DOI:10.18372/2310-5461.53.16508

УДК 551.466.6.001.57

К. І. Капітанчук, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0003-3605-0977
e-mail: k.kapitanchuk@ukr.net**;**

М. П. Андріїшин, канд. техн. наук, доц.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-4439-3526
e-mail: andriishinmp@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТУЖНОСТІ ХВИЛЬОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА УМОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ АМПЛІТУДИ КОЛИВАННЯ ПОВЕРХНІ МОРЯ

Вступ

Енергія морських хвиль — найбільш розповсюджена відновлювальна енергія, яка представлена природою в найбільш сконцентрованому вигляді [1].

Світовий океан займає 75 % поверхні Землі і є гігантським акумулятором енергії Сонця. Він трансформує її енергію хвиль, вітру, океанських течій. Сучасна цивілізація навчилася перетворювати ці види енергії в електрику. Сонце невичерпне джерело, тому енергія Світового океану практично необмежена [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Усі типи морських хвильових електростанцій, що будуються і діють в наш час, розподіляють на два типи перетворення енергії хвиль: такі, що відслідковують профіль хвилі, і такі, що використовують коливання водяного стовпа.

Аналіз створених морських хвильових електростанцій представлено в працях [3; 4]. Основні недоліки таких перетворювачів: велика матеріалоємність, великий рівень питомих капітальних витрат — біля 5000 $/кВт, середньорічний коефіцієнт використання потужності не більше — 0,4.

Спільними зусиллями науковців Національного авіаційного університету, Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова та Інституту гідромеханіки НАН України за ініціативою НВФ «Крок-1» (м. Київ) створена, виготовлена та випробувана конструкція хвильової електростанції з гнучким енергопоглинальний елементом, яка принципово відрізняється від всіх сучасних аналогів [3–9].

Модуль хвильової електростанції з гнучким енергопоглинальний елементом представлено на рис. 1.

Рис. 1. Хвильова електростанція з гнучким енергопоглинальний елементом [4]

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

Мета статті (постановка завдання)

Будь-яка енергетична установка розраховується на один найбільш доцільний режим роботи відповідно до статистичних даних акваторії. Відхилення умов експлуатації від розрахункового режиму, як правило, суттєво зменшують бажані вихідні дані. Енергія морських хвиль суттєво залежить від кліматичних умов і може різко змінюватися протягом короткотривалого часу залежно від погоди. Особливо важливим є визначення характеристик потужності хвильової електростанції під час збільшення амплітуди прогресивних хвиль.

Постановка завдання на дослідження

Для визначення габаритних та енергетичних параметрів, конструкційних матеріалів основних елементів хвильової електростанції, що здатні довготривало витримувати руйнівну силу морських хвиль, проведення розрахунків на міцність необхідно вивчити її енергетичні характеристики в умовах, що відрізняються від розрахункових.

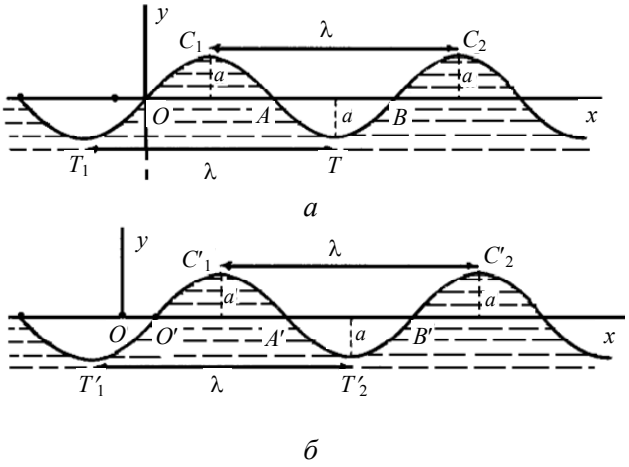
Результати досліджень

Представлено енергетичні характеристики хвильової електростанції під час збільшення амплітуди прогресивних хвиль. Представлено графічні залежності змінення потужності модуля хвильової електростанції під час збільшення амплітуди прогресивних хвиль.

Профіль вільної поверхні прогресивної хвилі

Профіль вільної поверхні прогресивної хвилі в момент часу $t = 0$ описується синусоїдальною кривою $y = a\sin(mx)$, яка представлена на рис. 2, *а*. У довільний момент часу $t \neq 0$ профіль пересовується на величину відрізка OO' відносно початку системи координат, що відображено на рис. 2, *б*.

Величину a називають *амплітудою хвилі*. Вона визначає максимальне відхилення вільної поверхні у вільний момент часу від середнього рівня. Точки C_1, C_2, … — максимальні підвищення вільної поверхні, які називають *гребнями хвилі*. Точки T_1, T_2, … — максимальні пониження вільної поверхні, які називають впадинами. Відстань між двома послідовно розташованими гребнями називають довжиною хвилі λ. Енергія морської хвилі, впливаючи на поверхню, яка розташована на еластичній площині, здатна виконувати механічну роботу з переміщення її у максимально можливе вертикальне положення, тобто виконувати роботу з піднімання тіла на інтервалі довжини хвилі.



а

б

Рис. 2. Профіль вільної поверхні прогресивної гармонічної хвилі [4]:
а — O, A, B — вузлові точки; C_1, C_2 — розташування гребенів; T_1, T_2 — розташування впадин в момент часу $t = 0$; *б* — O'_1, A'_1, B'_1 — вузлові точки; C'_1, C'_2 — розташування гребенів; T'_1, T'_2 — розташування впадин при $t = 0$.

Під дією потенційної сили хвилі на поверхню проходить її переміщення на висоту хвилі за половину періоду. У зв'язку з цим можна оцінити питому потужність хвилі, як силу, яка здатна перемістити одиницю поверхні на висоту хвилі [4].

Змінення параметрів енергопоглинального елемента при впливі на нього хвиль з параметрами, які відрізняються від розрахункових

Будь-яке змінення амплітуди коливань поверхні моря відносно до розрахункової величини спричинює змінення траєкторії руху робочої поверхні відносно поверхні хвилі і змінює розміри енергопоглинального елемента морської станції [5; 7; 9]. Кількість робочих ділянок у межах довжини станції змінюється пропорційно зміненню амплітуди за законом

$$n_p = L_0 / \lambda = L_0 a / \lambda a = \text{const} / a, \qquad (1)$$

де L_0 — розрахункова довжина енергетичної станції; λ — довжина хвилі; a — амплітуда хвилі.

Між параметрами хвилі і параметрами руху робочої поверхні встановлюється співвідношення у вигляді

$$a \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = R \sin \varphi . \qquad (2)$$

Збільшення амплітуди відносно до розрахункової величини призводить до зменшення діапазону змінення площі робочої ділянки та її проєкції з величини

$$x_1 = \lambda/4, \quad x_2 = 3\lambda/4 \qquad (3)$$

до величини

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

$$x_1 = \frac{\lambda}{2\pi}\arcsin\frac{R}{a},$$

$$x_2 = \lambda - \frac{\lambda}{2\pi}\arcsin\frac{R}{a}. \qquad (4)$$

При цьому змінення діапазону кута повороту енергопоглинального елемента φ не виникає, а загальна кількість робочих ділянок скорочується.

Навпроти, зменшення амплітуди по відношення до розрахункової величини призводить до скороченню діапазону змінення кута повороту енергопоглинального елемента φ з величини

$$\varphi_1 = \pi/4,\ \varphi_2 = 3\pi/4 \qquad (5)$$

до величини

$$\varphi_1 = \pi - \arcsin\frac{a}{R},\quad \varphi_1 = \pi + \arcsin\frac{a}{R}, \qquad (6)$$

при цьому діапазон змінення довжини робочої ділянки змінюється пропорційно довжині хвилі.

Розглянемо змінення параметрів енергопоглинального елемента при впливі на нього хвиль з параметрами, які відрізняються від розрахункових.

Проєкція площі робочої ділянки енергопоглинального елемента на площину *Oxz* під час збільшення амплітуди відносно розрахункової величини буде визначатися, як

$$S_y = \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} b\cos\varphi dx =$$

$$= \frac{b}{2}(2 + \cos\varphi_1 - |\cos\varphi_2|)(x_2 - x_1), \qquad (7)$$

де x_1, x_2, φ_1, φ_2 визначаються з умов (4) та (5).

Розв'язанням рівняння (7) є вираз

$$S_y = 2\frac{b\lambda}{\pi}\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi}\right). \qquad (8)$$

Отже, за умови $\lambda/a = \text{const}$ і заданих геометричних параметрах енергопоглинального елемента проєкція площі робочої ділянки на площину *Oxz* буде збільшуватись не пропорційно амплітуді. При цьому кількість робочих ділянок скоротиться згідно з рівнянням (1).

Сумарна проєкція площі на площину *Oxz* при умові забезпечення запасу довжини зменшиться відносно величини на розрахунковому режимі на величину

$$\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi}\right). \qquad (9)$$

Графічне розв'язання виразу (8) при ширині енергопоглинального елемента *b* відносно до радіусу обертання *R*, що дорівнює *b/R* = 0,5 представлено на рис. 3.

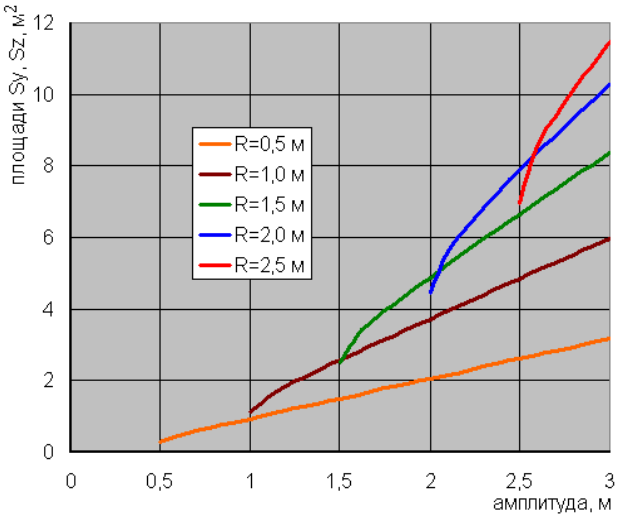


Рис. 3. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини на величину проєкції площі S_y при $b/R = 0{,}5$

При зменшенні величини *b/R* результати розрахунку пропорційно зміняться.

Проєкція площі на площину *Oxy* при збільшення амплітуди відносно розрахункової буде визначатися виразом

$$S_z = \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} b\sin\varphi dx =$$

$$= \frac{b}{2}(2 + \sin\varphi_1 - |\sin\varphi_2|)(x_2 - x_1), \qquad (10)$$

де x_1, x_2, φ_1, φ_2 визначаються з умов (4) та (5).

Розв'язанням рівняння (10) є вираз

$$S_z = 2\frac{b\lambda}{\pi}\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi}\right). \qquad (11)$$

Отже, за умови $\lambda/a = \text{const}$ і заданих геометричних параметрах розв'язанням рівняння під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини проєкція площі робочої ділянки на площину *Oxy* дорівнює величині проєкції площі робочої ділянки на площину *Oxz*.

Для визначення величини проєкції площі робочої ділянки на площину *Oxy* можна використовувати дані рис. 3.

Величина проєкції складової сили на площину *Oxz* під час збільшення амплітуди відносно розрахункового значення визначається як

$$F_y = \rho g R b \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} \cos\varphi\left[1 - A\sin\left(2\pi/\lambda\right)x\right]dx. \qquad (12)$$

Розв'язанням (12) є вираз

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

$$F_y = -\frac{1}{\pi}\rho g R b(2+\cos\varphi_1 - |\cos\varphi_2|)\times$$
$$\times\left[x_2 - x_1 - \frac{A\lambda}{4\pi}\left(2+\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_1 - \left|\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_2\right|\right)\right].$$

При величинах x_1, x_2, φ_1, φ_2, які визначаються зf умов (4) та (5) величина проєкції складової сили на площину *Oxz* буде дорівнювати

$$F_y = -\frac{2}{\pi}\rho g R b\lambda\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{\mathrm{A}}{\pi}\right). \quad (13)$$

Порівняння залежностей (8) та (13) дає можливість стверджувати, що характер змінення складової сили на площину *Oxz* за умови $\lambda/a = \text{const}$ і заданих геометричних параметрах енергопоглинального елемента при збільшенні амплітуди коливання хвилі відносно розрахункової величини аналогічний характеру змінення проєкції площі робочої ділянки на цю площу.

Графічне розв'язання виразу (13) при ширині енергопоглинального елемента *b/R* = 0,5 показано на рис. 4. При зміненні величини *b/R* результати розрахунку пропорційно зміняться.

Відзначимо, що збільшення складової сили *Fy* під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини спричинено збільшенням проєкції площі *Sy*.

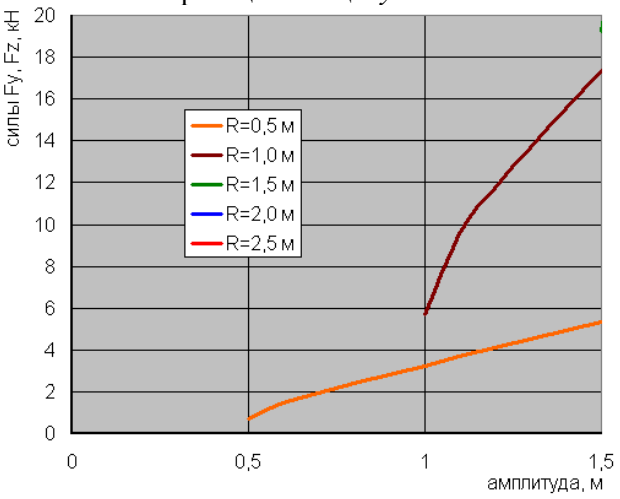


Рис. 4. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини на величину складових сили *Fy* та *Fz* при *b/R* = 0,5 в діапазоні хвиль до 3 м

Величина проєкції складової сили на площину *Oxy* при збільшенні амплітуди відносно розрахункового значення буде визначатися як

$$F_z = \rho g R b \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} \sin\varphi\times$$
$$\times\left[1 - A\sin(2\pi/\lambda)x\right]dx. \quad (14)$$

Розв'язанням рівняння (14) є вираз

$$F_z = \frac{1}{\pi}\rho g R b(\sin\varphi_1 + |\sin\varphi_2|)\times$$
$$\times\left[x_2 - x_1 + \frac{A\lambda}{4\pi}\left(2+\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_1 - \left|\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_2\right|\right)\right]. \quad (15)$$

При величинах x_1, x_2, φ_1, φ_2, які визначаються за умов (4) та (5), величина проєкції складової сили на площину *Oxy* буде

$$F_z = \frac{1}{\pi}\rho g R b\lambda\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \quad (16)$$

Порівняння залежностей (11), (13) і (16) дає підстави для ствердження, що складова сили на площину *Oxy* дорівнює за величиною складовій сили на площину *Oxz*.

При цьому характер змінення складової сили на площину *Oxy* за умови $\lambda/a = \text{const}$ і заданих геометричних параметрах енергопоглинального елемента при збільшенні амплітуди хвилі відносно розрахункової величини аналогічний характеру змінення проєкції площі робочої ділянки на цю площину.

Для визначення величини складової сили на площину *Oxy* можна використовувати дані рис. 4. При зміненні величини *b/R* результати розрахунку пропорційно зміняться.

Величина моменту *My*, який створює проєкція складової сили на площину *Oxz*, визначається як

$$M_y = \sum M_{yi} = RA\cos\varphi\sum F_{yi},$$

тому під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення *My* визначають як

$$M_y = \rho g R^2 b A \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} \times$$
$$\times\cos\varphi\left[1 - A\sin(2\pi/\lambda)x\right]dx. \quad (17)$$

Розв'язанням інтегралу (17) є вираз

$$M_y = \frac{1}{\pi}\rho g R^2 b A(2+\cos\varphi_1 - |\cos\varphi_2|)\times$$
$$\times\left[x_2 - x_1 + \frac{A\lambda}{4\pi}\left(2+\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_1 - \left|\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_2\right|\right)\right]. \quad (18)$$

При величинах x_1, x_2, φ_1, φ_2, які визначаються за умов (4) та (5) величина моменту від дії складової сили на площину *Oxz* буде дорівнювати

$$M_y = \frac{2}{\pi}\rho g R^2 b\lambda A\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \quad (19)$$

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

Графічне розв'язання (19) при ширині енергопоглинального елемента b/R = 0,5 подано на рис. 5.

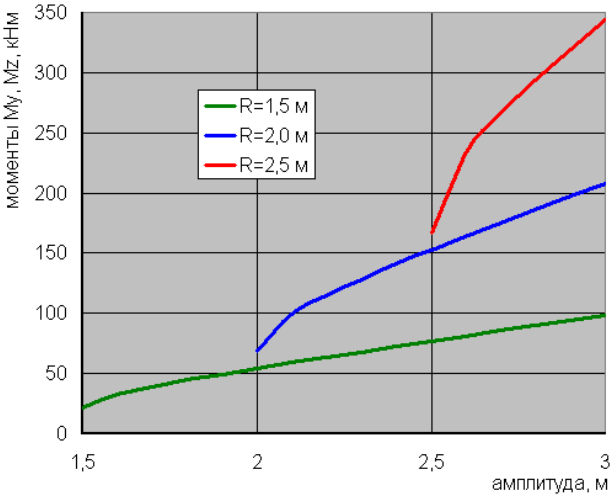


Рис. 5. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини на величину моментів від складових сили *Fy* та *Fz* енергетичних станцій з великим радіусом при b/R = 0,5

Для визначення характеру змінення моменту *My* енергетичних станцій з енергопоглинальними елементами із радіусом R = 0,5 м та R = 1 м при збільшенні амплітуди хвилі відносно розрахункової величини можна використовувати дані, наведені на рис. 5.

Величина моменту *Mz*, який створює проєкція складової сили на площину *Oxy*, визначається як

$$M_z = \sum M_{zi} = RA \sin\varphi \sum F_{zi}$$

отже, під час збільшення амплітуди відносно розрахункового значення моменту *Mz* визначається як

$$M_z = \rho g R^2 b A \int_{(\lambda/2\pi)\arcsin R/a}^{\lambda-(\lambda/2\pi)\arcsin R/a} \times$$

$$\times \sin\varphi \left[1 - A\sin\left(2\pi/\lambda\right)x\right] dx. \qquad (20)$$

Розв'язанням інтегралу (20) є вираз

$$M_z = \frac{1}{\pi}\rho g R^2 b A(\sin\varphi_1 + |\sin\varphi_2|) \times$$

$$\times \left[x_2 - x_1 + \frac{A\lambda}{4\pi}\left(2 + \cos\frac{2\pi}{\lambda}x_1 - \left|\cos\frac{2\pi}{\lambda}x_2\right|\right)\right]. \qquad (21)$$

При величинах x_1, x_2, φ_1, φ_2, які визначаються з умови (4) та (5) величина моменту від складової сили на площину *Oxy* буде дорівнювати

$$M_z = \frac{2}{\pi}\rho g R^2 b \lambda A\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \qquad (22)$$

Порівняння залежностей (19) та (22) дає можливість стверджувати, що момент складової сили на площину *Oxy* дорівнює за величиною моменту складової сили на площину *Oxz*. При цьому характер змінення моменту складової сили на площину *Oxy* за умови $\lambda/a = \text{const}$ і заданих геометричних параметрах енергопоглинального елемента під час збільшення амплітуди хвилі від розрахункової величини аналогічний характеру змінення проєкції площі робочої ділянки на цю площину. Для визначення величини моменту складової сили на площину *Oxy* можна використовувати дані рис. 4 та рис. 5.

При зміненні величини b/R результати розрахунку пропорційно зміняться.

Відзначимо, що характер змінення моменту складової сили на площину *Oxz* під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини аналогічний характеру змінення величини відповідної складової сили.

При зміненні величини b результати розрахунку пропорційно зміняться.

Отже, обертальний момент енергопоглинального елемента під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини буде визначатися як

$$M_{вр} = M_y + M_z = \frac{4}{\pi}\rho g R^2 b \lambda A \times$$

$$\times\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \qquad (23)$$

Графічне розв'язання рівняння (23) із шириною енергопоглинального елемента b/R = 0,5 показано на рис. 6 та рис. 7.

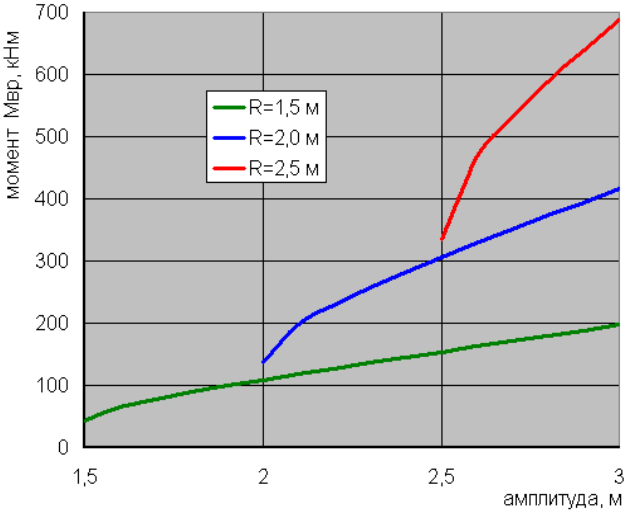


Рис. 6. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення на величину обертального моменту енергопоглинального елемента з великим радіусом при b/R = 0,5

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

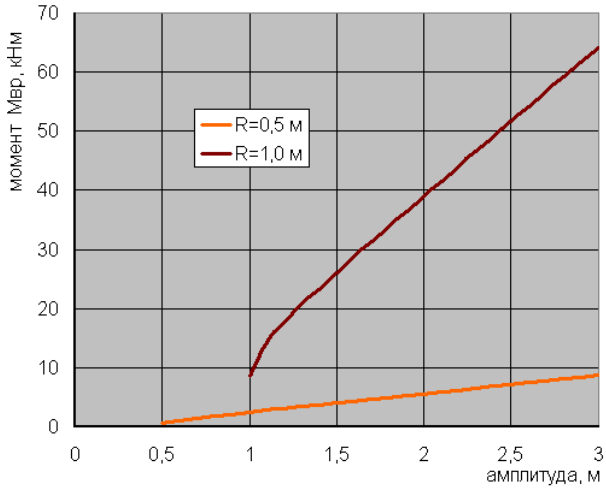


Рис. 7. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення на величину обертального моменту енергопоглинального елемента з радіусом $R = 0{,}5$ м та $R = 1{,}0$ м

Відзначимо, що рівність моментів *My* та *Mz* під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини спричинено незмінним розташуванням точки прикладення складових сил *Fy* та *Fz* (плеча) у цьому діапазоні змінення амплітуди хвилі. Координати точки прикладення сили визначаються з умови

$$z_c = \frac{M_y}{F_y} = -RA,\ y_c = \frac{M_z}{F_z} = -RA,$$

$$x_c = \frac{\lambda}{2\pi}\arcsin\frac{\sqrt{2}RA}{a}. \qquad (24)$$

Потужність однієї робочої ділянки установки з енергопоглинальним елементом визначається за формулою $N = 2\pi n M_{об}$. Результати розрахунку частоти обертання енергопоглинального елемента під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини надані на рис. 8.

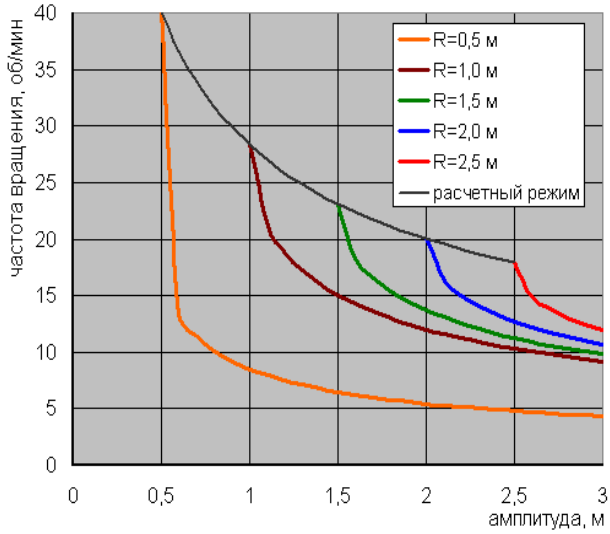


Рис. 8. Залежність потужності модуля морської станції від радіусу (до 1 м) енергопоглинального елемента за умови $R = a$ та різних величинах *R/b*

Відзначимо, що ширина енергопоглинального елемента не впливає на величину частоти обертання установки. Під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини частота обертання ротора сильно зменшується.

Отже, зробимо висновок, що під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини потужність робочої ділянки складе величину

$$N = 8\rho g R^2 bcA\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \qquad (25)$$

Графічне розв'язання рівняння (25) при ширині енергопоглинального елемента $b/R = 0{,}5$ та $b/R = 0{,}3$ подано на рис. 9 та рис. 10.

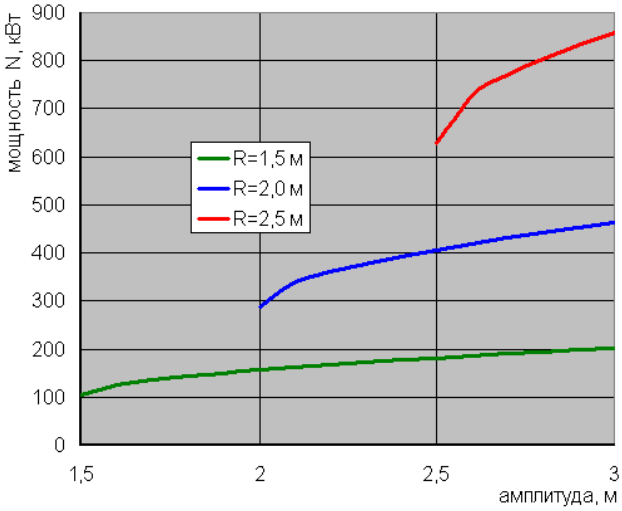


Рис. 9. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення на величину потужності робочої ділянки енергетичної станції з великим радіусом при $b/R = 0{,}5$

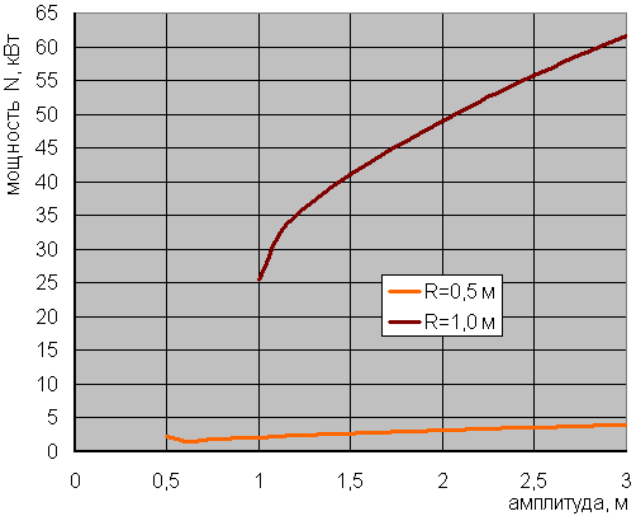


Рис. 10. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення на величину потужності робочої ділянки енергетичної станції при $b/R = 0{,}3$ для енергопоглинального елемента

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

Відзначимо, що потужність робочої ділянки під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини спочатку незначно зменшується, а потім дуже плавно зростає, не дивлячись на збільшення моменту обертання, що спричинено суттєвим зменшенням частоти обертання.

З урахуванням виразу (1) потужність установки з енергопоглинальним елементом під час збільшення величини і амплітуди хвилі відносно розрахункового значення визначається за формулою

$$N_{\text{уст}} = 8\rho g R^2 b L_0 n A\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \quad (26)$$

Відзначимо, що потужність установки під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення, не дивлячи на збільшення моменту обертання, буде зменшуватися як під впливом зменшення частоти обертання, так і під впливом скорочення загальної кількості робочих ділянок.

Як приклад на рис. 11 наданий розрахунок змінення потужності установки з параметрами L_0 = 9 м, R = 0,5 м при збільшенні амплітуди в інтервалі від a = 0,5 м до a = 3 м.

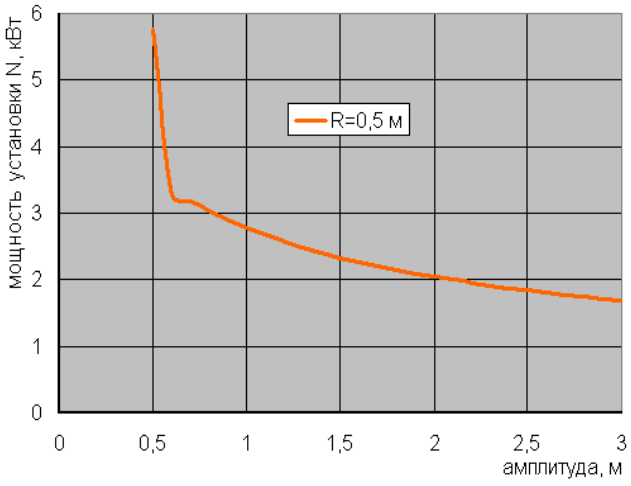


Рис. 11. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини на величину потужності установки з параметрами L_0 = 9 м і R = 0,5 м

Отже, зробимо висновок, що навіть при незначному збільшенні амплітуди хвилі від a = 0,5 м до a = 0,6 м виникає значне зменшення потужності (більше ніж у 1,5 рази) з подальшим більш повільним зменшенням при збільшенні амплітуди хвилі.

Питома потужність однієї робочої ділянки установки з енергопоглинальним елементом при збільшенні амплітуди хвилі відносно розрахункового значення можна представити у вигляді

$$N_{\text{пит}} = 8\rho g R b n A\left(1 - \frac{\arcsin R/a}{\pi} - \frac{A}{\pi}\right). \quad (27)$$

Графічне розв'язання виразу (27) при ширині енергопоглинального елемента b/R = 0,5 показано на рис. 12.

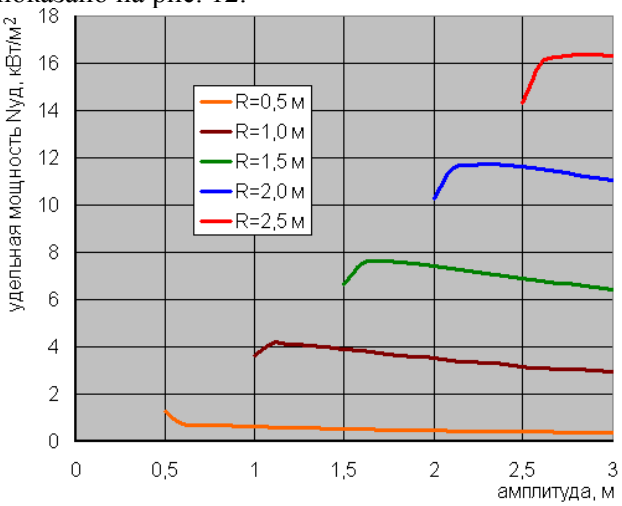


Рис. 12. Вплив збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини на величину питомої потужності енергопоглинального елемента при b/R = 0,5

Відзначимо, що питома потужність енергопоглинального елемента під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення зменшується, що пов'язано зі зменшенням довжини робочої ділянки в межах довжини хвилі. Чим більшим є розрахунковий радіус енергопоглинального елемента станції, тим більшим є темп зменшення питомої потужності.

Отже, можна констатувати, що робота енергетичної установки в умовах збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункового значення може розглядатися, як короткочасне, в межах загальної нестабільності коливальних процесів у морі.

Висновки

Вперше розроблено методику визначення потужності модуля морської хвильової електростанції з енергопоглинальним елементом під час збільшення величини і амплітуди хвилі відносно розрахункового значення, яка дозволяє виконувати розрахунки таких станцій при любій комбінації геометричних параметрів для хвиль стандартної форми, а саме:

1. Залежності змінення потужності, що створюється поверхнею енергопоглинального елемента під час збільшення величини і амплітуди хвилі відносно розрахункового значення, дають змогу визначитись з енергетичними та геометричними параметрами станції.

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

2. Залежно від акваторії моря, сезонного впливу атмосфери, потреби споживачів електроенергії приймається рішення на визначення геометричних параметрів станції (довжина, радіус енергопоглинального елемента та ін.).

Перспективи подальших досліджень

Будь-яка енергетична установка відповідно до умов експлуатації розраховується на один найбільш доцільний режим роботи. Відхилення умов експлуатації від розрахункового режиму, як правило, суттєво зменшують бажані вихідні дані. Енергія морських хвиль суттєво залежить від кліматичних умов і може різко змінюватися протягом короткотривалого часу залежно від погоди. Енергетична установка, що розглядається, технічно має можливість підтоплюватись на глибину, де амплітуда коливань буде розрахунковою.

Отже, для автоматизації такого процесу необхідно знати закони розповсюдження енергії морських хвиль з різними амплітудами, періодами коливань та швидкостями руху під час занурення.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Енергетичні ресурси та потоки. К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. 472 С.

[2] Ищенко Ю. А. Захват энергии взаимодействия глубин и волн Мирового океана. *Энергия*. 2003, №3. С. 28-36.

[3] Капитанчук К. И., Сотников А. В., Овсянкин В. В. Один из путей независимого энергетического обеспечения подразделений Вооруженных Сил Украины приморского базирования. *Арсенал–XXI*. 2007. №1. С. 37–41.

[4] Капітанчук К. І., Андріїшин М. П. Методика визначення потужності морської хвильової електростанції з гнучким енергопоглинальним елементом. *Наукоємні технології*. 2020. №1 (45). С. 78–84. doi.org/10.18372/2310-5461.45.14574.

[5] Капітанчук К. І., Овсянкін В. В. Досвіт розробки та впровадження хвильової електричної станції. *Матеріали XIV Міжнар. наук.-тех. конф. АС Промислова гідравліка і пневматика – Одеса*: «ГЛОБУС-ПРЕС». 2013. С. 126–127.

[6] Патент України №56481. Пристрій для перетворення енергії хвиль водної поверхні. МКИ7 F03B13/12.

[7] Греков П. І., Капітанчук К. І., Овсянкін В. В. Методика розрахунку глибини занурення морської енергетичної станції при збільшенні висоти хвиль. *Вісник НАУ*. 2006. №4(30). С. 166–168. doi.org/10.18372/2306-1472.30.1399.

[8] Капітанчук К. І., Андріїшин М. П. Розрахунок подовження енергопоглинального елемента морської хвильової електростанції трансформації спіралі у площину. *Наукоємні технології*. 2018. №3 (39). С.387-392. doi.org/10.18372/2310-5461.39.13097.

[9] Капітанчук К. І., Андріїшин М. П. Методика визначення сил та моментів, що діють на поверхню енергопоглинального елемента морської хвильової електростанції при різному збуренні поверхні моря. *Наукоємні технології*. 2018. №4 (40). С. 443–449. doi.org/10.18372/2310–5461.40.13270.

Капітанчук К. І. Андріїшин М. П.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТУЖНОСТІ ХВИЛЬОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА УМОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ АМПЛІТУДИ КОЛИВАННЯ ПОВЕРХНІ МОРЯ

Потужність хвиль Світового океану оцінюється приблизно в 10...90 млрд кВт, з яких 2,7 млрд кВт може реально бути використане людством. Світовий океан займає 75 % поверхні Землі і є гігантським акумулятором енергії Сонця. Він трансформує її енергію хвиль, вітра, океанських течій. Сучасна цивілізація навчилася перетворювати ці види енергії в електрику. Сонце невичерпне джерело, тому енергія Світового океану практично необмежена. Спільними зусиллями науковців Національного авіаційного університету, Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова та Інституту гідромеханіки НАН України за ініціативою НВФ «Крок-1» (м. Київ) створена, виготовлена та випробувана конструкція хвильової електростанції з гнучким енергопоглинальний елементом, яка принципово відрізняється від всіх сучасних аналогів.

Розроблено методику визначення потужності модуля морської хвильової електростанції з енергопоглинальним елементом під час збільшення величини і амплітуди хвилі моря відносно розрахункового значення, яка дозволяє виконувати розрахунки таких станцій при любій комбінації геометричних параметрів для хвиль стандартної форми.

Залежно від акваторії моря, сезонного впливу атмосфери, потреби споживачів електроенергії приймається рішення на визначення геометричних параметрів станції (довжина, радіус енергопоглинального елемента та ін.). Визначено, що ширина енергопоглинального елемента не впливає на величину частоти обертання установки. Під час збільшення амплітуди хвилі відносно розрахункової величини частота обертання ротора сильно зменшується. Представлено результати розрахунку змінення потужності морської станції довжиною 9 м та R/b = 2 під час збільшення амплітуди коливання поверхні моря.

Ключові слова: морська хвильова електростанція; енергопоглинальний елемент; композитні матеріали.

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022

Kapitanchuk K., Andriyishyn M.

WAVE ENERGY CONVERTER OUTPUT SPECIFICATIONS ON CONDITION OF WAVE AMPLITUDE INCREASE.

Estimated power density of world's marine energy is about 10-90 terawatts-hour and partially can be used by mankind. Ocean covers 75% of Earth surface and accumulates amounts of solar energy that is stored as wave energy, tide energy, current energy, osmotic energy and thermal energy. Current level of mankind technological advancement allows transforming these kinds of energy into electricity taping into this enormous course of transformed solar energy.

With combined effort from members of National Aviation University, Admiral Makarov National University of Shipbuilding and Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine a breakthrough version of wave energy converter was successfully designed, created and tested in a field. Designing a wave energy converter that will be durable, efficient and easy to install\maintain has been the ultimate goal of research teams across the globe for a while.

This method of calculating power output of wave energy converter power station allows to make changes into power station configuration based on changes in working conditions. According to coastline geometry, seasonal weather changes and actual demand for electrical power we can calculate dimensions of our station like length, radius of power take-off element etc.

Math shows that width of power take-off element does not affect the rotation speed of a turbine. In case of increase of wave amplitude, compared to value used in theoretical calculation of specific station, the rotation speed of a turbine will drastically decrease. Article presents calculations of changes in wave energy converter station power output that occurs on condition of increase of wave amplitude for wave length of 9m and R/b = 2.

Keywords: wave energy converter; flexible power take-off element; composite materials

Стаття надійшла до редакції 15.02.2022 р.
Прийнято до друку 13.04.2022 р.

© Капітанчук К. І. Андріїшин М. П., 2022