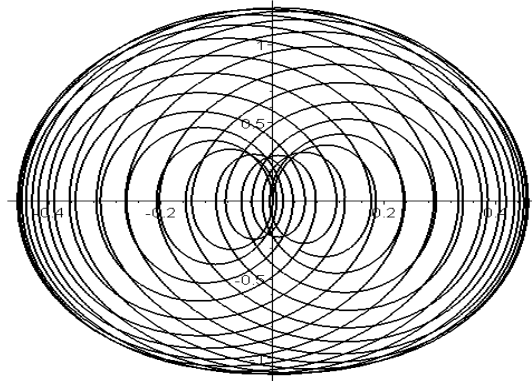


Рис. 8. Фазовий портрет коливання маятника для початкових умов:
 $\Theta(0) = 0$; $\Theta'(0) = 0$.

На рис. 9 зображено траєкторію вантажу маятника для початкових умов: $\Theta(0) = 0,5$; $\Theta'(0) = -0,5$, а на рис. 10 – для початкових умов: $\Theta(0) = 0$; $\Theta'(0) = 0$.

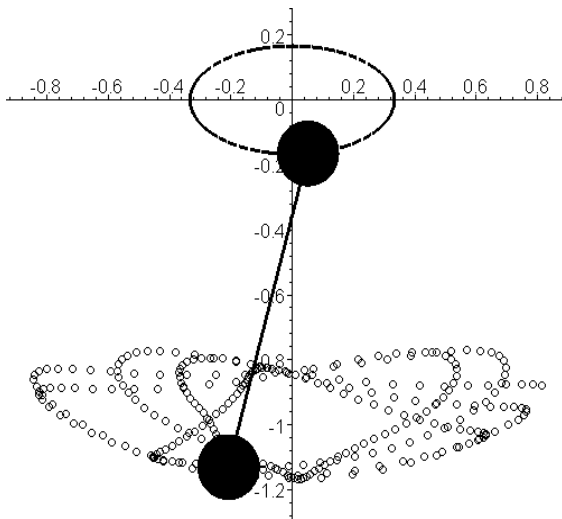


Рис. 9. Траєкторія вантажу маятника для початкових умов:
 $\Theta(0) = 0,5$; $\Theta'(0) = -0,5$.

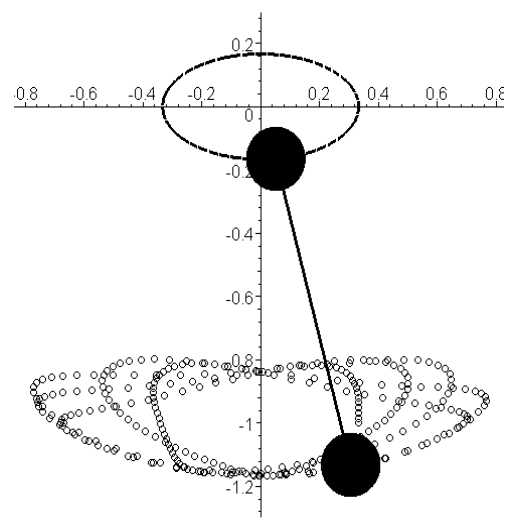


Рис. 10. Траєкторія вантажу маятника для початкових умов:
 $\Theta(0) = 0$; $\Theta'(0) = 0$.

Висновки. Моделювання профілів морських хвиль на основі трохіодальної моделі їх формоутворення дозволяє розраховувати рушій маятникового типу перетвореної енергії морських хвиль.

Література

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.

2. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-7>.
3. Анализ существующих волновых электростанций. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://krok-1.com.ua/development/konkurents.html>.
4. *Темеев С.А.* Динамическая модель механического привода модуля поплавковой волновой электростанции: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.28 / С.А. Темеев – М.: Институт океанологии, 2010 – 18 с.
5. *Ефремов И.А.* Колебательные процессы в поплавковых системах :автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / И.А. Ефремов. – Львов: Политехника, 1984 – 20 с.
6. *Bugari U.* Optimal Control of Motion of the System Based on Mathematical Pendulum with Constant Length / U. Bugari, J. Vukovi / Faculty of Mechanical Engineering (FME). – Belgrade, 2002. – Vol. 30. – P. 1-10.
7. *Савченко О.О.* Побудова профілів морських хвиль на основі трохойдальної моделі / О.О.Савченко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 4. «Прикладна геометрія та інженерна графіка». – Т. 51.– Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С. 187–193.
8. *Куценко Л.М.* Моделивання дії морських хвиль на глибині з метою використання їх енергії / Л.М.Куценко, О.О.Савченко // Енергозбереження в будівництві та архітектурі – Вип. 3 – К: КНУБА, 2012. – С. 40–49.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ МОРСКИХ ВОЛН НА ОСНОВЕ ТРОХОИДАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

А.А. Савченко

Аннотация – приведена схема механического движителя преобразованной энергии волн моря на базе маятниковой системы с подвижной точкой подвеса.

GEOMETRICAL MODELLING OF PROFILES OF THE SEA WAVES BASED ON THE TROCHOIDAL MODEL

A. Savchenko

Summary

The scheme of the mechanical propeller of the transformed energy of waves of the sea on the basis of orthogonal system with a mobile point of subweight is provided.