



Поплавський Д. М., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

РОЗПОДІЛ АКТУАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ПО ДОВЖИНІ КНОЇДАЛЬНИХ ХВИЛЬ

В статті розкрито актуальність дослідження розподілу швидкості кноїдальних хвиль. Наведено результати аналізу про розподіл актуальних швидкостей наведеного явища. Представленні авторські дослідження розподілу швидкостей кноїдальних хвиль. Описано схему лабораторної установки та методологію досліджень. Порівняння отриманих даних з результатами інших дослідників показало їх збіжність.

Ключові слова: кноїдальні хвилі, актуальна швидкість, гідротехнічні споруди, характерні перерізи, кінематична структура.

Питання розподілу швидкостей кноїдальних хвиль має велике практичне і наукове значення, оскільки його необхідно враховувати при будівництві і експлуатації низьконапірних споруд, безнапірних каналів, галереях, трубах, каналах тощо. В наведених випадках необхідно враховувати епюри актуальних швидкостей вершин і западин. Неврахування такої специфіки цих явищ може призвести до серйозних прорахунків, що може стати причиною руйнування елементів кріплення та розмиву русел [1; 2].

Наукові аспекти, пов'язані з питанням кінетичної структури взагалі, а особливо наявності чи відсутності водоворотів в межах утворення кноїдальних хвиль, мають виняткове значення для теоретичного вивчення цих потоків. Справа в тому, що при теоретичному розгляді як рухомих, так і нерухомих хвиль рух потоку вважається потенціальним [2]. Це положення дозволяє при розгляді хвилеподібних течій застосовувати теорію потенціального руху, принцип конформних відображень, застосовувати метод зворотньої задачі розсіювання тощо.

Така постановка питання дозволяє істотно спростити в математичному відношенні розглядувану задачу. У відповідності з передумовою про потенціальність руху загальним для всіх теоретичних схем класу хвилеподібних течій є те, що рух потоку вважається безвихровим, в зв'язку з чим горизонтальна складова швидкості приймається позитивною, тобто зорієнтованою в напрямку руху потоку

для нерухомих в просторі хвиль або в напрямку руху хвилі для хвиль переміщення. При цьому горизонтальна складова швидкості приймається або постійною по висоті, або змінною за певним законом, а вертикальна складова – змінною від нуля на дні до деякого максимального значення на вільній поверхні, при чому в перерізах по вершинам і підшвам хвиль вертикальна складова швидкості вважається рівною нулю.

Наявність в потоці водоворотів з обертовим рухом частинок рідини в залежності від розмірів цих водоворотів може істотно знизити точність результатів, отриманих на основі теорії потенціального руху. Набагато складнішим є питання про існування донних водоворотів під гребенями кноїдальних хвиль, адже виявлення таких водоворотів є досить непростою справою. Для таких випадків використання теорії потенціального руху взагалі неможливе.

Враховуючи це, постає необхідність в додатковому вивченні розподілу швидкості кноїдальних хвиль на предмет наявності такого роду водоворотів.

Дослідження із вивчення розподілу швидкості наведеного явища проводились на спеціальній дослідній установці, що знаходиться в гідроенергетичній лабораторії кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства та природокористування. Експериментальна установка, яка розміщується в великому дзеркальному лотку (прямокутного перерізу) довжиною 19,2 м, шириною 1,0 м, висотою 2,0 м в голові лотка довжиною 5,7 м і висотою 1,2 м в частині, що залишилась (рис. 1).

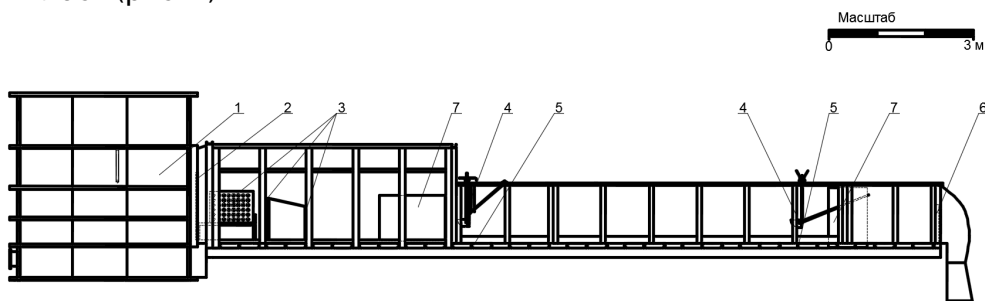


Рис. 1. Схема лабораторної установки:

- 1 – голова лотка, 2 – трикутний водозлив; 3 – заспокоювачі потоку;
- 4 – затвори; 5 – планка з приймальними отворами п'єзометрів;
- 6 – спитцевий затвор; 7 – п'єзометричний щит

Дно лотка – бетонне, з ретельно вирівняною поверхнею, влаштоване таким чином, що воно займає горизонтальне положення по

всій довжині. В кінцевій бетонній частині установки, довжиною 0,2 м, дно лотка має заокруглення, що плавно переходить в металеве дно. Дана частина, що має довжину 1,1 м, необхідна для зрівноваження потоку перед виходом потоку в зливний бак.

Із напірного баку насосної станції вода по трубопроводу потрапляє в голову лотка, проходячи через протарований трикутний мірний водозлив, та в лотік. Між трикутним водозливом та затвором встановлено заспокоювач потоку. По довжині лотка використовувалися 2 окремі затвори, конфігурацію нижньої частини яких можна було змінювати. В місцях знаходження затворів були встановлені планки з донними п'єзометрами. Глибина води в нижньому б'єфі регулюється за допомогою спицевого затвора. Після того, як вода проходить по довжині лотка, вона потрапляє в відповідний резервуар, після якого, по системі трубопроводів поступає в прийомний резервуар насосної станції.

Особливості проведення вимірювання швидкостей, пов'язані з високою чутливістю кноїдальних хвиль до введення в потік вимірювальних приладів, описано в [3; 4]. При постановці експериментальних досліджень розподілу актуальних швидкостей по висоті та довжині кноїдальних хвиль було прийнято рішення використовувати наступні прилади – тензометричний датчик, мікровертушку та трубки Пітто. Тензометричний датчик виконано однокомпонентим з можливістю роботи в двох режимах «чутливості». Результати замірів знімалися з підключеного міліамперметра. Схеми і принцип роботи тензометричного датчика, мікровертушки та трубки Пітто показано в [5]. Порівняння епюр актуальних швидкостей (рис. 2, 3) для досліду № 8-63-2 в характерних перерізах, отриманих різними вимірювальними приладами, показало їх відносну збіжність.

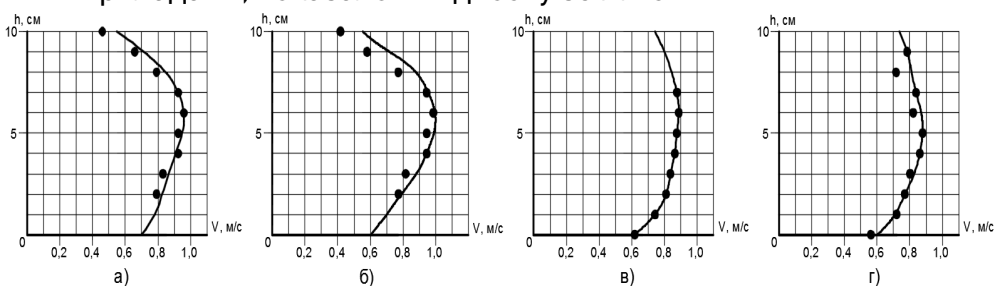


Рис. 2. Епюри актуальних швидкостей першого гребеня для досліду № 8-63-2:

а) тензометричний датчик з I режимом чутливості; б) тензометричний датчик з II режимом чутливості; в) трубка Пітто; г) мікровертушка;

• – дослідні точки значень актуальних швидкостей

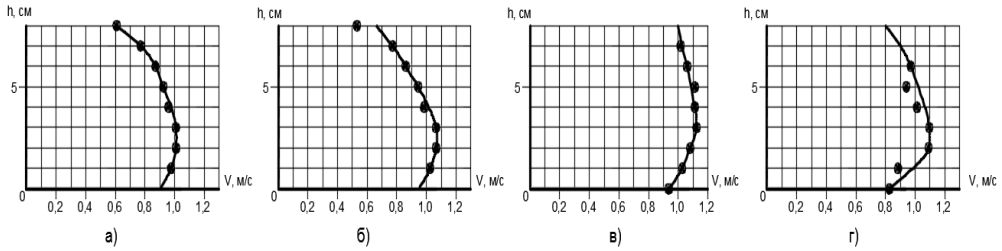


Рис. 3. Епюри актуальних швидкостей першої западини для досліду № 8-63-2:

- а) тензOMETричний датчик з I режимом чутливості; б) тензOMETричний датчик з II режимом чутливості; в) трубка Пітто; г) мікровертушка;
• – дослідні точки значень актуальних швидкостей

При аналізі отриманих даних було прийнято рішення в подальшому використовувати виключно тензOMETричний датчик в певному режимі «чутливості».

Розподіл поздовжньої компоненти осереднених і максимальних миттєвих швидкостей по висоті та довжині потоку для типових дослідів показано на рис. 4. При цьому вимірювальні вертикалі проходили через характерні точки профілю вільної поверхні потоку, які співпадали з вершинами та підошвами двох перших за рахунком хвиль досліджуваного явища.

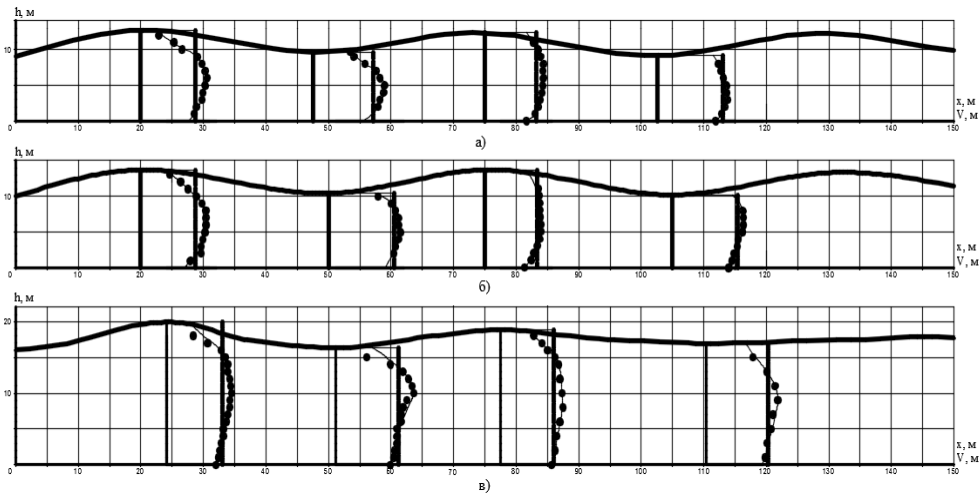


Рис. 4. Епюри швидкостей по довжині кноїдальних хвиль для характерних дослідів: а) дослід № 9-79-2; б) дослід № 10-78-2; в) дослід № 16-122-1;
• – дослідні точки значень актуальних швидкостей; – – середні значення швидкості в перерізі

Аналіз даних про розподіл середньої швидкості $V_{\text{сер}}$ в характерних перерізах хвилеподібних білякритичних течій по висоті та дов-



жині потоку показує, що зміна вказаної швидкості відбувається хвилеподібно: в перерізах по вершинам хвиль спостерігаються мінімуми, а в перерізах по підощвам – максимумами значень. Виконані експериментальні дослідження розподілу осереднених і максимальних актуальних швидкостей по висоті та довжині кноїдальних хвиль у спокійному потоці показали, що утворення донного водовороту не спостерігається.

З практичної точки зору винятково важливе значення має інформація про розподіл по довжині потоку максимальної актуальної $V_{a, \max}$, осередненої V_a та максимальної пульсаційної придонних V_p швидкостей, які визначають розмивну здатність водного потоку. На рис. 4 показано характер зміни зазначених швидкостей в характерних перерізах по висоті та довжині потоку для кількох характерних дослідів з кноїдальними хвилями. Як видно з наведеної інформації, зміни максимальної актуальної $V_{a, \max}$, осередненої V_p та максимальної пульсаційної $V_{p, \max}$ придонних швидкостей по довжині кноїдальних хвиль мають хвилеподібний характер з максимумами значень в перерізах по підощвах і мінімумами – в перерізах по вершинам хвиль. Характерно, що максимумами вказаних швидкостей зменшуються від перерізу до перерізу в напрямку за течією, а мінімуми – збільшуються в тому ж напрямку. При цьому названі швидкості прямують до відповідних значень в перерізі потоку з природною глибиною нижнього б'єфу в кінці ділянки затухання хвиль.

Отримані дані про кінематичну структуру кноїдальних хвиль як в якісному, так і в кількісному відношеннях добре узгоджуються з результатами дослідів Р.Л. Вігеля [6], Дж. Родні та Е. Собея [7].

На основі вищесказаного можна зробити такі висновки.

1. Питання розподілу актуальних швидкостей має велике значення з практичної та теоретичної точки зору.

2. Виконані експериментальні дослідження розподілу осереднених і максимальних актуальних швидкостей по висоті та довжині кноїдальних хвиль в спокійному потоці показали, що утворення донного водовороту не спостерігається. Цей висновок дає підставу застосовувати теорію потенціального руху при теоретичному вивченні нерухомих кноїдальних хвиль.

3. Зміни по довжині кноїдальних хвиль максимальної актуальної $V_{a, \max}$, осередненої V_a та максимальна пульсаційна V_p швидкостей, вимірних в характерних перерізах, проведених через вершини та підощви хвиль, відбуваються хвилеподібно з максимумами в перерізах по підощвам і мінімумами – в перерізах по вершинах хвиль.

1. Рябенко О. А., Галич О. О., Поплавський Д. М. Побудова профілів вільної поверхні хвилястого стрибка, усамітненої та кноїдальних хвиль. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* : Міжнародний науково-технічний журнал. 2014. № 2. С. 163–166. 2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. 3-е изд. М. : Наука, 1986. 736 с. 3. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технических процессов. М. : Машиностроение, 1981. 184 с. 4. Врахування особливостей білякритичних течій при лабораторних дослідженнях / О. А. Рябенко, О. О. Ключа, О. О. Галич, Д. М. Поплавський. *Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції* : зб. наук. статей. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 235–240. 5. Леви И. И. Моделирование гидравлических явлений. Л. : Энергия, 1967. 236 с. 6. Wiegel R. L. A presentation of cnoidal wave theory for practical application. *J. Fluid Mech.* 1960. S. 273–286. 7. Rodney J., Sobey A. Cnoidal Approximation Wave Theory. *Engineering and Computational Mechanics*. 2012. S. 201–216.

REFERENCES:

1. Riabenko O. A., Halych O. O., Poplavskiy D. M. Pobudova profiliv vilnoi poverkhni khvyliastoho strybka, usamitnenoї ta knoidalnykh khvyl. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh* : Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. 2014. № 2. S. 163–166. 2. Landau L. D., Lifshyts E. M. Hidrodynamika. 3-e izd. M. : Nauka, 1986. 736 s. 3. Spirodonov A. A. Planirovaniie eksperimenta pri issledovanii tekhnicheskikh protsesov. M. : Mashynostroenie, 1981. 184 s. 4. Vrakhuvannia osoblyvostei biliakrytychnykh techiei pry laboratornykh dosli-dzhenniakh / O. A. Riabenko, O. O. Kliukha, O. O. Halych, D. M. Poplavskiy. *Netradytsiini i ponovliuvalni dzhherela enerhii yak alternatyvni pervynnym dzhherelam enerhii v rehioni. Materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* : zb. nauk. statei. Lviv : NU «Lvivska politekhnika», 2017. S. 235–240. 5. Levi Y. Y. Modelirovanie hidravlicheskikh yavlenii. L. : Enerhiia, 1967. 236 s. 6. Wiegel R. L. A presentation of cnoidal wave theory for practical application. *J. Fluid Mech.* 1960. S. 273–286. 7. Rodney J., Sobey A. Cnoidal Approximation Wave Theory. *Engineering and Computational Mechanics*. 2012. S. 201–216.

Рецензент: к.т.н., доцент Веремчук А. І. (НУВГП)

Poplavskiy D. M., Assistant (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

ACTUAL VELOCITY DISTRIBUTION BY LENGTH OF THE CNOIDAL WAVES



The article reveals relevance of velocity distribution research of the cnoidal waves. Results of information's analysis about the actual velocity distribution of the above phenomenon are given. This paper presents the authors research of the velocity distribution for the cnoidal waves. The scheme of experimental installation and the methodology of scientific research are presented. Comparison of the results with the data obtained by other researchers are supplied.

***Keywords:* cnoidal waves, actual velocity, hydraulic engineering, specific cut, kinematic structure.**

Поплавский Д. М., ассистент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ПО ДЛИНЕ КНОИДАЛЬНЫХ ВОЛН

В статье раскрыта актуальность исследования распределения скорости кноидальных волн. Приведены результаты анализа о распределении актуальных скоростей указанного явления. Представлены авторские исследования распределения скоростей кноидальных волн. Описана схема лабораторной установки и методология исследований. Сравнение полученных данных с результатами других исследователей показало их сходство.

***Ключевые слова:* кноидальные волны, актуальные скорости, гидротехнические сооружения, характерные сечения, кинематическая структура.**
