

УДК 532.592

Дослідження поширення поверхневої поодинокі хвилі над горизонтальною пластиною

Горбань Ірина Миколаївна¹, к.ф.-м.н., пров.н.с., Корольова Анна Сергіївна¹, к.ф.-м.н., с.н.с., Романенко Павло Юрійович, Соколовський Георгій Павлович¹, гол. інж.-мех., Срібнюк Степан Михайлович², к.т.н., проф..

1-Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна

2-Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Анотація. В даній роботі представлено результати експериментальних досліджень взаємодії поверхневої поодинокі хвилі з тонкою зануреною горизонтальною пластиною з встановленими зверху трубчастими палями, що підтримується такими ж палями. Отримано основні параметри хвилі, що поширюється в каналі: її амплітуда, довжина, середня швидкість поширення, енергія хвилі. Зроблено оцінку затухання енергії поодинокі хвилі та визначено коефіцієнт проходження по амплітуді хвилі відносно падаючої хвилі. Показано, що значний вплив на коефіцієнти проходження і, відповідно, на ефективність проникної перешкоди пластинчастого типу, має довжина горизонтальної пластини і глибина її занурення відносно вільної поверхні рідини. Встановлено, що подібного типу перешкоди можуть розсіювати до 60% хвильової енергії. При цьому горизонтальна пластина відіграє основну роль, а палі слугують допоміжними елементами в зниженні проходження хвиль.

Ключові слова: поодинокі хвиля; трансформація хвилі; горизонтальна пластина; коефіцієнт проходження, коефіцієнт відбиття.

Хвилеломи у вигляді занурених горизонтальних пластин вже досить довгий час привертають увагу дослідників й інженерів гідротехнічного будівництва. Коли такі конструкції розташовуються поблизу вільної поверхні, вони можуть бути ефективним хвилеломом для прибережних зон або морських споруд [1]. Разом з тим такого типу хвилеломи є більш економічними в порівнянні з традиційними берегозахисними конструкціями, мають менший вплив на екосистему і в меншій степені залежать від геологічного стану дна.

Дана робота присвячена нелінійним поодиноким хвилям, що поширюються над тонкою жорсткою горизонтальною пластиною. Інтерес до експериментальних досліджень взаємодії поверхневих поодинокі хвиль з перешкодами викликаний тим, що основні особливості та поведінка поверхневих поодинокі хвиль подібні аналогічним характеристикам процесу взаємодії хвиль цунамі з берегами і береговими спорудами.

Експерименти проводились в гідродинамічному лотку Інституту гідромеханіки НАН України. Хвильовий лоток довжиною 16м, шириною 0.3м і висотою 0.7м обладнаний генератором поодинокі хвиль, спеціальним пристроєм для відсікання дисперсійного «хвоста», який виникає при генерації хвилі, системою реєстрування даних експерименту (ємнісні датчики, аналогово-цифровий перетворювач, персональний комп'ютер, цифрові фотоапарати і відеокамера). Детальний опис представлений в [2].

Після генерації поодинокі хвиля поширюється вниз по потоку, і підйом вільної поверхні, викликаний проходженням хвилі, хвилі реєструється датчиками. В процесі проведення експериментів датчики були розташовані вздовж вісі лотка, що дозволило визначити швидкість поширення хвилі, її амплітуду та форму профілю. Хвилі, що формувалися в експерименті, є типовими нелінійними поодинокими хвилями, теоретичний профіль яких описується рівнянням [3]

$$\eta = a \cdot \operatorname{sech}^2 \left[\left(3a/4H^3 \right)^{1/2} x \right],$$

де a – амплітуда хвилі, H – незбурена глибина води в лотку.

Поверхневі поодинокі хвилі поширюються в каналах постійної глибини практично без змін їх форми та швидкості. Їх рух вздовж каналу супроводжується лише незначним зменшенням амплітуди хвилі, обумовленим дією дисипативних процесів (рис. 1).

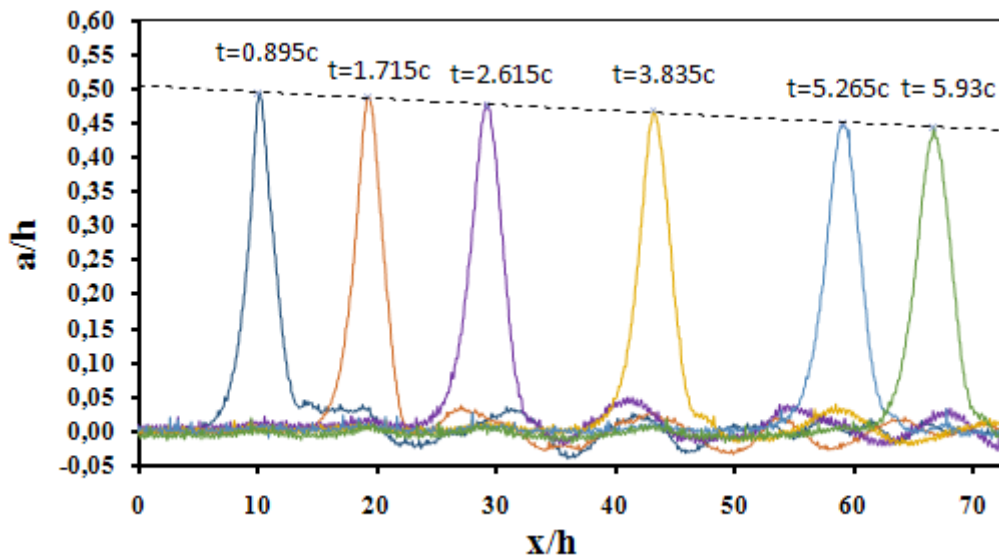


Рис. 1. Поширення поодинокі хвилі в лабораторному каналі з горизонтальним дном

Наявність перешкоди в каналі може призводити до суттєвих змін характеристик падаючих хвиль, їх деформації і подальшого руйнування. Велике значення має амплітуда падаючої хвилі, глибина води в каналі та геометричні параметри перешкоди.

В даній роботі горизонтальна пластина, що підтримується палями, розглядається як альтернативний варіант традиційним хвилеломом. Для достатнього зменшення висоти падаючої хвилі плитним хвилеломом, конструкція, як правило, проектується як тонка довга пластина або велика плита [4].

Для досліджень була створена модель перешкоди у вигляді тонкої горизонтальної пластини з розташованими на ній циліндричними палями, що підтримується такими ж палями. Поперечна відстань між палями складала $\sim 0,02$ м (встановлено 13 паль по ширині пластини), повздовжня відстань між рядами паль – $0,09$ м (встановлено 6 рядів паль по довжині пластини). Діаметр паль рівний $0,008$ м. Ширина перешкоди відповідала ширині лабораторного каналу. Загальна висота перешкоди складала $0,145$ м. Перешкода була встановлена в середній частині каналу на відстані $\sim 2,2$ м від торцевої стінки лотка. Експериментальні дослідження проводились для двох довжин горизонтальної пластини $0,47$ м і $0,24$ м. Глибина води в каналі підтримувалась на рівні $0,11$ м. В процесі проведення досліджень горизонтальна пластина була занурена на $0,01$ м нижче рівня вільної поверхні.

Результати досліджень показали, що поширення поодинокі хвиль над горизонтальною пластиною певною мірою схоже на поведінку солітонів над підводним уступом або шельфом. При різкому зменшенні глибини води в каналі над пластиною амплітуда хвилі спочатку збільшується, а потім спостерігається значна деформація хвилі. Відбувається процес ділення поодинокі хвилі над пластиною на відбиту хвилю та хвилю, що пройшла (рис. 2). Трубочасті палі, встановлені зверху та знизу пластини, слугують допоміжними елементами в зменшенні проходження хвилі. Запис даних датчиками протягом одного пробігу з пластиною довжиною $0,47$ м представлено на рис. 3.

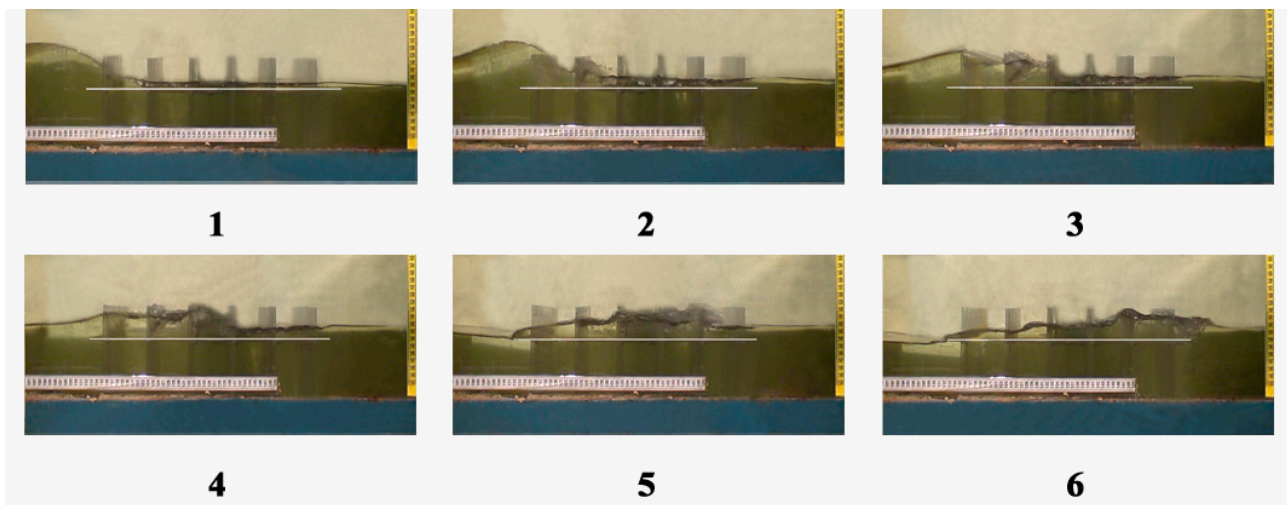


Рис. 2. Фотокадри взаємодії поодинокій хвилі з перешкодою типу горизонтальна пластина

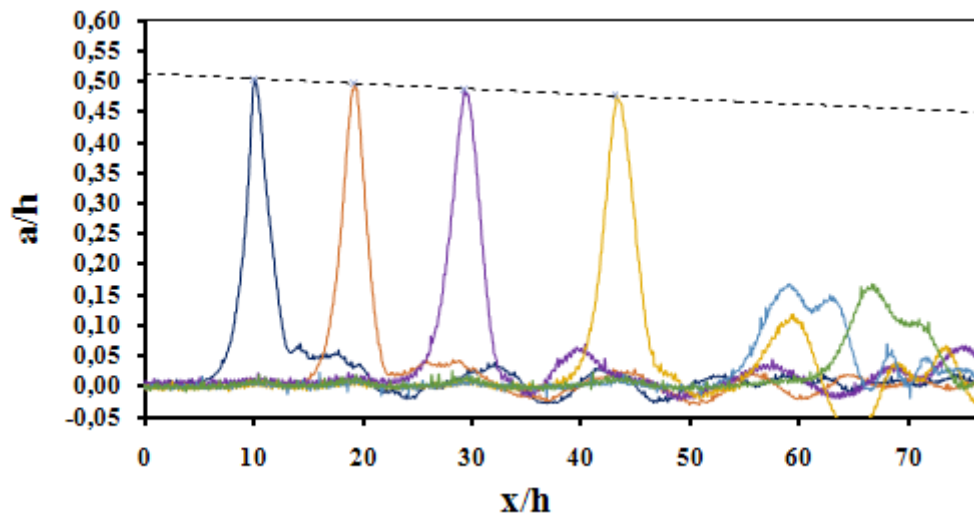


Рис. 3. Збурення вільної поверхні при проходженні поодинокій хвилі в каналі з перешкодою

Видно, що встановлені за перешкодою датчики реєструють значне зниження амплітуди хвилі, що пройшла, і спостерігається подальша трансформація хвилі. Зі зменшенням довжини горизонтальної пластини ступінь взаємодії хвилі з перешкодою знижується, і, відповідно, проходження хвилі зростає. Тобто коефіцієнти відбиття хвилі від перешкоди будуть зменшуватись, а коефіцієнти проходження – збільшуватись. Результати експериментальних досліджень показали, що руйнування хвилі при проходженні усіченої перешкоди не відбувається, і вдалині від перешкоди хвиля, що пройшла, має профіль подібний до профілю падаючої хвилі, але меншої амплітуди.

Глибина занурення горизонтальної пластини відносно вільної поверхні також грає значну роль в розсіюванні енергії хвилі. При розташуванні горизонтальної пластини поблизу вільної поверхні рідини розсіювання енергії хвилі може досягати $\sim 60\%$. Зі збільшенням відносної глибини води коефіцієнт проходження, який визначається як відношення амплітуди хвилі, що пройшла, до амплітуди падаючої хвилі, також збільшується, а коефіцієнт відбиття зменшується. Як результат, вплив хвиль на берегову лінію буде зростати.

Підсумовуючи результати проведених досліджень, можна зробити висновок, що горизонтальна пластина на пальної основі може використовуватися як хвилелом для пом'якшення сильних хвиль, що наближаються до берегової лінії. При цьому ефективність такого типу хвилелому визначається його довжиною по відношенню до довжини хвилі та глибиною занурення відносно вільної поверхні.

Виконані експериментальні дослідження можуть мати значимість, наприклад, при вивченні взаємодії поверхневих солітонних хвиль з проникними перешкодами, що дозволить отримати більш чітке розуміння процесів, пов'язаних з проходженням і відбиттям таких хвиль через проникні бар'єри та оцінити ефективність використання проникних бар'єрів для зменшення інтенсивності поодиноких хвиль в прибережній зоні.

Список літератури

1. Brossard J. Higher harmonics induced by a submerged horizontal plate and a submerged rectangular step in a wave flume / J. Brossard, G. Perret, L. Blonce, A. Diedhiou // Coastal Engineering. – 2009. – 56. – P. 11–22.
2. Городецький О. В. Генерація, розповсюдження та накат відокремлених хвиль на берегові схили / О. В. Городецький, А. С. Котельнікова, В. І. Нікішов, В. В. Олексюк та ін. // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – 12, №1. – С.40–47.
3. Hammack J.L. The Korteweg-de Vries equation and water waves. Part 2. Comparison with experiments / J.L. Hammack, H. Segur // J.Fluid Mech. – 1974. – V.65. – P. 289–314.
4. Chen X. Numerical simulations of wave propagation over a vegetated platform / X. Chen, Q. Chen, J. Zhan, D. Liu // Coastal Engineering. – 2016. – 110. – P. 64–75.

Investigation of surface solitary wave propagation over a horizontal plate

Gorban Irina, Korolova Anna, Romanenko Pavlo, Sokolovsky Georgiy, Sribnyuk Stepan

Abstract. *This paper presents the results of experimental studies of the interaction of a surface solitary wave with a thin submerged horizontal plate with cylindrical piles installed on top and supported by the same piles. Main wave characteristics have been obtained: amplitude, length, average velocity, wave energy. The damping of the wave energy was estimated and the transmission coefficient was determined. It is shown that the length of the horizontal plate and the depth of its immersion have a significant effect on the transmission coefficients and, accordingly, the efficiency of the permeable barrier in the form of a platform. It has been found that obstacles of this type can dissipate up to 60% of wave energy. The horizontal plate plays a main role and the piles serve as auxiliary elements in reducing the wave passage.*

Keywords: *solitary wave; wave transformation; horizontal plate; transmission and reflection coefficients.*