

УДК 621.311.21

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВІТРОВИХ ХВИЛЬ У ВЕРХНІЙ ВОДОЙМІ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

А. І. Григорчук

студентка 4 курсу, групи ГЕ-42, навчально-науковий інститут водного господарства та
природооблаштування

Науковий керівник – асистент Д. М. Поплавський

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

Розглянуто питання утворення вітрових хвиль у верхньому і нижньому басейнах ГАЕС. В статті наведені існуючі методи розрахунку параметрів вітрових хвиль за результатами. Проведено порівняння теоретичних результатів з натурними дослідженнями в верхній водоймі Дністровської ГАЕС.

Ключові слова: вітрові хвилі, верхня водойма, Дністровська ГАЕС, методи розрахунків.

Рассмотрен вопрос образования ветровых волн в верхнем и нижнем бассейнах ГАЭС. В статье приведены существующие методы расчета параметров ветровых волн.

Проведено сравнение теоретических результатов с натурными исследованиями в верхнем водоеме Днестровской ГАЭС.

Ключевые слова: ветровые волны, верхняя водоем, Днестровская ГАЭС, методы расчетов.

The analysis is made of existing equations of the wave-length of the wind waves. The article presents the existing methods for calculating the parameters of wind waves. A comparison of theoretical results with field studies in the upper reservoir of the Dniester HPPP is made.

Keywords: wind waves, upper reservoir, Dniester HPPP, methods of calculations.

При експлуатації будь-якої ГАЕС спостерігаються особливі гідравлічні режими роботи верхньої і нижньої водойм як в турбінному, так і насосному режимах, що формують неусталений рух води з утворенням хвиль переміщення, на які також накладаються і вітрові хвилі [1].

Визначення параметрів вітрових хвиль є надзвичайно складною науковою проблемою. Під час вирішення наведеної проблеми необхідно враховувати велику кількість різноманітних гіпотез, припущень, спрощень, емпіричних коефіцієнтів тощо, наявність яких негативно впливає на точність одержуваних результатів. У таких умовах проміжні і кінцеві результати розрахунків вимагають зіставлення з результатами лабораторних або натурних досліджень на подібних об'єктах [2].

Дністровська гідроакumuлююча електростанція відноситься до числа найпотужніших ГАЕС у світі [3]. До складу Дністровської ГАЕС входять наступні основні елементи (рисунок): верхня водойма, водоприймач, напірні водоводи, будівля станції, водовипуск, нижня водойма. Верхня водойма Дністровської ГАЕС розташована на вузькому високому мисі правого схилу долини Дністра на 10 км нижче м. Новодністровськ.

Конфігурація водойми, яка утворюється огорожувальною дамбою довжиною 7300 м, визначається рельєфом місцевості, обмежується долиною річки Сокирянка (Сокирянський схил) і системою Волошківських ярів (Дністровський схил).

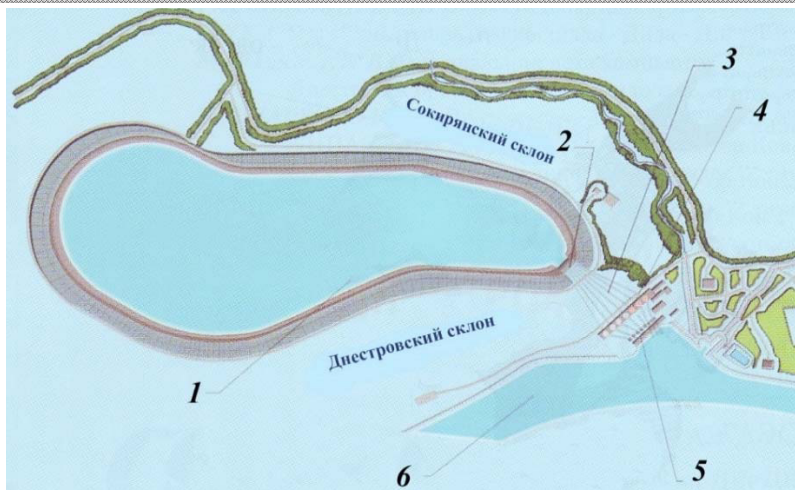


Рисунок. План основних споруд Дністровської ГАЕС:

1 – верхня водойма, 2 – водоприймач, 3 – напірні водоводи, 4 – будівля ГАЕС, 5 – водовипуск, 6 – нижня водойма

Верхня водойма Дністровської ГАЕС за своїм об'ємом і площею відноситься до числа найбільших водойм цього типу. Унікальними є також максимальні витрати Дністровської ГАЕС, які для турбінного і насосного режимів становлять $1890 \text{ м}^3/\text{с}$ і $1834 \text{ м}^3/\text{с}$ відповідно. При цьому витрата одного агрегату в турбінному режимі складає $270 \text{ м}^3/\text{с}$, а в насосному $262 \text{ м}^3/\text{с}$. Такі режими істотно впливають на експлуатацію споруд і обладнання ГАЕС.

Результати виконаних натурних досліджень гідравлічних режимів роботи Дністровської ГАЕС отриманих для місця встановлення датчика №1, що розташований на вході в водоприймач показано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати натурних досліджень гідравлічних режимів роботи Дністровської ГАЕС

№ з/п	Напрямок вітру	Швидкість вітру W , м/с	Довжина вітрового нагону D , м	Відмітка в верхній водоймі \downarrow ВБ, м	Натурні вимірювання середньої висоти хвилі h_{cp} , м
1	південний	5,0	2900,0	220,5	0,05
2	південний	6,0	2900,0	220,5	0,07
3	західний	8,0	200,0	220,5	0,09
4	південно-західний	8,0	425,0	220,5	0,13
5	південно-східний	11,0	185,0	220,5	0,14

Розрізняють три методи розрахунку параметрів вітрових хвиль:

1. Розрахунок осереднених значень параметрів вітрових хвиль згідно СНиП 2.06.04-82*

Постановка алгоритму математичного моделювання здійснюється таким чином, що топографічні дані задаються з допомогою введення точок пікетажів [4], що називаються «вузловими», вздовж огорожуючої дамби водосховища, довжини нагону вітрової хвилі, а також відміток дна в вузлових точках. Визначення параметрів хвиль може бути проведено як для простих, так і для складних випадків хвилеутворення. При цьому, в випадку складної конфігурації берегової лінії, середня висота хвилі визначається за графіком.

При необхідності визначається величина нагону і нахату хвилі на відкосний профіль дамби, величина потрібного нормального запасу відмітки гребеню відкосного профілю та ін. Висота хвилі 1% забезпеченості при заданому напрямку і швидкості вітру можна визначити за формулою

$$h_{1\%} = h \cdot k_{1\%}, \quad (1)$$

де $k_{1\%}$ – коефіцієнт забезпеченості хвилі в системі.

2. Емпіричні методи розрахунку вітрового хвилеутворення на внутрішніх водоймах

До емпіричних методів розрахунку вітрового хвилеутворення на внутрішніх водоймах [5] можна віднести методи В. Г. Андрєянова, Н. Д. Шишова, О. О. Дьякової, Н. А. Лабзовського.

В. Г. Андрєянов отримав свої формули в результаті аналізу спостережень, проведених Біломорбуду в 1931-1932 рр. на озерах Віг, Онезьке та ін. Елементи хвиль визначалися візуально, з матеріалів спостережень обрані тільки випадки усталеного хвилювання. В результаті такого відбору отримано 116 спостережень висоти хвилі і 46 спостережень довжини хвилі. Величина нагону коливалася від 3 до 30 км, а швидкість вітру – від 5 до 15 м/с. Отримані залежності мають вигляд:

$$h = 0,0208 \cdot \omega^{5/4} \cdot D^{1/3}, \quad (2)$$

$$\lambda = 0,3 \cdot \omega \cdot D^{1/2}, \quad (3)$$

де h – висота хвилі, м, λ – довжина хвилі, м, W – швидкість вітру, м/с, D – довжина вітрового нагону, км.

Формули Н. Д. Шишова отримано на матеріалах спостережень на внутрішніх водоймах з нагонами від 70 до 90 км. У формулі (4) введений облік середньої глибини на профілі нагону:

$$h = a \cdot \omega \cdot D^{1/3}, \quad (4)$$

$$\lambda = b \cdot \omega \cdot D^{1/2}, \quad (5)$$

де коефіцієнти a і b залежать від середньої глибини водойми: a змінюється від 0,021 при глибині 2-4 м до 0,046 при глибинах 30-35 м; від b – відповідно 0,18 до 0,71.

Емпіричні формули О. О. Дьякової отримані за матеріалами спостережень на Північному Каспі:

$$h_{cp} = 0,0186 \omega^{0,71} \cdot D^{0,24} \cdot H^{0,51}, \quad (6)$$

$$h_{\max(5\%)} = 1,61 \cdot h_{cp}, \quad (7)$$

де H – глибина в розрахунковій точці.

Слід зауважити, що на формування хвиль набагато більший вплив робить зміна глибин за профілем розгону, а не тільки в розрахунковій точці.

В методі Н. А. Лабзовського розглядається усталене хвилювання і нехтується розсіювання енергії. При цьому перший і останній члени рівняння балансу хвильової енергії стають рівними нулю. В результаті, рішення в зазначених умовах рівняння хвильової енергії, Н.А. Лабзовським отримано ряд залежностей для визначення елементів хвиль:

$$h = 0,073 \omega \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot D}, \quad (8)$$

$$\tau = \frac{1}{\varepsilon} h = 0,073 \omega \cdot \sqrt{\frac{D}{\varepsilon}}, \quad (9)$$

$$c = \sqrt{g \frac{\lambda}{2\pi}} = 0,0338 \omega^{1/2} \cdot \left(\frac{D}{\varepsilon}\right)^{1/4}, \quad (10)$$

$$\tau = \frac{\lambda}{c} = 0,216 \omega^{1/2} \cdot \left(\frac{D}{\varepsilon}\right)^{1/4}, \quad (11)$$

де c – швидкість розповсюдження хвиль, τ – період хвилі, ε – кривизна хвилі.

3. Спектральний метод розрахунку вітрового хвилеутворення на внутрішніх водоймах

Спектральний метод розрахунку висот хвиль дозволяє підійти до аналізу фізичної суті процесу. Складання окремих елементарних коливань, що формують складний вигляд хвилеподібної поверхні, проходить із випадковим здвигом фаз та напрямків, що надає явищу

ймовірнісний характер і дозволяє розглядати його з позиції теорії випадкових процесів. Двовимірний спектр повністю визначає модель хвилеподібної поверхні [5] і є внутрішньою характеристикою хвильового процесу. Цей характер не явний безпосередньо, а проявляється лише в результаті взаємодії всіх спектральних складових, тому розглядувані хвилі також є випадковими величинами. Кутовий енергетичний спектр дає інформацію про розподілення енергії елементарних хвиль в залежності від напрямку їх розповсюдження і рівний інтегралу від двовимірного спектру по всім частотам.

В більшості випадків задовільні результати отримують при врахуванні семи секторів з кутною шириною 22,5° кожний. В цьому випадку кінцева формула має вигляд:

$$h = 0,1 \cdot \sqrt{25h_0^2 + 21(h_1^2 + h_{-1}^2) + 13(h_2^2 + h_{-2}^2) + 3,5(h_3^2 + h_{-3}^2)}, \quad (12)$$

де h_n (при $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$) – висоти хвиль, які повинні прийматися по розрахунковій швидкості вітру і розгону x_j^* , що рівний проекції променів на напрямок головного променя, що співпадає з напрямком вітру. Промені проводяться із розрахункової точки до перетину з лінією берегу в напрямках n від головного променя.

Результати теоретичних розрахунків представлено в табл. 2.

Таблиця 2

№ з/п	В.Г. Андреев		Н.Д. Шишов		О.О. Дьякова		Н.А. Лабзовський			
	h , м	λ , м	h , м	λ , м	h_{cp} , м	h_{max} , м	h , м	λ , м	c , м/с	τ , с
1	0,222	2,554	0,150	1,783	0,196	0,315	0,196	1,972	0,055	0,354
2	0,279	3,065	0,180	2,139	0,223	0,358	0,230	2,416	0,060	0,384
3	0,164	1,073	0,098	1,170	0,144	0,231	0,077	0,887	0,035	0,222
4	0,210	1,565	0,126	1,504	0,172	0,277	0,112	1,293	0,042	0,268
5	0,237	1,419	0,132	1,567	0,177	0,285	0,094	1,263	0,038	0,246

Продовження таблиці 2

№ з/п	Розрахунки згідно СНиП 2.06.04-82*				Спектральний метод	Натурні спостереження h_{cp} , м
	h_{cp} , м	λ , м	T , с	$h_{1\%}$, м	h_{cp} , м	
1	0,127	3,652	1,529	0,255	0,164	0,05
2	0,150	4,114	2,007	0,298	0,226	0,07
3	0,067	1,327	0,922	0,127	0,154	0,09
4	0,085	2,036	1,142	0,161	0,242	0,13
5	0,069	1,253	0,896	0,132	0,287	0,14

Порівняння теоретичних і натурних досліджень параметрів вітрових хвиль, що утворювалися у верхній водоймі Дністровської ГАЕС, показало наступне.

1. Розрахунки параметрів вітрових хвиль, що формуються в верхній водоймі Дністровської ГАЕС з повною площею водосховища, були проведені з використанням методу згідно СНиП 2.06.04-82*, емпіричних та спектрального методів.

2. Порівняння значень висот вітрових хвиль, отриманих в результаті натурних досліджень і розрахунків, показало, що із наведених вище методів кращу збіжність з натурними результатами має метод згідно СНиП 2.06.04-82*.

Список використаних джерел:

1. Гидроэнергетика и окружающая среда / под общ. ред. Ю. Ландау, Л. Сиренко. – К. : Либра, 2004. – 484 с.
 2. Тихомирова Н. В. ГАЭС на развивающемся энергорынке: инновации и инвестиции / Тихомирова Н. В. // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 6. – С. 30–37.
 3. Гурин В.А. Вплив гідравлічних режимів на експлуатацію споруд і обладнання ГЕС та ГАЕС / Гурин В.А., Рябенко О. А. // Гідроенергетика України. – 2011. – № 3-4. – С. 11–14.
 4. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 118 с.
 5. Филатова Т. Н. Исследование течений в озерах и водохранилищах / Филатова Т. Н. – Л., 1972. – 319 с.