

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ З ПРОНИКНИМИ ХВИЛЕЛОМАМИ

Воскобійник В.А., доктор технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2161-6923

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Чижченко Н.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9152-2474

Клименко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Мошківський Р.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

PHYSICAL SIMULATION OF THE INTERACTION OF SURFACE WAVES WITH PENETRATING BREAKS

Voskoboynikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2161-6923

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Chyzhenko N.P. Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9152-2474

Klymenko M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Moshkivskiy R.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

Постановка проблеми.

Вітрові хвилі та хвильові течії є основними факторами, які впливають на динаміку берегів і на існування живих організмів та рослинності у прибережній зоні. Інтенсивні хвильові рухи у шельфовій зоні виникають внаслідок трансформації енергії хвиль під час їх взаємодії з берегами і дном водойми. Зведення гідротехнічних споруд в береговій зоні суттєво впливає на хід сформованих природних процесів і нерідко змінює характер динаміки берега, стан прибережних вод та біоценозів. Техногенне втручання викликає порушення кінематичних і динамічних характеристик хвильових і приводить до суттєвих змін у природному функціонуванні берегової зони.

В практиці морського гідротехнічного будівництва все частіше застосовують хвилеломи для захисту рекреаційних пляжів та в цілому берегів від розмиву. Крім того, такі споруди часто застосовують як превентивні і локальні засоби з метою зменшення хвильового навантаження на основний захисний пояс кріплень та прибережної інфраструктури за екстремальних хвилевих умов, наприклад, під час дії жорстких штормів або хвиль цунамі.

Хвилеломи застосовують в основному при фронтальному підході хвиль до берега, а найбільш ефективна їх робота спостерігається при постійному горизонті води у водоймі. Переріз хвилелому виконується зазвичай скошеним з пологим напірним і вертикальним береговим укосами. Часто для запобігання розмиву берегової лінії хвилелом з'єднують з берегом траверсами.

Фізичні процеси, що мають місце під час взаємодії хвиль із хвилеломом, належать до категорії складних і являються результатом відбиття, трансформації і дисипації енергії хвиль. Взаємодія хвильового руху з берегозахисною спорудою і трансформація гравітаційних або вітрових хвиль викликають суттєві нелінійні і нестационарні гідродинамічні процеси, які супроводжуються інтенсивними пульсаціями вихрового і струменевого руху. При цьому просторово-часові характеристики гідродинамічних параметрів мають достатньо широкий спектр у частотній та хвильовій області з формуванням тональних компонент, які відповідають субгармонікам і гармонікам вищих порядків до основної гармоніки хвильового поля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За способами захисту берегів споруди діляться на дві групи: пасивні або активні берегозахисні споруди [1-6]. Пасивні берегозахисні споруди сприймають на себе дію хвиль та

зменшують їх енергію завдяки своїй конструкції. Споруди пасивного способу дії безпосередньо захищають береговий укіс від впливу хвилювання та течії. Вони здійснюють таким чином тільки завдання збереження ділянки берега, який існував до їх зведення. Сюди відносяться поздовжні берегоукріплювальні стінки і споруди укiсного, напiвукiсного i ступеневого типiв, штучнi пляжi, хвилегасячi берми, а також береговi дамби.

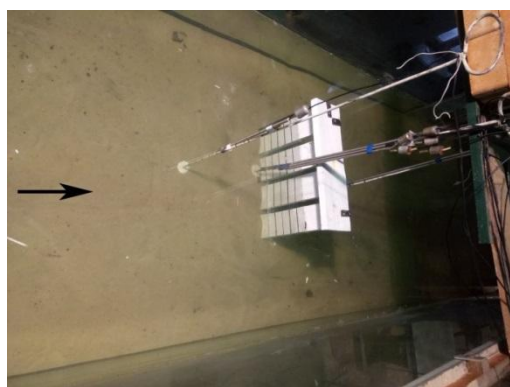
Активнi берегозахиснi споруди зберiгають пляжi або створюють умови для формування пляжiв, зменшуючи енергiю, висоту та перiод штормових хвиль. В значнiй мiрi енергiя хвиль гаситься на пiдходi до берега. Берег змцнюється спорудами, що затримують наноси, в результатi чого перед цiєю дiлянкою берега утворюється захисна смуга пляжу [7, 8]. До числа активних способiв захисту вiдносять поперечнi буни, надводнi i пiдводнi хвилеломи, банкети, пiдводнi рiвчаки, штучнi миси, поздовжнi берегоукріплювальнi хвилерiзи та iнше.

В останнi роки у розвитку берегозахисних споруд намітилася тенденція використання проникних конструкцій, перевага яких полягає в поліпшенні екології захищеної акваторії, економії будівельних матеріалів [1, 5]. У проточній воді не накопичується сміття і забезпечується вільна міграція для морських мешканців. Конструкції проникних берегозахисних споруд відрізняються широким розмаїттям. Це можуть бути близько розташовані кругові палі, проникні стінки, що складаються з горизонтальних або вертикальних щілин, розташованих на певній глибині. Критерієм їх ефективності є коефіцієнти пропускання, відбиття та дисипації енергії як регулярних, так і одиночних хвиль [4, 5]. Проектування проникних берегозахисних споруд вимагає розрахунку і експериментального дослідження хвильових і ударних гідродинамічних навантажень на елементи цих споруд. Експериментальні дослідження проводяться в лабораторних і натурних умовах з використанням сучасного високоточного обладнання та засобів обробки і аналізу даних, включаючи статистичні методи теорії ймовірності та математичної статистики [6–9].

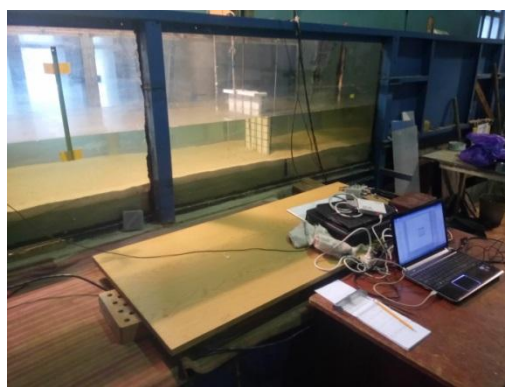
Мета роботи – вивчення особливостей гідродинамічної взаємодії морських хвиль і берегозахисних споруд проникного типу на основі експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Експериментальні роботи проводили у гідродинамічному хвильовому каналі в лабораторних умовах. Хвильовий канал мав довжину близько 60 м, ширину та глибину 1 м. Канал був обладнаний генератором хвиль, вимірювальною ділянкою з засобами візуалізації та контрольно-вимірювальною апаратурою та ділянкою гашення енергії хвиль. Вимірювальна ділянка розташовувалася на відстані близько 50 м від генератора хвиль і мала скляні стінки для проведення візуальних досліджень. Дно вимірювальної ділянки було засипано просіяним піском (середній діаметр зерен піску складав 0,35 мм) на висоту близько 0,2 м. Модель проникного хвилелому у вигляді вертикальної стінки розташовувалася на цій піщаній основі (рис. 1).



а



б

Рисунок 1 – Експериментальна модель проникного хвилелому:

- а) розташування моделі проникного хвилелому усередині вимірювальної ділянки;
- б) контрольно-вимірювальна апаратура та засоби реєстрації даних

Figure 1 – Permeable breakwater experimental model:

- a) the permeable breakwater model location inside the measuring section;
- b) control-measuring equipment and data registration instruments

Проникний хвилелом представляв собою систему призматичних конструкцій шириною 60 мм, які було розділено щілинами шириною 12 мм (рис. 1а). Призматичні конструкції було занурено у піщаний ґрунт на глибину 200 мм і вони виступали над поверхнею води на висоту близько 200 мм. Модель проникного хвилелому розташовувалася у хвильовому каналі перпендикулярно напрямку розповсюдження хвиль.

Згідно до програми та методики проведення експериментальних досліджень проводилася візуалізація течії за допомогою кольорових барвників, які подавалися за допомогою мініатюрних трубочок перед хвилеломом. Обробка та аналіз відеоматеріалу за результатами візуальних досліджень проводилися на спеціально створеній графічній комп'ютерній станції. Це дозволило визначити напрямок і швидкість течії кольорових барвників поблизу моделі проникного хвилелому [7, 8].

Параметри хвильового руху та хвильового тиску на обтічну поверхню моделі проникного хвилелому реєструвалися за допомогою п'єзокерамічних і п'єзореzystивних датчиків пульсацій тиску та повного тиску (рис. 2). Спеціально розроблені та виготовлені мініатюрні (діаметр чутливої поверхні 1,3 мм) п'єзокерамічні датчики пульсацій тиску (рис. 2а) було встановлено на одному рівні з обтічною поверхнею хвилелому. Ці датчики реєстрували пульсації пристінного тиску і не порушували хвильовий потік та структуру течії [6-9]. Спеціально розроблені та виготовлені п'єзореzystивні датчики динамічного тиску вимірювали тиск у тонкостінних трубках, які було занурено під поверхню води (рис. 2б). Тиск в трубках змінювався під дією хвильового поля у відповідності до параметрів хвиль і реєструвався цими високоточними (чутливість 2 Па) датчиками [9].

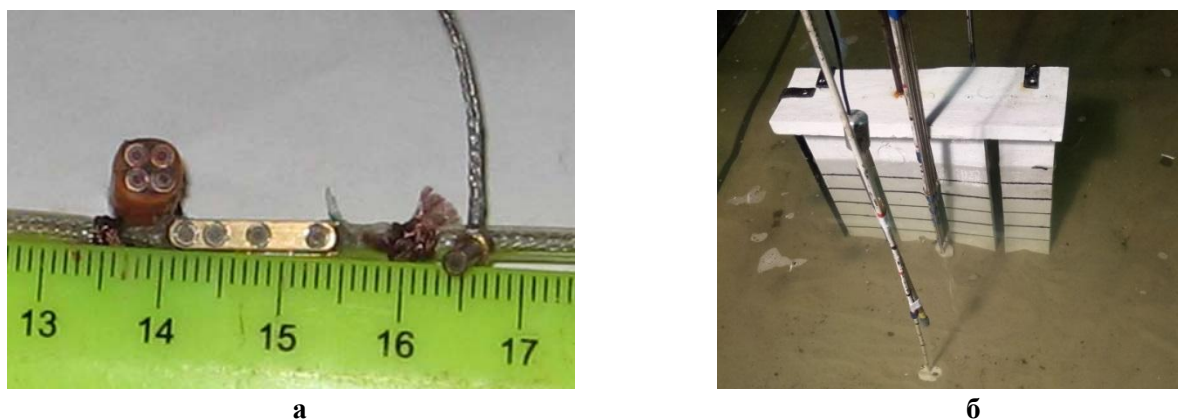


Рисунок 2 – Вимірювальні пристрої:

а) п'єзокерамічні датчики пульсацій тиску; б) п'єзореzystивні датчики висоти хвиль.

Figure 2 – Measuring devices:

a) piezoceramic pressure pulsation sensors; b) piezoresistive wave height sensors

Спеціально розроблені та створені датчики розмиву ґрунту вимірювали глибину та форму розмиву піщаного ґрунту в околі моделі проникного хвилелому. Датчики склалися з п'єзокерамічного датчика пульсацій тиску та п'єзореzystивного датчика тиску. Ці два датчики були розташовані на фіксованій відстані один від одного на спеціальній державці, яка кріпилася на координатному пристрої, і занурювалися у місця вимірювання розмиву. Коли датчик пульсацій тиску досягав піщаного дна, то різко або імпульсно змінювався його акустичний імпеданс, що реєструвалося відповідною апаратурою. Інший п'єзореzystивний датчик в момент зміни імпедансу реєстрував глибину занурювання п'єзокерамічного датчика. Глибина розмиву ґрунту у досліджуваній області біля хвилелому, де знаходилися ці датчики, розраховувалася з урахуванням відстані між датчиками і фази хвильового руху [8].

Електричні сигнали датчиків підсилювалися, фільтрувалися і подавалися на 16-канальний аналогово-цифровий перетворювач, а далі на комп'ютер (рис. 1б), де оброблялися та аналізувалися за

спеціальними алгоритмами та програмами. Обробка та аналіз даних було проведено з застосуванням теорії ймовірності та математичної статистики [9].

Досліди проводилися для глибини води (H) над поверхнею піщаного ґрунту від 0,2 м до 0,3 м, висоти хвиль (h), які генерував генератор хвиль, від 0,04 м до 0,1 м, період хвильового руху (T) змінювався від 0,6 с до 1,8 с, а довжина хвилі (λ) складала від 0,5 м до 4,3 м. Крутизна хвиль (h/λ) змінювалася від 0,01 до 0,2.

Результати досліджень

Результати візуальних досліджень показали, що кольоровий барвник заходив у щілини проникного хвилелому, коли до мористої поверхні хвилелому підходив гребінь хвилі. Коли до хвилелому підходила підшва хвилі, то кольоровий барвник витікав зі щілини хвилелому, та з'являвся перед його мористою частиною. Таким чином, барвник то заходив у щілину хвилелому, то виходив з неї у відповідності до коливання хвильового руху. Під дією цього зворотно-поступального руху перед щілинами хвилелому утворювалися розмиви піщаного ґрунту, як поблизу мористої поверхні хвилелому, так і в його кормовій частині. Результати вимірювань показали, що поблизу щілин утворювалися розмиви піску глибиною близько (20-30) мм і шириною близько (40-50) мм. Поблизу фронтальних та кормових поверхонь призматичних складових проникного хвилелому спостерігалися намиви піщаного ґрунту висотою до (10-15) мм (рис. 3). Також інтенсивний розмив ґрунту був зареєстрований поблизу бокових частин уступу (рис. 3а). Треба зауважити, що більші розміри отворів розмивів і намивів піску мали місце для менших глибин потоку і хвиль, які мали вищу висоту і менший період [4-6].



Рисунок 3 – Розмив і намив піщаного ґрунту поблизу моделі проникного хвилелому:

а) вид збоку; б) вид на мористу поверхню хвилелому

Figure 3 – Erosion and alluvioning near the permeable breakwater model: a) side view;

b) a view of the breakwater's sealing surface

Вимірювання особливостей хвильового поля та вихрового тиску на обтічну поверхню проникливого хвилелому показали, що проникний уст хвилелом зменшує висоту хвилі на (20-30) % в залежності від параметрів хвиль. Приклад форми хвилі та її висоти наведено на рис. 4а для двох точок вимірювання, які знаходилися на відстані 0,2 м перед моделлю хвилелому (крива 1) та 0,2 м за хвилеломом (крива 2). Результати досліджень показали, що висота хвилі перед хвилеломом вища, ніж за хвилеломом, що підтверджує ефективність роботи такого проникливого хвилелому.

Розподіл енергії хвильового тиску за частотним наповненням було отримано за допомогою спектрального аналізу пульсацій тиску. Так, на рис. 4б представлені спектральні щільності потужності пульсацій пристінного тиску на обтічній поверхні проникного хвилелому та спектри пульсацій хвильового тиску перед і позаду хвилелому. Крива 1 виміряна датчиком пульсацій пристінного тиску, який розташовувався на передній поверхні хвилелому на відстані 0,1 м від рівня води. Крива 2 виміряна на відстані 0,15 м від рівня води, крива 3 – 0,2 м та крива 4 – 0,25 м від рівня води. Крива 5 отримана за допомогою датчика висоти хвилі, який розташовувався на відстані 0,2 м перед моделлю хвилелому і на глибині 0,1 м від рівня води, а крива 6 – на відстані 0,2 м позаду проникного хвилелому і також на глибині 0,1 м від рівня води.

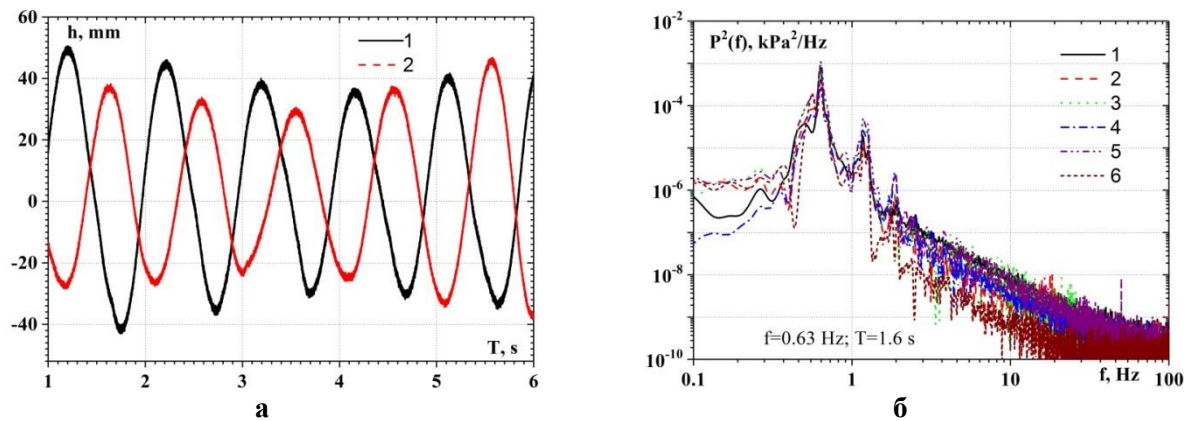


Рисунок 4 – Експериментальні дані:

а) форма і висоти хвиль; б) спектральні густини потужності пульсацій хвильового тиску поблизу моделі проникного хвилелому

Figure 4 – Experimental data:

а) shape and height of waves; б) spectral power densities of wave pressure pulsations near the permeable breakwater model'

Результати дослідження показали, що в спектрах пульсацій хвильового тиску спостерігалися тональні компоненти на основній частоті хвильового руху та на його вищих гармоніках. На обтічній поверхні проникливого хвилелому рівні пульсацій хвильового тиску зменшувалися з віддаленням від поверхні води. При цьому високочастотні компоненти спектру зменшувалися більше інтенсивно. Перед проникним хвилеломом спектральні складові хвильового руху мають більшу інтенсивність, ніж позаду хвилелому, особливо в області високих частот.

Висновки

Результати фізичного моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникними хвилеломами дозволили зробити наступні висновки:

Установлено, що проникний хвилелом є достатньо ефективною берегозахисною спорудою, яка зменшує хвильове навантаження на берегову приморську зону та гідротехнічні споруди. Зареєстровано, що для досліджуваних режимів хвильового руху проникний хвилелом зменшує висоту хвилі до 30% в залежності від параметрів хвиль. При цьому проникний хвилелом більше ефективний для коротких штормових хвиль.

Визначено, що під час розташування проникного хвилелому на розмивному ґрунті найбільші розмиви спостерігалися поблизу щілин хвилелому, а намив піщаного ґрунту мав місце перед і позаду призматичних конструкцій проникного хвилелому. Зі зменшенням глибини акваторії та періоду хвильового руху розмив і намив ґрунту збільшувався.

Знайдено, що в спектрах пульсацій хвильового тиску спостерігалися тональні компоненти, які відповідали основній гармоніці хвильового руху та її вищим гармонікам. З віддаленням від поверхні води спектральні рівні пульсацій тиску зменшувалися, особливо в областях високих частот, які обумовлені генерацією тиску дрібномасштабними компонентами хвильового руху. Перед моделлю проникного хвилелому спектральні складові хвильового тиску вищі, ніж позаду хвилелому, особливо в області високих частот.

Установлено, що зведення в прибережній зоні на шляху переміщення хвиль хвилелом є ефективним способом зменшення катастрофічних наслідків руйнівної дії хвиль на берег. Характерною особливістю процесу деформації є втрати енергії і зменшення амплітуди хвилі, що проходить через проникний хвилелом.

Перспективи подальшого дослідження.

Для визначення точної картини режиму відокремленої залишкової хвилі в приведених випадках потрібно дослідження тонких особливостей взаємодії хвиль з перешкодами, у тому числі розрахунки параметрів набігаючих і відбитих хвиль в захвилеломному просторі з урахуванням фазових зрушень і інтерференції хвиль.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Морська доктрина України на період до 2035. (2020). Постанова Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2018 р. № 1108 (Із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 1023 від 28.10.2020).
2. Alkhalidi M., Alanjari N., Neelamani S. (2020). Wave interaction with single and twin vertical and sloped slotted walls. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 589-1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse8080589>.
3. Селезов І.Т., Воскобійник, В.А., Воскобойник, О.А., Харченко, А.Г., Воскобійник, А.В. (2022) Взаємодія гравітаційних хвиль з проникним хвилеломом. *Екологічна безпека та природокористування*, 42 (2), 96-111. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.2.96-111>
4. Dawn S., Gope S., Das A., Bhowmik D., Koley I. Tidal energy as emergent energy source: A review. *Proc. Intern. Conf. on Computational Intelligence and IoT (ICCIoT)*. Tripura. NITA. 2018. Pp. 340-345.
5. Voskoboinick V., Voskoboynyk O., Voskobijnyk A. Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors. Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference “Actual Aspects of Development in the context of Globalization”. Florence. Italy. 2020. Pp. 265-269.
6. Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow Turbulence Combust.* 2013. № 4(90). Pp. 709-722.
7. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboynyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. Cham. 2019. Vol. 754. Pp. 23-32.
8. Bendat J.S., Piersol A.G. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, 4th Edition. N.Y. Wiley. 2010. 640 p.
9. Vinogradnyi G.P., Voskoboinick V.A., Grinchenko V.T., Makarenkov A.P. Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder. *J. Fluid Dyn.* 1989. № 5(24). Pp. 695-700.
10. Voskoboinick V.A., Makarenkov A.P. Spectral characteristics of the hydrodynamical noise in a longitudinal flow around a flexible cylinder. *Intern. J. Fluid Mech. Res.* 2004. № 1(31). Pp. 87-100.

REFERENCES

1. Maritime doctrine of Ukraine for the period until 2035. (2020). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 18, 2018 No. 1108 (Amended in accordance with Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1023 dated October 28, 2020).
2. Alkhalidi, M., Alanjari, N., Neelamani, S. (2020). Wave interaction with single and twin vertical and sloped slotted walls. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 589-1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse8080589>
3. Selezov I.T., Voskobijnyk, V.A., Voskobijnyk, O.A., Kharchenko, A.G., Voskobijnyk, A.V. (2022) Interaction of gravity waves with penetrating breakwater. *Environmental safety and nature management*, 42 (2), 96-111.
3. Dawn S., Gope S., Das A., Bhowmik D., Koley I. Tidal energy as emergent energy source: A review. *Proc. Intern. Conf. on Computational Intelligence and IoT (ICCIoT)*. Tripura. NITA. 2018. Pp. 340-345.
4. Voskoboinick V., Voskoboynyk O., Voskobijnyk A. Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors. Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference “Actual Aspects of Development in the context of Globalization”. Florence. Italy. 2020. Pp. 265-269.
5. Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow Turbulence Combust.* 2013. № 4(90). Pp. 709-722.
6. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboynyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. Cham. 2019. Vol. 754. Pp. 23-32.
7. Bendat J.S., Piersol A.G. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, 4th Edition. N.Y. Wiley. 2010. 640 p.

8. Vinogradnyi G.P., Voskoboinick V.A., Grinchenko V.T., Makarenkov A.P. Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder. *J. Fluid Dyn.* 1989. № 5(24). Pp. 695-700.

9. Voskoboinick V.A., Makarenkov A.P. Spectral characteristics of the hydrodynamical noise in a longitudinal flow around a flexible cylinder. *Intern. J. Fluid Mech. Res.* 2004. № 1(31). Pp. 87-100.

РЕФЕРАТ

Воскобійник В.А. Фізичне моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникним хвилеломом / В.А. Воскобійник, А.М. Онищенко, Н.П. Чиженко, М.І. Клименко, Р.В. Мошківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В останні роки у розвитку берегозахисних споруд намітилася тенденція використання проникних конструкцій, перевага яких полягає в поліпшенні екології захищеної акваторії, економії будівельних матеріалів. У проточній воді не накопичується сміття і забезпечується вільна міграція для морських мешканців. Конструкції проникних берегозахисних споруд можуть бути близько розташовані кругові палі, проникні стінки, що складаються з горизонтальних або вертикальних щілин, розташованих на певній глибині. Критерієм їх ефективності є коефіцієнти пропускання, відбиття та дисипації енергії як регулярних, так і одиночних хвиль. Проектування проникних берегозахисних споруд вимагає розрахунку і експериментального дослідження хвильових і ударних гідродинамічних навантажень на елементи цих споруд. Експериментальні дослідження проводяться в лабораторних і натурних умовах з використанням сучасного високоточного обладнання та засобів обробки і аналізу даних, включаючи статистичні методи теорії ймовірності та математичної статистики.

В даній статті приведено основні результати гідродинамічного моделювання проникного хвилелома. Експериментальні дослідження проводили у гідродинамічному хвильовому каналі в лабораторних умовах. Хвильовий канал мав довжину близько 60 м, ширину та глибину 1 м. Канал був обладнаний генератором хвиль, вимірювальною ділянкою з засобами візуалізації та контрольно-вимірювальною апаратури та ділянкою гашення енергії хвиль. Вимірювальна ділянка розташовувалася на відстані близько 50 м від генератора хвиль і мала скляні стінки для проведення візуальних досліджень. Дно вимірювальної ділянки було засипано просіяним піском (середній діаметр зерен піску складав 0,35 мм) на шаром близько 0,2 м. Модель проникного хвилелому у вигляді вертикальної стінки розташовувалася на цій піщаній основі. Проникний хвилелом представляв собою систему призматичних конструкцій шириною 60 мм, які було розділено щілинами шириною 12 мм. Призматичні конструкції було занурено у піщаний ґрунт на глибину 200 мм і вони виступали над поверхнею води на висоту близько 200 мм. Модель проникного хвилелому розташовувалася у хвильовому каналі перпендикулярно напрямку розповсюдження хвиль.

Результати фізичного моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникними хвилеломами дозволили показати, що проникний хвилелом є достатньо ефективною берегозахисною спорудою, яка зменшує хвильове навантаження на берегову приморську зону та гідротехнічні споруди. Зареєстровано, що для досліджуваних режимів хвильового руху проникний хвилелом зменшує висоту хвилі до 30% в залежності від параметрів хвиль. При цьому проникний хвилелом більше ефективний для коротких штормових хвиль. Також встановлено, що під час розташування проникного хвилелому на розмивному ґрунті найбільші розмиви спостерігалися поблизу щілин хвилелому, а намив піщаного ґрунту мав місце перед і позаду призматичних конструкцій проникного хвилелому. Зі зменшенням глибини акваторії та періоду хвильового руху розмив і намив ґрунту збільшувався.

Аналіз даних показав, що перед моделлю проникного хвилелому спектральні складові хвильового тиску вищі, ніж позаду хвилелому, особливо в області високих частот.

Установлено, що зведення в прибережній зоні на шляху переміщення хвиль хвилелома є ефективним способом зменшення катастрофічних наслідків руйнівної дії хвиль на берег. Характерною особливістю процесу деформації є втрати енергії і зменшення амплітуди хвилі, що проходить через проникний хвилелом. Для визначення точної картини режиму відокремленої залишкової хвилі в приведених випадках потрібно дослідження тонких особливостей взаємодії хвиль

з перешкодами, у тому числі розрахунки параметрів набігаючих і відбитих хвиль в захвилеломному просторі з урахуванням фазових зрушень та інтерференції хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГІДРОТЕХНІЧНА СПОРУДА, БЕРЕГОЗАХИСНА СПОРУДА, ПОВЕРХНЕВА ХВИЛЯ, ПРОНИКНИЙ ХВИЛЕЛОМ, ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР.

ABSTRACT

Voskoboynik V.F., Onyshchenko A.M., Chyzhenko N.P., Klymenko M.I., Moshkivskiy R.V. Physical modeling of the surface waves with a penetrating breakwater interacting. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal.* – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

In recent years, there is a trend to use permeable structures in the coastal defense structures development. These hydrotechnical structures have the advantage of which is to improve the ecology of the protected water area, saving construction materials. Garbage does not accumulate in running water and free migration is ensured for sea creatures. The permeable coastal protection structures can be closely spaced circular piles, permeable walls consisting of horizontal or vertical slits located at a certain depth. Their effectiveness criteria are the transmission, reflection and energy dissipation coefficients of both regular and solitary waves. The permeable coastal defense structures design requires the calculation and experimental study of wave and waterhammer hydrodynamic loads on the elements of these structures. Experimental research is conducted in laboratory and nature conditions using modern high-precision equipment and data processing and analysis tools, including probability theory statistical methods and mathematical statistics.

This paper presents the main results of permeable breakwater hydrodynamic modeling. Experimental studies were carried out in a hydrodynamic wave channel under laboratory conditions. The wave channel had a length of about 60 m, a width and a depth of 1 m. The channel was equipped with a wave generator, a measuring section with visualization and control means and measuring equipment, and a section for wave energy quencher. The measuring area was located at about 50 m from the wave generator and had glass walls for conducting visual studies. The bottom of the measuring area was filled with sifted sand (the average diameter of the sand grains was 0.35 mm) in a layer of about 0.2 m. The model of the permeable breakwater in the form of a vertical wall was located on this sand base. The permeable breakwater was a system of prismatic structures with a width of 60 mm, which were separated by slits with a width of 12 mm. Prismatic structures were immersed in sandy soil to a depth of 200 mm and protruded above the water surface to a height of about 200 mm. The permeable breakwater model was in the wave channel perpendicular to the direction of wave propagation.

The physical modeling results of the surface waves with permeable breakwaters interacting showed that the permeable breakwater is a sufficiently effective coastal protection structure which reduces the wave load on the coastal zone and hydrotechnical structures. It is recorded that for the studied modes of wave motion, the permeable wave reduces the wave height by up to 30%, depending on the parameters of the waves. At the same time, a permeable breakwater is more effective for short storm waves. It was also established that during the location of the permeable breakwater on the erosive soil, the largest erosions were observed near the breakwater slits, and the sandy soil alluviation took place in front and behind the prismatic structures of the permeable breakwater. As the depth of the water area and the period of wave motion decreased, soil erosion and siltation increased.

The analysis of the data showed that in front of the permeable breakwater model, the spectral components of the wave pressure are higher than behind the breakwater, especially in the high frequency area.

It has been established that the construction of a breakwater in the coastal zone along the path of wave movement is an effective way to reduce the catastrophic consequences of the destructive effect of waves on the shore. A characteristic feature of the deformation process are energy losses and a decrease in the amplitude of the wave passing through the permeable breakwater. To determine the real regime of the separated residual wave in the given cases, it is necessary to study the subtle features of the waves with obstacles interacting, including calculations of the parameters of up running and reflected waves in the behind breakwater space, considering phase shifts and wave interference.

KEY WORDS: HYDRODYNAMIC MODELING, HYDROTECHNICAL STRUCTURE, COASTAL DEFENSE STRUCTURE, SURFACE WAVE, PERMEABLE BREAKWATER, WATER HAMMER.

АВТОРИ:

Воскобійник В.А. доктор технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Чиженко Н.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-9152 2474

Клименко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Мошківський Р.В., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

AUTHORS:

Voskoboynikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Science, Professor, National Transportation University, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, +380687771899, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Chyzhenko N.P. Candidate of Technical Sciences, Ph. D, National Transportation University, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, +380507355080, orcid.org/ 0000-0002-9152 2474

Klymenko M.I., Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Moshkivskyi R.V., graduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, moshkjoma@gmail.com, +380672357174, orcid.org/0009-0004-9471-4238

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бубела А.В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

Петрович В.В., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

REVIEWER:

Bubela A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University.

Petrovych V. V., Candidate of Technical Sciences, Professor, National Transport University.