

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційно наукова
праця на правах рукопису

Синиця Роман Валерійович

УДК 627.24:624.041

ДИСЕРТАЦІЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ
ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД
НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»

019 «Архітектура та будівництво»

Подається на здобування наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використанням ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Синиця Р.В.

Науковий керівник - Рогачко Станіслав Іванович, доктор технічних наук,
професор

Одеса 2020

АНОТАЦІЯ

Синиця Р.В. Експериментально-теоретичне обґрунтування використання гідротехнічних огорожувальних споруд неповного вертикального профілю. Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» - Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2020.

Дисертаційне дослідження присвячено вивченню питань впливів різних параметрів конструкцій огорожувальних гідротехнічних споруд (ОГТС) неповного вертикального профілю, які впливають на величину гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються при переливі їх через верхню будову ОГТС на акваторію, що захищається.

У **вступі** роботи надано обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовані мета та задачі, наукова новизна, практичне значення роботи, представлена її загальна характеристика та зв'язок з науковою темою.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в ході проведених досліджень, були отримані експериментальні дані щодо величин гасіння хвиль різними конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю. Визначено ступінь впливу факторів конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, що впливають на величину гасіння хвиль, встановлено ступінь впливу факторів кам'яної постілі на величину трансформації хвиль при наближенні до верхньої будови ОГТС. Розроблені два методи призначені для визначення величини гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається.

У **першому** розділі дисертації представлений детальний огляд і аналіз існуючих досліджень, пов'язаних з питаннями гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного профілю. Було встановлено, що у діючих нормативних документах України та багатьох країн світу з проектування огорожувальних

споруд, відсутні практичні рекомендації, що дозволяють визначати висоту гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю, при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається.

У процесі літературного огляду було встановлено, що дослідженням цих питань у Радянському Союзі займалися з 50-х років минулого сторіччя, однак на даний час, у нормативних документах України та інших країн, відсутні практичні рекомендації, що дозволяють встановлювати величину гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю. Вирішенню питання гасіння хвиль при переливі їх через верхні будови ОГТС різних типів були присвячені роботи: Г.С. Башкірова, В.В. Хаперського, О.Ю. Бірської, N.W.H. Allsop, J.E. McKenna, D. Vicinanza, W.N. Seelig, S. Takahashi, T.J.T. Whittaker та багатьох інших. Проте, у дослідників не склалася єдина думка про вплив різних чинників і факторів огорожувальних споруд неповного вертикального профілю, які впливають на величини гасіння хвиль при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається. В результаті порівняння та аналізу існуючих методів визначення величини гасіння хвиль спорудами неповного профілю, були встановлені суттєві відмінності в підходах вирішення цього питання, пов'язаного з невідповідністю форми поперечного перерізу огорожувальної споруди, висот вихідних хвиль та ін. Так, при зіставленні отриманих результатів, визначено, що висоти погашених хвиль за ОГТС відрізняються майже на порядок. Вочевидь, ці відмінності свідчать про неможливість застосування жодної з представлених методів без експериментального обґрунтування. В результаті проведеного огляду, були виявлені істотні відмінності в методиках впливу стоячих хвиль та хвиль, що руйнуються на споруди вертикального типу. З цієї причини, картини гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю будуть між собою також відрізнятися. Встановлено необхідність запропонувати методи, призначені для визначення величини гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторію, що захищається.

У **другому розділі** роботи надані плани експериментальних досліджень для двох серій експериментів, обґрунтування і передумови вибору факторів, детальний опис методики проведення досліджень.

В рамках запланованих експериментів були створені датчики нового типу (рівнеміри), призначені для визначення величини гасіння хвиль при проведенні дослідів у гідрохвильовому лотку. З метою реєстрації стану схвильованої поверхні у відкритих водоймах широко застосовуються перетворювачі рівня води в електричний сигнал струнного типу дії, які засновано на реостатичній зміні слабкого струму між двома паралельно натягнутими струнами при зміні рівня води. Даний прилад дозволяв вести запис рівня води постійно, мав низьку вартість і простоту конструкції, проте він має значну не лінійність показань і невисоку чутливість, пристрій даного приладу коротко описана в літературних джерелах.

Перетворювач коливань рівня поверхні води в експериментальному лотку є датчик, ємнісного типу, що перетворював лінійну величину коливань рівня поверхні води в величину електричної ємності конденсатора. Обкладки конденсатора були виконані у вигляді частково занурених у воду паралельних циліндричних стрижнів, розташованих вертикально, а діелектриком була вода.

Вимірювальний блок проводить вимірювання ємності C_n створеного конденсатору методом визначення часу T його циклічного перезарядження через вимірювальний резистор R між фіксованими напругами $+V_\phi$ і $-V_\phi$ в прицізонному мультівібраторі в періодичному циклі. Для використання ділянки з лінійною залежністю зарядного струму від прикладеної напруги V_ϕ обрано рівним - 1,20 (В), що менше стандартної енергії Гіббса утворення води, яка дорівнює величині - 1,23 (В).

Відповідно до аналізу досліджуваних моделей, були встановлені і сформульовані основні задачі, визначені чинники конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, що впливають на величину гасіння хвиль. Перша серія експериментів полягала у визначенні величини впливу верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю на величину гасіння хвиль та враховувалися значення висот вихідних хвиль h_i , які змінювалися в межах від 0,6 до 3,0 м; піднесення верхньої будови ОГТС відносно спокійного рівня води ΔH в межах від 0 до 1,0 м; а також її ширини B в межах від 4,0 до 8,0 м. У другій серії досліджень був врахований вплив кам'яної постілі різних висот на величину

трансформації хвиль при підході к верхній будови ОГТС. З цією метою враховувалися фактори постілі: висота вихідних хвиль h_i , яка змінювалася в межах від 0,6 до 3,0 м; висота кам'яної постілі d_p , змінна в межах від 1,0 до 2,0 м; глибина води, на якій була розташована ОГТС d , змінна в межах від 4,0 до 5,0 м. Заплановані серії дослідів виконували за трифакторним трирівневим планом Бокса-Бенкіна. Дослідження проводились у гідрохвильовій лабораторії Одеської державної академії будівництва та архітектури.

З метою підтвердження результатів фізичного моделювання була розроблена чисельна модель, призначена для визначення величини гасіння хвиль конструкцією гідротехнічної огорожувальної споруди неповного вертикального профілю.

Чисельне моделювання було запропоновано вирішувати при використанні математичної моделі, яка була створена у програмному комплексі Ansys Fluent. Даний комплекс в межах вирішення поставленого питання дозволив реалізувати широкий спектр досліджень, пов'язаних з прогнозуванням поведінки хвильових процесів при вирішенні питань гасіння висот хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

Третій розділ дисертації присвячено проведенню та аналізу результатів, експериментальних досліджень з визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю. У результаті проведених експериментів першої серії була отримана експериментально-статистична модель гасіння висот хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю, встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i , перевищує в - 2,17 рази вплив фактору піднесення верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю відносно спокійного рівня води ΔH , а також в 3,65 рази перевищує вплив фактору ширини верхньої будови. У рамках проведених досліджень другої серії була отримана експериментально-статистична модель впливу кам'яної постілі різних висот на величину трансформації хвиль. Встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 7,06 рази вплив фактору висоти кам'яної постілі d_p , а також в 10,64 рази вплив фактору глибини води в місці розташування ОГТС неповного

вертикального профілю *d*. Проведені експериментальні дослідження з чисельного моделювання та визначення величини гасіння хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю, які підтвердили отримані результати фізичного експерименту. При прийнятих вихідних даних, різниця висоти погашеної хвилі, отриманої при чисельному моделюванні та фізичному експерименті, не перевищувала величини 3,3%.

У четвертому розділі представлені емпіричні залежності, які призначені для отримання величини гасіння хвиль при переливі їх через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю на акваторію, що захищається. Відповідно до результатів проведених досліджень була також отримана формула, призначена для встановлення величини трансформації хвиль на високій кам'яній постілі, яка розташована в основі ОГТС.

Представлені в роботі емпіричні залежності можуть бути використані в інженерній практиці. Зменшення позначки надводної будови ОГТС призведе до того, що момент в впливу розрахункового шторму, буде виникати перелив гребнів хвиль одновідсоткової забезпеченості через верхню будову ОГТС на акваторію, що захищається. У зв'язку з тим, що допустимі висоти хвиль на акваторіях портів регламентуються РД 31.33.10-87 «Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищённых от волн причалов», та Р 31.3.07-01 «Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на гидротехнические сооружения», в залежності від водотоннажності розрахункового судна, а також від розташування по відношенню до фронту хвиль. Немає необхідності в повному гасінні, а лише доведенні їх висот до допустимих значень. Величини погашених висот хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю, можуть бути встановлені у відповідності запропонованих методів.

Ключові слова: огорожувальна споруда неповного вертикального профілю, гасіння хвиль, кам'яна постіль, акваторія порту, що захищається.

SUMMARY

Synytsia R.V. Experimental and theoretical substantiation of the use of hydraulic protective structures of incomplete vertical profile. Manuscript.

A Candidate Degree Thesis in Engineering; the specialty 05.23.01 "Construction Structures, Buildings, and Structures" - Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2020.

The dissertation research is devoted to the study of the influence of various parameters of the structures of protective hydraulic structures of an incomplete vertical profile, which affect the amount of extinguishing of standing waves, as well as waves that are destroyed when they overflow through the upper part of the protective structures to the protected water area.

In the **introduction** of the work, the substantiation of the choice of the research topic is given, the goal and objectives, scientific novelty, practical significance of the work are formulated, its general characteristics, and connection with the scientific topic are presented.

The **scientific** novelty of the results obtained lies in the fact that in the course of the research carried out, experimental data were obtained on the values of wave damping by various structures of the protective structures of an incomplete vertical profile. The degree of influence of the factors of the structures of the protective structures of an incomplete vertical profile, affecting the magnitude of the damping of waves, was determined, the degree of influence of the factors of the rock bed on the magnitude of the transformation of waves when approaching the upper structure of the protective structures was determined. The developed two methods are designed to determine the magnitude of extinguishing standing, as well as waves, destroyed by the structures of the protective structures of an incomplete vertical profile when they are overflowing through the topside structure to the water area of the protected object.

The **first** chapter of the dissertation presents a detailed review and analysis of existing research related to the issues of wave damping by structures of protective structures of incomplete profile.

In the course of the literature review, it was found that the study of these issues in the Soviet Union had been engaged since the 50s of the last century, however, at present, in the regulatory documents of Ukraine and other countries, there are no practical recommendations that allow setting the value of wave damping by structures of protective structures of an incomplete vertical profile. The following works were devoted to the solution of the issue of damping waves during their overflow through the upper structures of the protective structures of various types: S. Bashkirov, V.V. Khapersky, A. Yu. Birskaia, N.W.H. Allsop, J.E. McKenna, D. Vicinanza, W.N. Seelig, S. Takahashi, T.J.T. Whittaker, and many others.

However, the researchers did not generate a single idea about the influence of various factors of protective structures of an incomplete vertical profile affecting the magnitude of the damping of waves when they overflow through the superstructure to the protected water area. As a result of comparing and analyzing the existing methods for determining the magnitude of wave damping by structures of an incomplete profile, significant differences were established in the approaches to solving this issue associated with the inconsistency of the shape of the cross-section of the protective structure, the heights of the original waves. So, when comparing the results obtained, it was found that the heights of the damped waves by the protective structures differ by almost an order of magnitude. Obviously, these differences indicate the impossibility of using one of the methods presented without experimental justification. As a result of the analysis, significant differences were revealed in the methods of the influence of standing and breaking waves on structures of a vertical profile. For this reason, the patterns of wave damping by structures with an incomplete vertical profile will also differ among themselves. It is established that it is necessary to propose methods for determining the amount of damping of standing and breaking waves by protective structures of an incomplete vertical profile when they are overflowing into the protected water area.

In **the second** section of the work, plans for experimental studies for two series of experiments are provided, the rationale and prerequisites for the choice of factors, a detailed description of the research methodology.

As part of the planned experiments, sensors of a new type (level gauges) were created, designed to determine the magnitude of the damping of waves when

conducting experiments in a hydrochloric flume. In order to register the state of an agitated surface in open reservoirs, water level converters into an electrical signal of a string type of action are widely used, which are based on a rheostatic change in a weak current between two parallel strings when the water level changes. This device made it possible to record the water level constantly, had a low cost and simplicity of design, but it had a significant non-linearity of readings and low sensitivity, the device of this device is briefly described in the literature.

The transducer of the water surface level oscillations in the experimental tray is a capacitive-type sensor that transformed the linear value of the water surface level fluctuations into the value of the capacitor's capacity. The capacitor plates were made in the form of parallel cylindrical rods partially submerged in water, arranged vertically, and water was the dielectric.

The measuring unit measures the capacitance C_n of the created capacitor by determining the time T of its cyclic recharge through the measuring resistor R between the fixed voltages $+V_f$ and $-V_f$ in a precision multivibrator in a periodic cycle. To use a section with a linear dependence of the charging current on the applied voltage, V_{ph} was chosen equal to -1.20 (V), which is less than the standard Gibbs energy of water formation, equal to -1.23 (V).

As part of the planned experiments, sensors of a new type (level gauges) were created to determine the magnitude of the damping of waves, when conducting interrogations in a hydro-chute. According to the analysis of the models under study, the main tasks were established and formulated, the factors of the protective structures of an incomplete vertical profile were established, which affect the value of wave damping. The first series consisted of certain values of the influence of the upper building of the protective structures of an incomplete vertical profile on the value of wave damping, and the values of the heights of the initial waves were taken into account, varied from 0.6 to 3.0 m; the rise of the upper building of the protective structures relatively calm water level in the range from 0 to 1.0 m; as well as its width in the range from 4.0 to 8.0 m. In the second series of studies, the influence of a stone bed on the value of wave transformation when approaching the upper building of the protective structures was taken into account. For this purpose, the bed factors were

taken into account: the height of the output waves, which varied from 0.6 to 3.0 m; the height of the stone bed, variable in the range from 1.0 to 2.0 m; the depth of the water, where the protective structure is located, varied in the range from 4.0 to 5.0 m. The planned series of experiments were performed according to the trifactor three-level Box-Benkin plan. The research was carried out in the hydraulic laboratory of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.

In **order** to confirm the results of physical modeling, a numerical model was developed to determine the magnitude of the damping of waves in the structure of a hydraulic protective structure with an incomplete vertical profile.

Numerical modeling was proposed to be solved using a mathematical model that was created in the Ansys Fluent software package. This complex, within the framework of the solution of the question posed, made it possible to implement a wide range of studies related to predicting the behavior of wave processes when solving issues of extinguishing wave heights by the protective structures of an incomplete vertical profile.

The **third section** of the dissertation is devoted to the analysis of the results, experimental studies to determine the magnitude of the damping of waves by the structures of protective structures of an incomplete vertical profile. As a result of the conducted experiments of the first series, an experimental-statistical model of wave cancellation by the protective structures of an incomplete vertical profile was obtained. It was found that the influence of the factor of the height of the initial wave h_i exceeds the influence of the factor of lifting the upper structure of protective structures of an incomplete vertical profile by a factor of 2.17, as well as 3.65 times the effect of the width factor of the upper construction relative to the quite water level ΔH . In the framework of the conducted studies of the second series, an experimental-statistical model of the influence of a stone basement of various heights on the value of wave transformation was obtained. It was found that the influence of the factor of the height of the initial wave h_i exceeds the influence of the factor of the height of the stone basement d_p by 7.06 times, as well as 10.64 times the effect of the factor of water depth at the location of the protective structures of an incomplete vertical profile d .

Experimental studies on numerical modeling and determination of the magnitude of the damping of waves in the structure of protective structures of an incomplete vertical profile confirmed the results of the physical experiment. With the accepted initial data, the difference in the height of the damped wave obtained in numerical modeling and physical experiment did not exceed 3.3%.

In the **fourth** section, empirical dependencies are presented, which are intended to obtain the value of the damping of waves during their overflow through the upper building of the protective structures of an incomplete vertical profile to the water area of the protected object. In accordance with the results of the studies carried out, a formula was also obtained for setting the magnitude of the wave transformation on a high stone bed located at the base of the protective structures.

The empirical dependencies presented in the work can be used in engineering practice. Reducing the mark of the surface structure of the EHS will lead to the fact that the moment in the impact of the calculated storm, there will be an overflow of the crests of the waves of one percent security through the upper structure of the EHS to the protected area. Due to the fact that the allowable wave heights in the port waters are regulated by GD 31.33.10-87 «Recommendations for taking into account the hydrometeorological regime in the design of insufficiently protected from waves berths», and R 31.3.07-01 «Guidelines for calculating loads and impacts from waves, vessels and ice on hydrotechnical constructions», depending on displacement of the settlement vessel, and also on an arrangement in relation to a wave front. There is no need for complete extinguishing, but only bringing their heights to acceptable values. The values of the extinguished wave heights at the overflow through the upper structure of the EHS of the incomplete vertical profile can be established in accordance with the proposed methods.

Keywords: fence structure of incomplete vertical profile, wave attenuation, rock base, protected water area of the port.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Осадчий В. С., Слободянюк В.П., Анисимов К. И., Синица Р. В. Исследование вопросов защиты городских территорий ограждающими гидротехническими сооружениями неполного профиля. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, №63. С. 249 - 254. *(індексується наукометричною базою Index Copernicus).*

2. Осадчий В. С., Синица Р. В. Определение параметров гашения волн ограждающими гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля. Вісник Одеського національного морського університету. 2017. №2 (51). С. 108 - 117.

3. Столяров Л. С., Чернецкий А. В., Синица Р. В. Определение параметров волн в лабораторных условиях при помощи современной измерительной аппаратуры. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. №73. С. 127 - 134. *(індексується наукометричною базою Index Copernicus).*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

4. Синица Р. В., Осадчий В.С., Столяров Л. С., Чернецкий А. В. Анализ существующих методик определения параметров гашения волн ограждающими гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля. Вестник гражданских инженеров. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2019. №1(72). С. 43 - 55.

5. Sinitsa R., Osadchiy V., Anisimov K., Kolomiec S. Ochrona akwenów portów morskich przez konstrukcje falochronu pionowego o niepełnym profilu. Inżynierii Morskiej i Geotechniki, nr 3/2020. 2020. St. 114 - 119.

Патенти на винахід

6. Синиця Р.В. Патент на винахід № 116056, Україна, Морська огорожувальна гідротехнічна споруда / Р.В. Синиця, К.І. Анісімов // заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2018 р.

7. Синиця Р.В. Патент на винахід № 118519, Україна, Морська огорожувальна гідротехнічна споруда / Р.В. Синиця, К.І. Анісімов // заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2019 р.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Синиця Р. В. Дослідження питань захисту морських акваторій огорожувальними спорудами неповного вертикального профілю / Р. В. Синиця, В. С. Осадчий, К.І. Анісімов // Федеральне агентство морського та річного транспорту. Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої освіти. Державний університет морського та річного флоту імені адмірала С. О. Макарова. Санкт-Петербург, 2019. Збірник наукових праць вип. 4. С. 238 - 247.

9. Рогачко С.І., Синиця Р.В. Конструкція огорожувальної гідротехнічної споруди неповного вертикального профілю. Матеріали міжнародної конференції «Ferry Transport in Black Sea as Link of International Transport Corridors», Одеса – Стамбул – Одеса, 2018 р. С. 68 - 69.

10. Рогачко С.І., Синиця Р.В. Конструкція огорожувальної гідротехнічної споруди неповного вертикального профілю. 74-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. м. Одеса. 2018. С. 262.

11. Синиця Р.В., Осадчий В.С., Слободянюк В.П., Анісімов К.И. Аналіз методів визначення параметрів гасіння хвиль підводними хвилеломами різних конструкцій Одеського узбережжя. 74-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. м. Одеса. 2018. С. 264.

12. Рогачко С.І., Синиця Р.В. Огороджувальна споруда неповного вертикального профілю. 75-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. м. Одеса. 2019. С. 260.

13. Синиця Р.В., Осадчий В.С., Анісімов К.І., Коломієць С.П. Вплив параметрів огороджувальної споруди на властивості захисту морських акваторій. 75-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури. м. Одеса. 2019. С. 258.

ЗМІСТ

	Стр.
АНОТАЦІЯ	2
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
1.1 Загальні відомості про гідротехнічні огорожувальні споруди	23
1.2 Типи огорожувальних споруд	24
1.2.1 Огорожувальні споруди з кам'яної начерки	26
1.2.2 Огорожувальні споруди гравітаційного типу	28
1.2.3 Огорожувальні споруди змішаного типу	30
1.2.4 Огорожувальні споруди з начерки з жорстким екраном	32
1.2.5 Огорожувальні споруди наскрізного типу	34
1.3 Навантаження і впливи на огорожувальні споруди	35
1.3.1 Хвильові навантаження на огорожувальні споруди	36
1.3.2 Вплив хвиль на огорожувальні споруди вертикального типу	37
1.3.3 Призначення позначки надводної будови огорожувальних споруд	41
1.3.4 Вплив стоячих хвиль на споруди вертикального профілю	42
1.3.5 Вплив прибійних і хвиль, що руйнуються на споруди вертикального профілю	44
1.4 Методи визначення параметрів гасіння хвиль огорожувальними спорудами неповного профілю	45
1.5 Постановка завдання дослідження	52
Висновки до розділу 1	53
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ОГОРОЖУВАЛЬНИХ СПОРУД НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ	54
2.1 Структура дослідження	54
2.2 Закони подібності та правила моделювання	56
2.3 Методика дослідження	60
2.4 Експериментальна установка	67
2.5 Досліджені моделі ОГТС неповного вертикального профілю	69

2.6	Вимірювальна система	71
2.7	Методика обробки результатів експериментів	78
2.8	Точність вимірювань	82
2.9	Планування експериментальних досліджень	82
2.9.1	Планування експериментальних досліджень з урахуванням різноманіття досліджуваних факторів	83
2.9.2	Обґрунтування об'єму дослідів.....	84
2.9.3	Характеристики досліджуваних моделей	87
2.9.4	Застосування узагальнюючих полів властивостей показників для аналізу результатів моделювання	90
	Висновки до розділу 2	92
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ФАКТОРІВ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ НА ПАРАМЕТРИ ГАСІННЯ ХВИЛЬ		94
3.1	Результати експериментальних досліджень	94
3.2.	Дисперсійний аналіз експериментальних досліджень	103
3.3	Результати чисельного моделювання в програмному комплексі ANSYS	112
	Висновки до розділу 3	124
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ГАСІННЯ ХВИЛЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИМИ ГІДРОТЕХНІЧНИМИ СПОРУДАМИ НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ		126
4.1	Метод визначення величини гасіння хвиль огороджувальними спорудами неповного вертикального профілю	126
4.2	Методика визначення величини трансформації хвиль кам'яною постіллю різних висот розташованою в основі огороджувальних споруд неповного вертикального профілю	137
	Висновки до розділу 4	145
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	146
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	148
	ДОДАТОК А	164
	ДОДАТОК Б	167
	ДОДАТОК В	186

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Економічний розвиток України, а також її транзитний потенціал залежать від об'ємів морських вантажоперевезень, що ставить перед портобудівниками задачу розширення існуючих, а також будівництво нових глибоководних морських торгових портів, спроможних приймати та обслуговувати сучасні великотоннажні судна.

Метою підвищення економічної привабливості нових проектів морських портів, а також проведення реконструкції існуючих, є створення ефективних, інвестиційно - привабливих конструкцій огорожувальних гідротехнічних споруд (ОГТС). Основним завданням яких є захист акваторій, від руйнівного впливу вітровими хвилями і забезпечення умов швартування та обслуговування суден.

При реконструкції портів раціональним, а часто і єдиним способом є будівництво винесених на великі природні глибини аванпортів з власними огорожувальними спорудами значної висоти і протяжності, зведенням їх попереду існуючих ОГТС старого порту.

Будівництво нових об'єктів і реконструкція існуючих ОГТС вимагає ретельного вивчення параметрів впливу зовнішніх сил, які залежать від характеру і інтенсивності хвильового впливу. Споруди вертикального профілю в залежності від розмірів постілі, розташованої в своїй основі можуть піддаватися впливу, як стоячих хвиль, так і хвиль, що руйнуються. У відповідності до рекомендацій діючих у нашій країні нормативних документів, призначення позначок надводних будівель ОГТС здаються дещо завищеними, оскільки вони не допускають переливу розрахункових хвиль через свою верхню будову на акваторію, що захищається.

У практиці допустимі висоти хвиль на акваторіях морських портів, що захищаються, регламентуються параметрами водотоннажністю розрахункового судна, а також від способу постановки судна в порту по відношенню до фронту хвиль. Дані норми встановлюють вимоги, можливості здійснення швартових операцій і забезпечують в момент контакту судна з відбійними пристроями причальних споруд, нормальних складових швидкості підходу суден до

причальних споруд. У випадках захисту елементів берегової інфраструктури морських міст, допустимі висоти хвиль регламентуються параметрами збереження берегів і пляжного матеріалу, недопущенням затоплень прибережних територій внаслідок впливу хвиль рідкісної повторюваності.

В даний час більшість питань, пов'язаних з впливом вітрових хвиль на ОГТС вирішуються шляхом проведення лабораторних експериментальних досліджень, отримані результати яких підтверджуються математичним або чисельним моделюванням. Це дозволяє вирішувати поставлені завдання з високим ступенем точності.

Дана робота присвячена дослідженню питань з визначення величин гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються при переливі їх через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю. Сформульована таким чином задача належить до категорії плоских задач гідродинаміки, що обумовило вибір відповідного методу вирішення. З цієї причини дослідження, присвячені обґрунтуванню зменшенню відміток надводних будівель ОГТС, є актуальною для інженерної практики.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у складі держбюджетної науково-дослідній роботі кафедри гідротехнічного будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури №ДР 0110U003403 «Удосконалення розрахунків гідротехнічних споруд».

Метою роботи є розвиток теоретичних основ і створення практичних методів визначення величини гасіння стоячих хвиль і хвиль, що руйнуються, конструкціями огорожувальних гідротехнічних споруд неповного вертикального профілю.

Для досягнення мети поставлені завдання:

- провести аналіз існуючих методів призначених для визначення величин гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного профілю;
- провести експериментальні дослідження на моделях ОГТС неповного вертикального профілю;
- експериментально визначити величину гасіння хвиль конструкціями

ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхні будови на акваторії, що захищаються;

- визначити ступінь впливу факторів ОГТС неповного вертикального профілю, що впливають на величини гасіння хвиль;
- визначити ступінь впливу факторів кам'яних постілів, що розташовані в основі ОГТС;
- провести чисельне моделювання з визначення величин гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю;
- розробити метод визначення величин гасіння хвиль, що руйнуються, конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторії, що захищаються через верхні будови огорожувальних споруд;
- розробити метод визначення величин трансформації хвиль на високих кам'яних постелях різних висот, розташованих в основі верхніх будов конструкцій ОГТС.

Об'єкт дослідження: процес гасіння висот стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

Предмет дослідження: величина гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

Методи досліджень. Дослідження виконані з широким використанням методів оптимального планування експериментів і застосування багатofакторного математичного моделювання властивостей гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю, при переливі хвиль через верхню будову огорожувальних споруд на акваторію, що захищається. Експериментальні лабораторні дослідження були проведені на фізичних моделях конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, лабораторній установці, яка була призначена для визначення величини гасіння хвиль. Для теоретичних, експериментальних і лабораторних досліджень, а також обробки отриманих результатів були використані як спеціалізовані, так і прикладні програми на ЕОМ. Обробка емпіричних даних здійснювалася апробованими методами математичної статистики.

Наукова новизна роботи полягає у наступних положеннях, що виносяться на захист:

- створені фізичні моделі конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю;

- проведені експериментальні дослідження з визначення величини гасіння хвиль у гідрохвильовому лотку на моделях ОГТС неповного вертикального профілю;

- вперше визначено ступінь впливу факторів конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, які впливають на величину гасіння хвиль;

- вперше визначена ступінь впливу факторів кам'яних постілів, розташованих в основі огорожувальних гідротехнічних споруд неповного вертикального профілю, що впливають на величину трансформації хвиль при підході до верхніх будов ОГТС;

- вперше розроблено метод визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілів при переливі їх через верхні будови на акваторії, що захищаються;

- вперше розроблено метод визначення величини трансформації хвиль на кам'яних постелях різних висот при підході к верхнім будовам ОГТС неповного вертикального профілю.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

Практична значення результатів роботи полягає в розробці методів розрахунку величини гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю. Дані методи можуть бути використані в проєктній практиці при проєктуванні нових конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю для захисту акваторії морських портів, так і морських берегів, на яких розташовані населені пункти, пам'ятки архітектури та ділянки берегової інфраструктури.

Результати дисертаційної роботи використано при розрахунках та проєктуванні ряду об'єктів.

Розрахункового обґрунтування і проєктування конструкцій гідротехнічних споруд для захисту від затоплення морськими хвилями території заводу за адресом: м. Одеса, вул. Чорноморського Козацтва, 72;

Розрахункового обґрунтування нового будівництва яхт-клубу з рятувальною станцією, місцями для відпочинку, занять спортом і закладом громадського харчування, розташованим за адресою: м. Одеса, Французький бульвар 1/5.

Результати досліджень знайшли застосування у навчальному процесі Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Особистий внесок здобувача. Основні результати отримані автором самостійно у галузі науки «Будівельні конструкції, будівлі і споруди», які в сукупності вирішують важливе наукове завдання з визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при впливі стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються. У роботах, опублікованих спільно із співавторами, внесок здобувача полягає у постановці завдань, науковому обґрунтуванні цих завдань і особистій участі в їх розв'язанні. Запропоновані автором методи призначені для визначення величини гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю були використані в дослідженнях, що були проведені сумісно з В.С. Осадчим, Л.С. Столяровим, О.В. Чернецьким, К.І. Анісімовим, С.П. Коломійцем.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає у наступному:

- плануванні та проведенні фізичних експериментальних досліджень з визначення величин гасіння хвиль ОГТС неповного вертикального профілю при впливі стоячих хвиль та хвиль, що руйнуються;
- розроблена програма та методика експериментальних досліджень;
- виготовлена апаратура, призначена для реєстрації вимірювання величин хвиль в лабораторних умовах;
- створені фізичні моделі ОГТС неповного вертикального профілю;
- проведені фізичні експерименти у відповідності до поставленого плану експериментальних досліджень;

- проведена апробація та аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень;

- розроблен метод визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторії, що захищаються через верхні будови споруд;

- розроблен метод визначення величини трансформації хвиль на високих кам'яних постелях різних висот.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на наступних конференціях:

- Міжнародній науково-технічній конференції «Ferry Transport in Black Sea as Link of International Transport Corridors», Стамбул, Туреччина, 2018 р.;

- Міжнародній конференції Федерального агентства морського та річного транспорту. Федеральне агентство морського та річного транспорту. Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої освіти. Державний університет морського та річного флоту імені адмірала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, 2019 р.;

- науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури, Одеса, 2018 - 2019 р..

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані у 13 наукових працях, з яких 3 статті у фахових виданнях України (2 індексується наукометричною базою Index Copernicus), 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 2 патенти України на винахід, 6 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Загальний обсяг роботи складає 188 сторінок, з яких 120 сторінок основного тексту, 56 рисунків і 25 таблиць, список використаних джерел з 174 найменувань на 16 сторінках, трьох додатків на 23 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про гідротехнічні огорожувальні споруди

Огороджувальні гідротехнічні споруди (ОГТС) є одними з найстаріших типів морських конструкцій. Будівництво нових і реконструкція існуючих ОГТС вимагає подальшого вдосконалення методів розрахунків силового впливу вітрових хвиль. До основних зовнішніх сил, що впливають на ОГТС, належать хвильові і льодові навантаження, а також сейсмічні впливи. Найбільш поширеними конструкціями ОГТС, є гравітаційні вертикальні стінки, які розташовані на кам'яних постелях.

Питаннями дослідження силового впливу регулярних хвиль на вертикальні непроникні стінки в плоскій постановці займалися вчені в позаминому і минулому століттях. Так, відповідно до огляду, виконаному професором М.М. Джунковським [28], в позаминому столітті перші дослідження були проведені Ф. Герстнером, який опублікував свою роботу в 1802 році. Подальшими дослідженнями цих питань були присвячені роботи: Стевенсона (1864 р.), Корналіа (1881 р.), д'Ор (1890 р.), Гайяра (1909 р.), Бенезієй (1923 р.), Лірра (1927 р.), Сенфлу (1928 р.) та багатьох інших вчених.

Дослідженнями силових впливів регулярних хвиль на вертикальні непроникливі перешкоди в плоскій постановці займалися і в Радянському Союзі, академіки Н.Є. Кочин, А.І. Некрасов, В.В. Шулейкин, професора, доктора технічних наук П.К. Божич, В.М. Маккавеїв, Л.Н. Стрітенський, Я.І. Секерж-Зенькович [93], Л.Ф. Титов А.І., В.В. Хаперський [114], А.І. Кузнецов [53], Г.Н. Смирнов [98], кандидати технічних наук, Н.Є. Кондратьєв, І.Б. Тішкін [104, 105], М.М. Загрядська [32 - 34] та інші. Вони значно розвинули основи теорії морських хвиль і розробили методи розрахунків хвильових навантажень на різні типи гідротехнічних споруд.

В нормативному документі України [75], посібнику [85], а також у відкритих літературних джерелах, відсутні досить обґрунтовані рекомендації з впливу хвиль на ОГТС вертикального профілю, які переливаються через верхню будову. При цьому практичний інтерес представляють висоти хвиль на акваторіях портів, що захищаються.

Перелив хвиль через верхні будови огорожувальних споруд спостерігався в ряді портів на Чорному і Середземному морях [114]. Дане явище може спостерігатися у випадках, коли споруда знаходиться ще в процесі будівництва, а також при впливі хвиль цунамі. До ОГТС неповного профілю відносяться ті споруди, які дозволяють перелив гребнів хвиль через свою верхню будову з подальшою зміною вихідних параметрів (висот та довжин).

Параметри допустимих висот хвиль, на акваторіях портів, що захищаються регламентуються рекомендаціями норм [89, 112], які ґрунтуються на досвіді безпечної експлуатації та обслуговування різних типів суден в морських портах. Дослідженнями впливів хвиль на гідротехнічні споруди, були присвячені роботи багатьох вчених [1, 3, 6, 8, 17, 20, 29, 32, 44, 111, 126].

1.2 Типи огорожувальних споруд

При будівництві морських портів, огорожувальні споруди є найбільш матеріаломісткими і дорогими конструкціями. Застосування того чи іншого типу огорожувальних споруд обумовлено рядом природно-кліматичних, інженерно-геологічних умов: наявністю місцевих будівельних матеріалів, інфраструктури регіону, а також технології будівельного виробництва. Найважливішими факторами при виборі конструкцій ОГТС є: розрахункові параметри вітрових хвиль, рівних крижаних полів і торосистого утворення, а також сейсмічності майданчика будівництва.

До основних типів ОГТС, які відрізняються між собою, за конструктивними ознаками, відносяться споруди: укїсної, вертикальної і змішаної форм (рис. 1.1 а - в) [4, 6, 12, 25, 29, 43, 77].

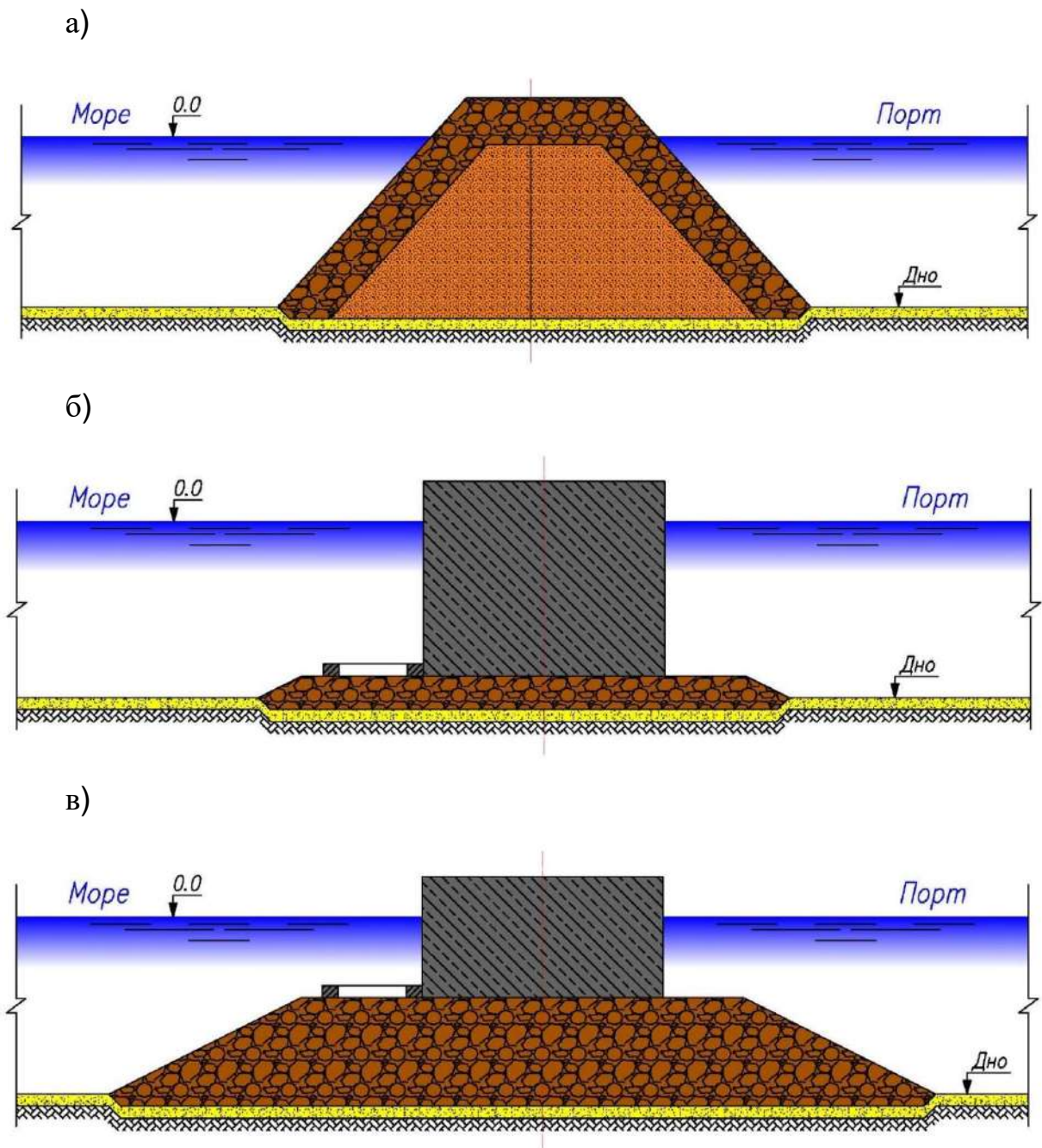


Рис. 1.1 Типи огорожувальних споруд:
а - укісна; б - вертикальна; в - змішана

При проектуванні огорожувальних споруд, а особливо конструкцій нових типів зазвичай проводять експериментальні лабораторні дослідження на фізичних моделях в плоскій і просторовій постановках. В окремих випадках натурні дослідження на спеціальних дослідних майданчиках.

1.2.1 Огороджувальні споруди з кам'яної начерки

Споруди укiсного типу зазвичай застосовуються в мiсцях з достатньою кiлькiстю запасiв природного кам'яного матерiалу. Практичний досвiд експлуатацiї огороджувальних споруд такого типу показав ефективну дисипацiю енергiї вiтрових хвиль. У багатьох випадках, з метою збiльшення стiйкостi зовнiшнього укосу споруд, в зонi змiнного рiвня води влаштовують берму. При проектуваннi огороджувальних споруд укоси з морської сторони передбачають бiльш пологими, нiж з тилової. Зовнiшнi укоси ОГТС зазвичай укрiплюють сортованим камiнням або штучними фiгурними блоками, вiдповiдної маси. У деяких випадках найбiльш ефективними є штучнi бетоннi блоки: тетрапод; гексалег; гексабiт; пентапод; дiпод; долос i звичайнi бетоннi масиви кубiчної форми. Данi конструкцiї, крiм гасiння хвильових енергiй, досить стiйкi при вiрному укладаннi у проектне положення на схилах споруд, а також мають значну пористiсть, яка значно гасить хвильову енергiю i зменшує величину нахату хвиль на укiс. Вiдповiдно до нормативних документiв маса природного каменю або штучного блоку визначається в залежностi вiд параметрiв розрахункових хвиль, а також в залежностi вiд крутизни укосу споруди, що захищається [40, 41, 56, 75, 85, 103, 111, 112]. Верховий укiс огороджувальних споруд у бiльшостi випадках захищають природним камiнням, якi мають меншу пористiсть на вiдмiну вiд штучних фiгурних блокiв [6, 8, 12,26, 51, 82, 109, 110, 126]. Як показав свiтовий досвiд експлуатацiї огороджувальних споруд такого типу, найбiльш стiйкими на схилах є тетраподи, а найбiльш простими у виготовленнi - масиви кубiчної форми.

Оптимальнi розмiри конструкцiй ОГТС укiсного типу, а також їх планове розташування у мiсцi майбутнього будiвництва, уточнюють при розробцi технiчного проекту, а також в процесi проведення наукового супроводу. Основнi типи конструкцiй огороджувальних споруд укiсного профiлю представленi на рис. 1.2.

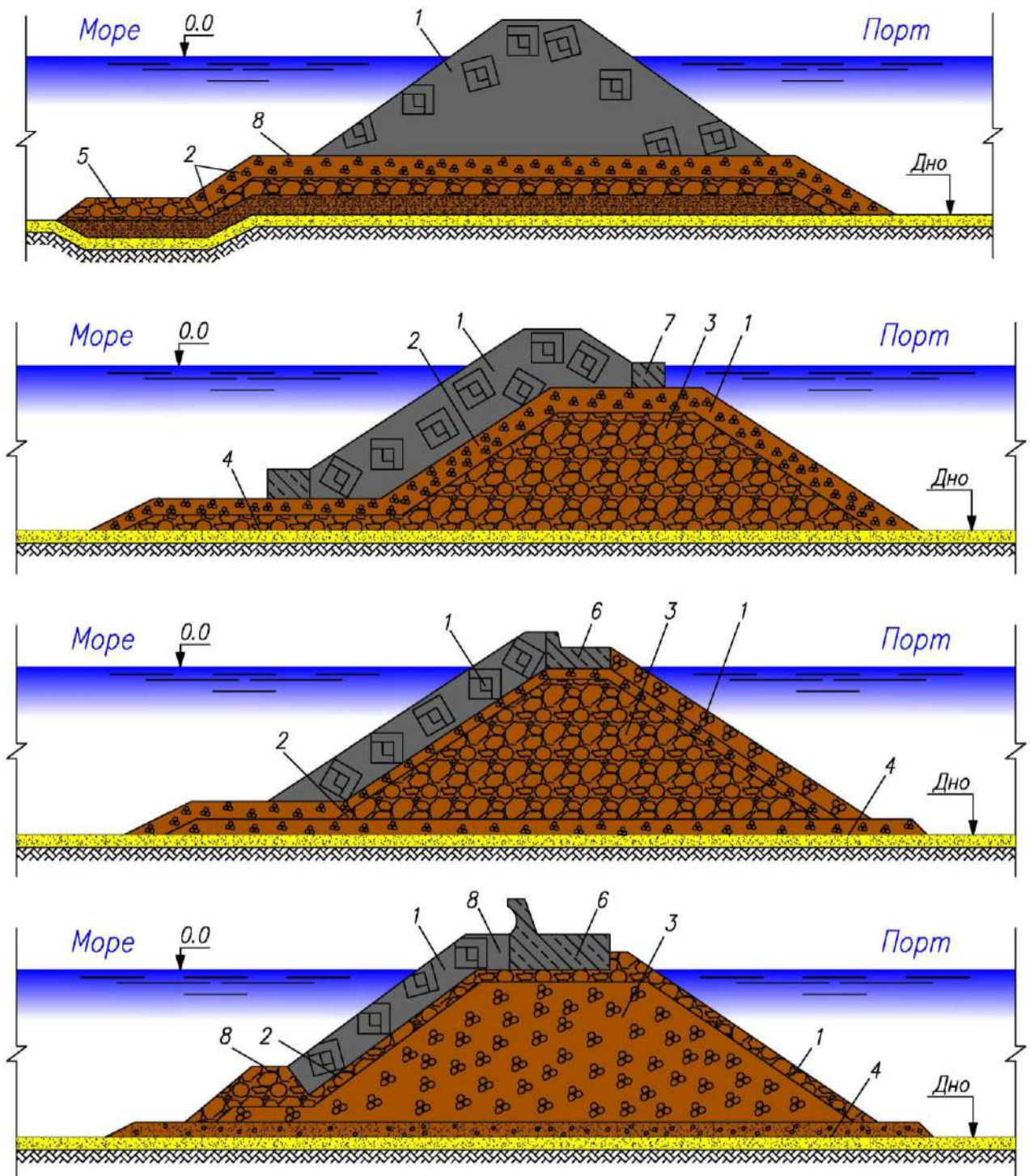


Рис. 1.2 Схеми профілів накидних огорожувальних споруд:

1 - захисне кріплення укосу; 2 - шар зворотного фільтра; 3 - ядро споруди;

4 - основа споруди; 5 - захисне кріплення; 6 - надбудова;

7 - бермений масив; 8 – берма

Огороджувальні споруди укісного типу мають ряд переваг.

1. Огороджувальні споруди укісної типу, які виконані з кам'яної начерки або масивів гігантів, не відражають, а гасять хвильову енергію.
2. Маса каміння для кріплення верхового укусу є змінною величиною, яка розраховується в залежності від рівня розташування по відношенню до спокійного рівня води.
3. Укуси споруд такого типу досить стійкі на будь-якій стадії свого будівництва.
4. Локальні руйнування споруд даного типу не носять катастрофічного характеру і легко можуть усуватися додатковою накладкою матеріалу тіла споруди.
5. Кам'яна начерку в процесі нерівномірного осаду може досипатися і реконструюватися без істотних труднощів і внесень суттєвих змін в початковий проєкт.

Проте, огороджувальні споруди укісного типу мають наступні недоліки:

1. При великих глибинах, що перевищують величину 10 м, різко збільшується об'єм матеріалу конструкції ОГТС, а отже і проектна вартість споруди.
2. Огороджувальні споруди даного типу не можуть бути використані в якості причальних для відстоювання суден.
3. ОГТС укісного профілю не можуть застосовуватися з метою захисту територій нафтових гаваней.

Таким чином, будівництво огороджувальних споруд виготовлених з кам'яної начерки цілком рентабельне при наявності близько розташованих запасів природного каміння та на глибинах води в місці розташування споруд, які не перевищують величини $10 \div 12$ м.

1.2.2 Огороджувальні споруди гравітаційного типу

Огороджувальні гравітаційні споруди вертикального профілю складаються з трьох основних конструктивних частин: кам'яної постілі,

вертикальної стінки (масивної кладки, масивів-гігантів, оболонок великого діаметру), а також надбудови (хвилевідбійної стінки).

Кам'яна постіль призначена для більш рівномірного розподілу напружень і їх зменшення під основою огорожувальної споруди. Конструктивні схеми кам'яної постілі залежать від фізико-механічних властивостей ґрунтів основи, глибини води в місці розташування ОГТС і характеру впливу розрахункових: хвильових, льодових навантажень в місці будівництва. При наявності слабких ґрунтів в місці майбутнього будівництва, застосовують спеціальні шаруваті постілі, що складаються з кам'яної призми, зворотного фільтру, піщаної подушки та спеціальних синтетичних матеріалів. У деяких випадках необхідно проводити видалення існуючого природного ґрунту з його заміною спеціально створеною піщаною подушкою. Ширина стінки, позначка підосви і позначка гребню ОГТС залежать в основному від величини розрахункових хвиль, а також від відмітки спокійного рівня води.

Основне призначення надбудови полягає в об'єднанні елементів конструкції підводної частини стінки огорожувальної споруди; збільшення загальної стійкості; сприйняттю здебільшого хвильового тиску і виключенню або обмеженню переливу хвиль на акваторію, що захищається. Надбудова може оснащуватися: швартовними, відбійним і навігаційними знаками. Огорожувальна споруда гравітаційного типу, представлена на рис. 1.3.

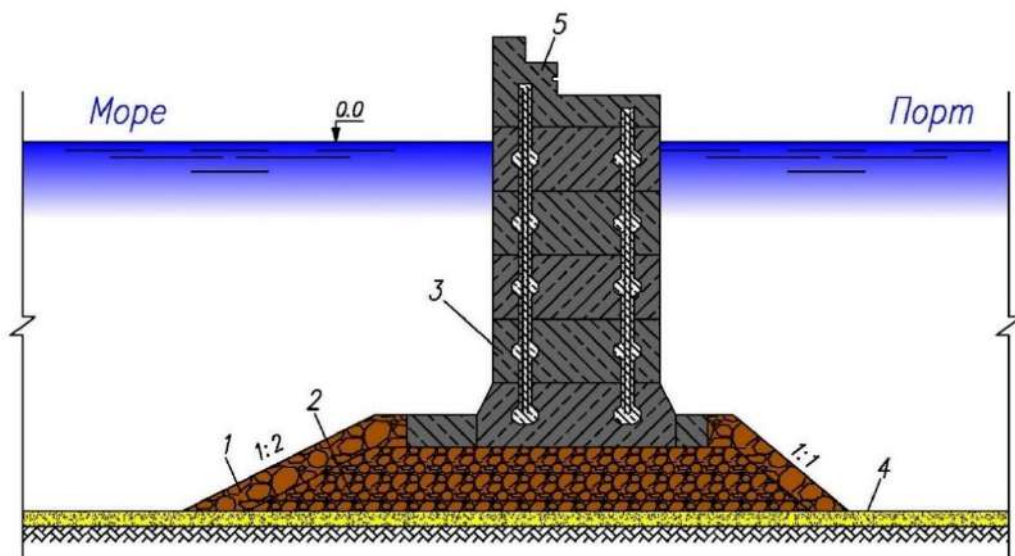


Рис. 1.3 Конструкція огорожувальної споруди з масивів:

1 - захисне кріплення укосу кам'яної основи; 2 - кам'яна основа; 3 - бетонний масив; 4 - ґрунт основи; 5 - надбудова

Такі споруди мають ряд переваг.

1. Зведенні споруд гравітаційного типу потребує меншої кількості матеріалів у порівнянні зі спорудами укiсного типу.
2. Огороджувальні споруди гравітаційного профiлю можуть бути використані в якості причальних споруд з боку акваторії порту з метою відстоювання суден.

Однак поряд з перевагами, такі споруди мають і ряд недоліків.

1. Споруди гравітаційного типу при наявності високої кам'яної постiлі в своїй основі формують стоячі хвилі, тому висота надводної частини призначається суттєво більшою.
2. З метою уникнення розмивів ґрунтової основи, перед такими спорудами необхідно передбачувати дорогі захисні конструктивні заходи.
3. Огороджувальні споруди гравітаційного типу, до повного закінчення свого будівництва, не можуть протидіяти впливу хвиль розрахункових параметрів.

Явище переливу гребнів хвиль через верхні будови ОГТС вертикального типу, які знаходились у процесі свого будівництва спостерігалось при аварії східного молу розташованого у порті Валенсія (Іспанія), дане явище спостерігалось у грудні 1926 р.

1.2.3 Огороджувальні споруди змішаного типу

До конструкцій ОГТС змішаного типу відносяться споруди, які в собі об'єднують конструктивні признаки декількох типів одночасно. У нижній частині споруди такого типу можуть бути представлені високою кам'яною призмою, а в верхній - вертикальною стінкою різних конструкцій. Основний тип ОГТС змішаного типу який найчастіше застосовується в інженерній практиці представлено на рис. 1.4.

До споруд змішаного типу також відносяться споруди у яких перед вертикальною стінкою влаштовують начерку з сортованого каміння або з штучних бетонних блоків рис. 1.5 [4, 6, 22, 24, 30, 43, 82, 126].

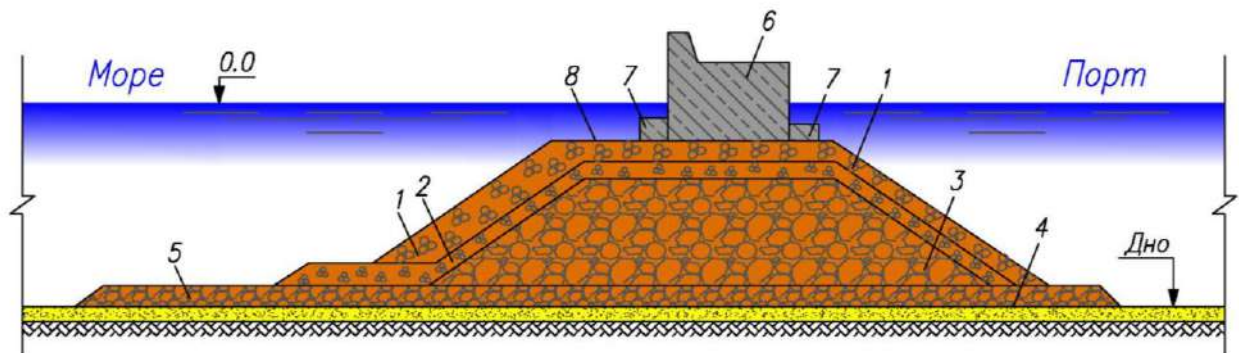


Рис. 1.4 Схема профілю огорожувальної споруди змішаного типу:
 1 - захисне кріплення укосів; 2 - шар зворотного фільтра; 3 - ядро споруди;
 4 – кам'яна основа; 5 - захисне кріплення; 6 - надбудова;
 7 – бермений масив; 8 – берма

До змішаного типу споруд також відносяться споруди, у яких висота кам'яної призми дорівнює більше ніж $t_{np} > 0,5d$. При проектуванні огорожувальних споруд змішаного типу прогнозують осадку ґрунтів основи і осадку кам'яної постілі при ущільненні.

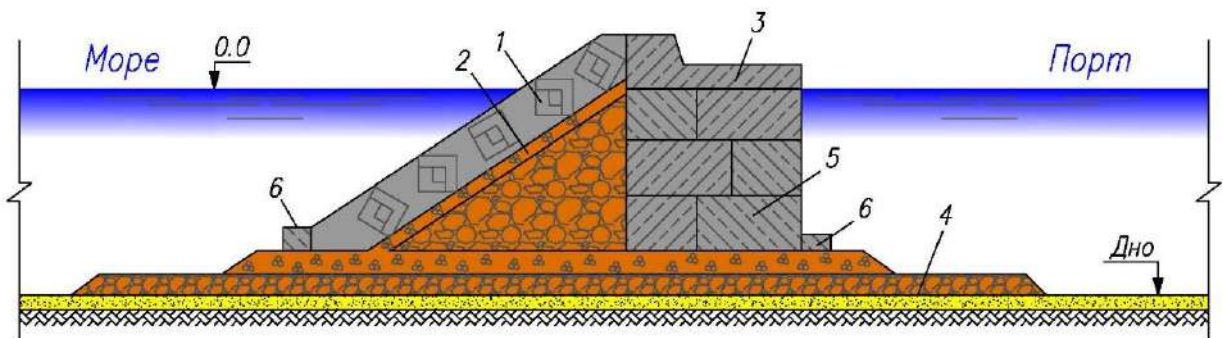


Рис. 1.5 Поперечний розріз накидної огорожувальної споруди:
 1 - захисне кріплення укосів; 2 - шар зворотного фільтра; 3 - надбудова;
 4 – кам'яна основа споруди; 5 - бетонний масив; 6 - бермений масив

Дані споруди мають ряд переваг.

1. Огорожувальні споруди змішаного типу зазвичай піддаються впливу хвиль, що руйнуються.

2. При зведенні кам'яної постілі, у процесі будівництва відбувається стабілізація осадки споруди.
3. Висока кам'яна постіль дозволяє здійснювати рівномірний розподіл напружень на ґрунтову основу від гравітаційною частиною конструкції споруди.

Однак поряд з перевагами споруди змішаного типу мають і ряд недоліків.

1. На зведення кам'яної призми необхідно досить велика кількість природного каміння. Виробництво робіт з накидки призми можливо при спокійних гідрометеорологічних умовах, що істотно збільшують тривалість виконання будівельних робіт.
2. Гравітаційна частина споруд переважно вимагає використання плаваючих кранів, кам'яна основа виконується з застосуванням трьох видів рівняння: грубе, ретельне, дуже ретельне.

Конструкція ОГТС змішаного типу, зображена на рис. 1.5, загалом даний тип використовують при проведенні реконструкції огорожувальних споруд вертикального профілю.

1.2.4 Огороджувальні споруди з начерки з жорстким екраном

Огороджувальні споруди, виконані з начерки фігурних блоків, з жорстким екраном можуть застосовуватися при зведенні нових споруд, а також при реконструкції споруд вертикального типу, при влаштуванні з морської сторони захисної начерки. Поперечний переріз споруди з жорстким екраном виконують у вигляді традиційної укисної огорожувальної споруди ядро якої виконано з каміння відповідного розміру та захисного шару з бетонних масивів, а з боку гавані - у вигляді вертикальної стінки, що є непроникним екраном для хвиль і наносів рис. 1.6.

Накидні споруди з жорстким екраном зазвичай застосовують в районах з товщиною льоду яка не перевищує 1,0 м та глибині води не більш 12,0 м,

розрахункових хвилях до 6,0 м, наявності ґрунтів в основі осадка яких не буде перевищувати - 0,50 м.

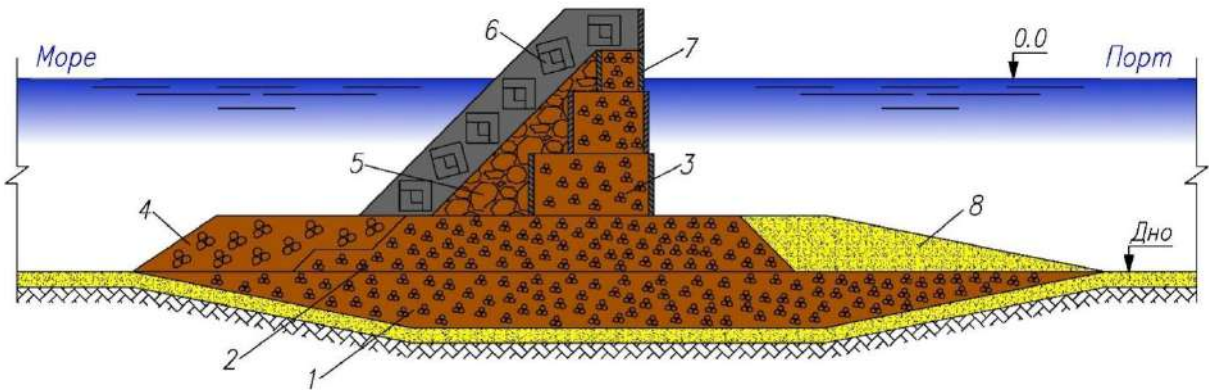


Рис. 1.6 Схема профілю огорожувальної споруди виконаної з начерки з жорстким екраном:

- 1 - піщаний ґрунт (заміна ґрунту); 2 - зворотний фільтр (щебінь, гравій);
- 3 - камінь масою 30 ÷ 100 (кг); 4 - камінь великий масою понад 800 (кг);
- 5 - камінь масою понад 1500 (кг); 6 - тетраподи; 7 - залізобетонні масиви;
- 8 - піщаний ґрунт

Рекомендовані конструкції жорстких екранів складаються з бетонних і залізобетонних порожніх масивів, ящикового типу, що надають можливість їх зведення в умовах відкритого моря. При цьому зазвичай лицьову стінку (з боку гавані) жорсткого екрану мають не строго вертикальне, а похил в сторону моря на кут $\beta = 2 \div 3^\circ$, за рахунок нахилу поверхні основи або за рахунок відповідної форми елементів і способу їх встанови.

Конструкції екранів складають з стовбчастої кладки пустотілих бетонних або залізобетонних масивів без днища, тилова (з боку начерки) стінка робиться з перфорацією в розмірі 30 ÷ 50%. Порожнину масивів заповнюється камінням масою 30 ÷ 100 кг. Пустотні масиви слід виготовляти з монолітного бетону або збірних залізобетонних елементів. Основним недоліком даної конструкції є важкість виготовлення, що свідчить про збільшення термінів будівництва.

1.2.5 Огороджувальні споруди наскрізного типу

Наскрізні огороджувальні споруди застосовують вкрай рідко, при несприятливих інженерно-геологічних умовах. Концепція подібних споруд така, що енергія хвиль гаситься тільки в зоні змінного горизонту. Деякі типи таких споруд представлені у нормативних документах [40, 41], які рекомендовані до використання в інженерній практиці рис.1.7.

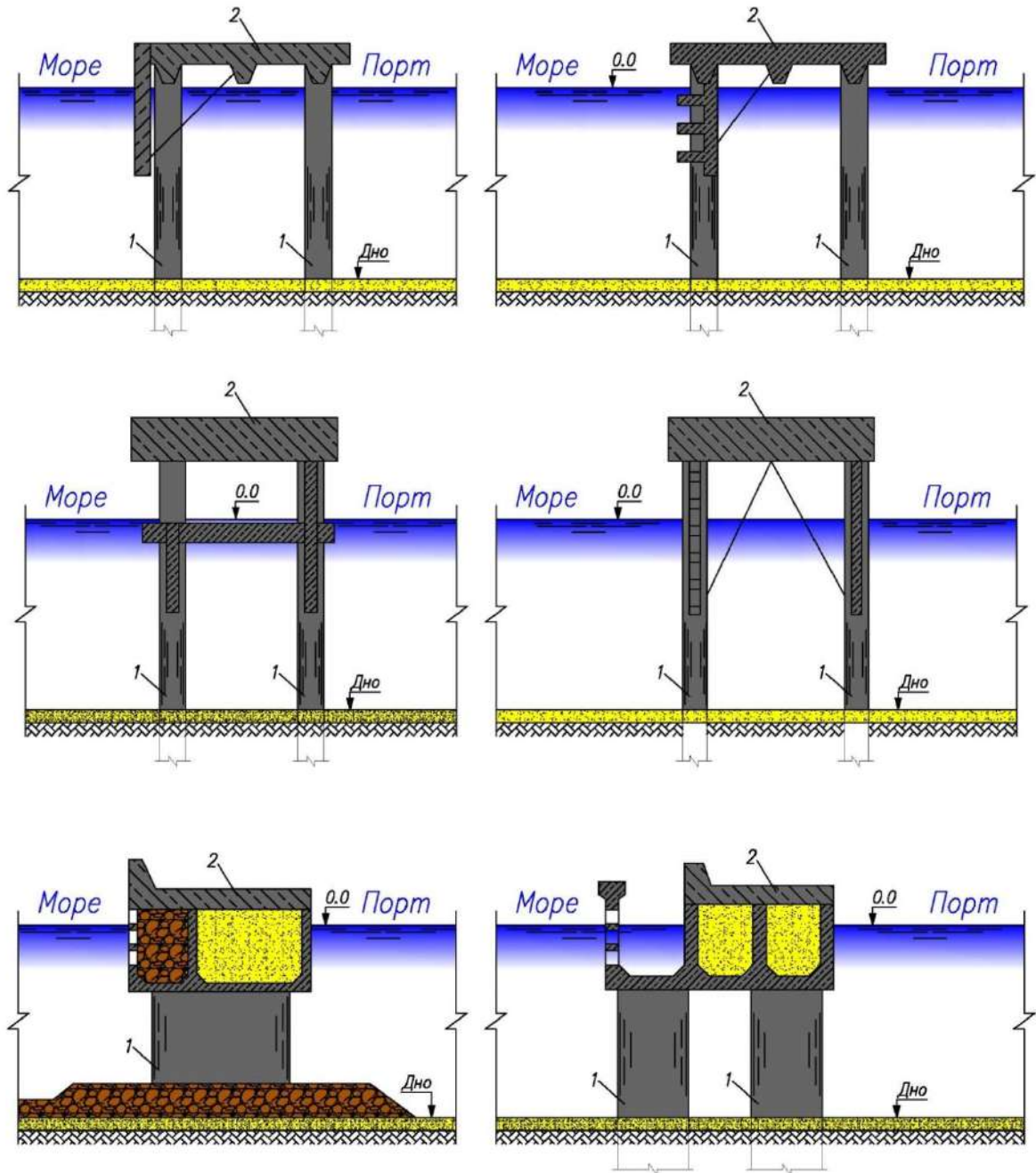


Рис. 1.7 Конструкції наскрізних огороджувальних споруд

1 - паля; 2 - верхня будова

Дані споруди мають ряд переваг.

1. Можуть застосовуватися на слабких ґрунтах з низькою несучою здатністю.
2. Споруди даного типу вимагають значно меншу кількість будівельних матеріалів в порівнянні з гравітаційними.

До недоліків таких споруд можна віднести.

1. Слабо захищають акваторії портів від проникаючих хвиль, особливо при впливі довгоперіодних хвиль в системі жорстких штормів.
2. Споруди даного типу не перешкоджають проникненню наносів на акваторії портів.

На даний час в Україні немає морських портів, які захищаються огорожувальними спорудами наскрізного типу. Однак такі конструкції успішно застосовувалися при захисті глибоководних портів на території Російської Федерації, розташованих на Чорноморському узбережжі.

1.3 Навантаження і впливи на огорожувальні споруди

Розрахунок огорожувальних споруд слід виконувати відповідно до методу граничних станів з урахуванням рекомендацій [22] з проектування морських гідротехнічних споруд. При цьому розрахунок слід проводити за двома групами станів граничних умов. До першої групи, відноситься розрахунок по стійкості і міцності ОГТС, їх конструкцій, основних елементів і основи. До другої групи граничних станів, слід відносити визначення величини осади, горизонтальних переміщень, а також кутів повороту елементів споруд. Розрахунок основних елементів споруд виконують на дію навантажень, які виникають в процесі будівництва та експлуатації ОГТС. Навантаження на гідротехнічні споруди які виникають під час будівництва або експлуатації не повинні призводити до руйнування їх в цілому або окремих частин, появи деформації, які перевищують значенню допустимих, встановлених у відповідності до вимог [22].

За характером впливу навантажень, яким піддаються огорожувальні споруди поділяють: на постійні і тимчасові. Тимчасові навантаження в свою чергу поділяються на: навантаження тривалої дії, короточасні та аварійні (особливі). До постійних навантажень належать: власна вага елементів конструкції ОГТС, такі як: вага споруди, тиск води, яке виражається в гідростатичному бічному і зважувальному тиску води. До короточасних навантажень належить: гідродинамічний тиск від впливу вітрових хвиль розрахункового шторму, статичний і динамічний тиск льоду, розрахункової товщини. До особливих видів навантажень належить сейсмічні дії, які визначаються в залежності від розрахункової сейсмічності майданчика будівництва, а також сейсмічних властивостей ґрунтів [10].

Хвильові і льодові навантаження на огорожувальні споруди визначаються відповідно до вимог діючих норм [75]. При виконанні розрахунків, враховуються логічні поєднання, що формуються як набір розрахункових значень навантажень. При проведенні розрахунків огорожувальних гідротехнічних споруд необхідно враховувати основні та аварійні комбінації навантажень.

1.3.1 Хвильові навантаження на огорожувальні споруди

У більшості випадків розрахункові хвильові навантаження є основним, що визначають форму і конструкцію ОГТС. Однак до початку ХХ ст., не було розроблено досить надійних і науково обґрунтованих методів їх визначення. При проектуванні молів і хвилеломів головним чином, копіювали вже існуючі споруди і можливі хвильові навантаження, що визначалися орієнтовно на підставі досить малих даних спостережень. Такі методи мають умовний характер, який надав завищені результати. Найбільш обґрунтовані методи визначення хвильових навантажень на гідротехнічні споруди в 1940 році були запропоновані професором М.М. Джунковским [28, 29]. У післявоєнні роки був прийнятий перший нормативний документ щодо визначення розрахункових параметрів хвиль та їх впливів на гідротехнічні споруди ГОСТ 3255 - 46. Усі подальші методи, які стосувалися питань хвильових впливів на гідротехнічні

споруди, були засновані головним чином на проведенні лабораторних досліджень, які узагальнюються емпіричними формулами, ці методи мають, дуже відносний зв'язок з загальною теорією хвиль. Так в 1960 році був виданий нормативний документ [103] з визначенням хвильових і льодових навантажень на гідротехнічні споруди. На підставі апробації в проектній практиці рекомендацій норм були створені «Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям» [113]. Дані вказівки були затверджені комісією з хвильових впливів на гідротехнічні споруди при Раді з проблем водного господарства АН СРСР. Нормативний документ зроблений при участі науково-дослідних інститутів Радянського Союзу, «СоюзморНДІпроект» та «ЧорноморНДІпроект» Міністерства морського флоту, якими були внесені зміни і впроваджені в наступні видання норм [75]. У створенні нормативної та наукової бази з проектування ОГТС брали також активну участь співробітники Міністерства оборони СРСР [40] і Міністерства оборони РФ [41].

1.3.2 Вплив хвиль на огорожувальні споруди вертикального типу

Споруди вертикального типу в процесі своєї експлуатації в залежності від параметрів, можуть піддаватися впливу, як стоячих хвиль, так і хвиль, що руйнуються. Однак у нормативних документах, що діють в нашій країні СНиП 2.06.04-82 * «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения» [75], а також у Російській Федерації СП 38.13330.2012, Республіки Білорусь ТКП 45-3.04-170 - 2009 Республіки Казахстан СНиП РК 3.04-40-2006 і в існуючому керівництві до СНиП П 58-76 ВНДІГ [86], відомчому звіті правил РФ ВСП 33 - 03 - 2007 [41] відсутні практичні рекомендації, що дозволяють визначати величину гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю, при переливі їх через верхні будови (див. рис.1.8) на акваторії, що захищаються.

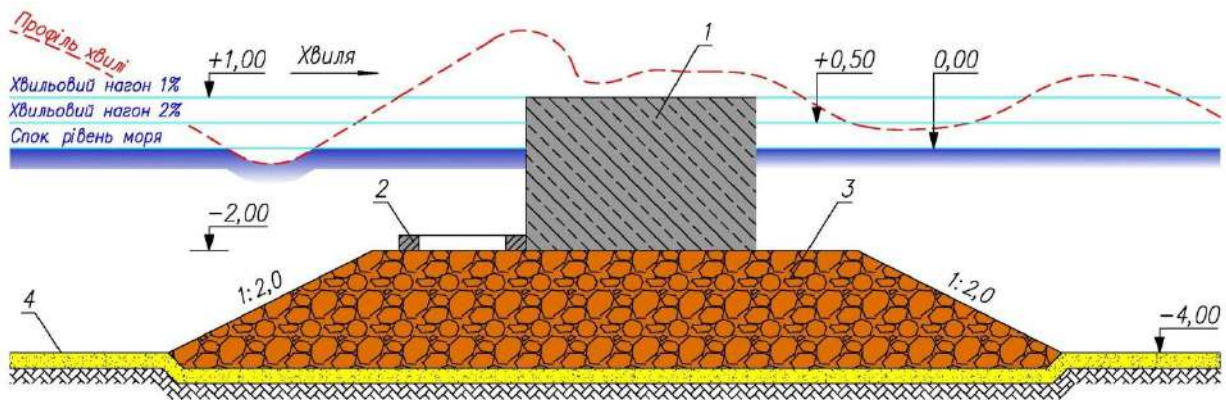


Рис. 1.8 Поперечний розріз конструкції огорожувальної споруди неповного вертикального профілю:

- 1 - верхня будова; 2 - берменний масив (щілинна плита);
3 - кам'яна основа; 4 - морське дно

У відповідності до XVI Міжнародної судноплавної конференції (Брюссель, 1935 р.), була запропонована та прийнята оптимальна глибина розташування вертикальної стінки, яка повинна бути не менше ніж півтори висоти хвилі, де $H_{кр} \geq 1,5h$. Дані рекомендації були підтверджені на наступних міжнародних судноплавних конгресах, а також у джерелі [114].

У практиці гідротехнічного будівництва, позначку верхньої будови конструкції огорожувальної споруди приймають зазвичай вище гребнів хвиль, які утворюються у споруди (споруди «повного» профілю) при максимальному розрахунковому рівні води.

Однак у ряді випадків спостерігався перелив гребнів хвиль через верхні будови конструкцій ОГТС. Це спостерігалось в ряді портів, як на Чорному, так і Середземному морях. Характерним прикладом цього можуть служити окремі випадки перекошування хвиль «скатертиною» через верхню будову огорожувальних споруд.

Так, 31 жовтня 1933 р. у м. Оран (Алжир), при штормі, з висотами хвиль, які досягали величин 6,5 м та довжинах до 140 м, спостерігався перелив гребнів хвиль, через верхню будову молу «Мустафа», що мав позначку гребню +6,5 м,

при цьому, товщина шару води, яка проникала через верхню будову конструкції ОГТС, становила від 1,0 до 1,5 м [114] рис. 1.9 - 1.10.



Рис. 1.9 Хвилювання у молу «Мустафа» в Алжирі



Рис. 1.10 Пошкодження молу «Мустафа» в Алжирі морськими хвилями

Явище переливу штормових хвиль, через верхню будову огорожувальної споруди спостерігалось на території Російської Федерації, зокрема перелив хвиль через верхню будову західного молу у місті Новоросійськ, представлено у на рис. 1.11.



Рис. 1.11 Західний мол у місті Новоросійськ

Це явище може спостерігатися у випадках, коли огорожувальні споруди перебувають у процесі будівництва, ще не зведені до повного профілю, а також у випадках розвитку на акваторіях гравітаційних хвиль, що виникають внаслідок застосування сучасних засобів ураження або сейсмічних хвиль (цунамі).

Відомо, що мол «Мустафа», як у час будівництва, так і по закінченню його, неодноразово піддавався дії штормів рідкісної забезпеченості. Так 2 - 7 лютого 1934 року, відбувся жорсткий шторм, в якому була зареєстрована висота хвиль $7 \div 9$ м, довжиною $180 \div 200$ м. Товщина шару при переливі їх через верхню будову дорівнювалася величині - 4 м, що також відповідає теоретичним розрахункам.

Якщо перелив хвиль спостерігався у побудованих споруд, то тим більше, воно можливе у споруд, які знаходяться в процесі будівництва, тривалість

«морських» робіт буває значною та споруди в будь-якій стадії можуть піддаватися впливу шторму. Це спостерігалось при аварії східного молу розташованого у порту Валенсія. У грудні 1926 року, коли споруда молу була ще не закінчена і позначка гребню молу ще не перевищувала +2,7 м [114].

Перелив гребнів хвиль не пошкодив цілісності огорожувальної споруди і не спричинив проведення ремонтних робіт, але підтвердив у черговий раз актуальність питання, що досліджувалося.

1.3.3 Призначення позначки надводної будови огорожувальних споруд вертикального типу

При розгляді взаємодії хвиль з вертикальною стінкою розрізняють чотири основні типи хвилювання: стоячі хвилі, хвилі, що руйнуються, хвилі перехідного типу від стоячих до хвиль, що руйнуються, а також прибійні хвилі. Кожен з зазначених типів хвилювання спостерігався виключно при певних співвідношеннях параметрів хвилювання і глибинах води на підході до конструкцій ОГТС [34, 69, 84, 85, 89, 110].

У випадках підходу хвиль до огорожувальних споруд фронтально, при наявності досить великих глибин вертикальної стінки, в разі інтерференції прямої і відбитої хвиль, утворюються стоячі хвилі. У даних випадках висоти стоячих хвиль виявляються в два рази більшими ніж висоти вихідних.

Дане явище спостерігається при глибинах над бермою $d_{br} \geq 1,25h$, у випадках подальшого зменшення глибини d_{br} гребні хвиль, піднімаються вище ніж їх вершини. Вплив хвиль на вертикальні стіни супроводжується сплесками наростаючою інтенсивністю, місцевим руйнуванням гребнів і відривом мас води при найвищому підйомі.

У випадках знаходження глибин над кам'яною постіллю $d_{br} = 0,7h$ відбувається повне руйнування хвиль на вертикальній стінці, яке супроводжується ударом хвиль, що руйнуються о вертикальні перешкоди.

Відповідно до норм [75] ОГТС вертикального типу, можуть піддаватися впливу трьох основних хвильових режимів:

1. При глибині води перед спорудою $d_b \geq 1,5h$ і глибині води над кам'яною постіллю $d_{br} \geq 1,2$ розрахунок необхідно проводити на дію стоячих хвиль.
2. При глибині дна $d_b \geq 1,5h$ і глибині води над кам'яною постіллю $d_{br} \leq 1,25h$ розрахунок необхідно проводити на вплив хвиль, що руйнуються.
3. При глибині води перед спорудою $d_b < d_{cr}$ розрахунок необхідно проводити на вплив прибійних хвиль.

Огороджувальні споруди неповного вертикального профілю будуть також знаходитись під впливом різних типів хвиль, в залежності від параметрів кам'яної постілі.

1.3.4 Вплив стоячих хвиль на споруди вертикального профілю

Відповідно до вимог нормативних документів [75, 86], розрахунок хвильових навантажень на споруди вертикального профілю, при впливі стоячих хвиль, необхідно виконувати при глибинах води $d_b > 1,5h$, а також глибинах над бермами $d_{br} \geq 1,25h$.

При цьому в формулах для вільної хвильової поверхні, замість глибини до дна d_b , м, необхідно застосовувати умовну розрахункову глибину d (м), яка визначається за формулою:

$$d = d_r + k_{br} \cdot (d_b - d_f) \quad (1.1)$$

де: d_f – глибина води над підошвою споруди, м;

k_{br} – коефіцієнт приймається за графіками рис. 1.12 в залежності від ставлення глибини води над кам'яною постіллю споруди d_f до глибини дна d_b ;

h - розрахункова висота хвилі (м), в системі розрахункового шторму.

Піднесення або зниження вільної хвильової поверхні η м у вертикальній стінки, яке відраховується від розрахункового рівня води, необхідно визначати у відповідності до залежності:

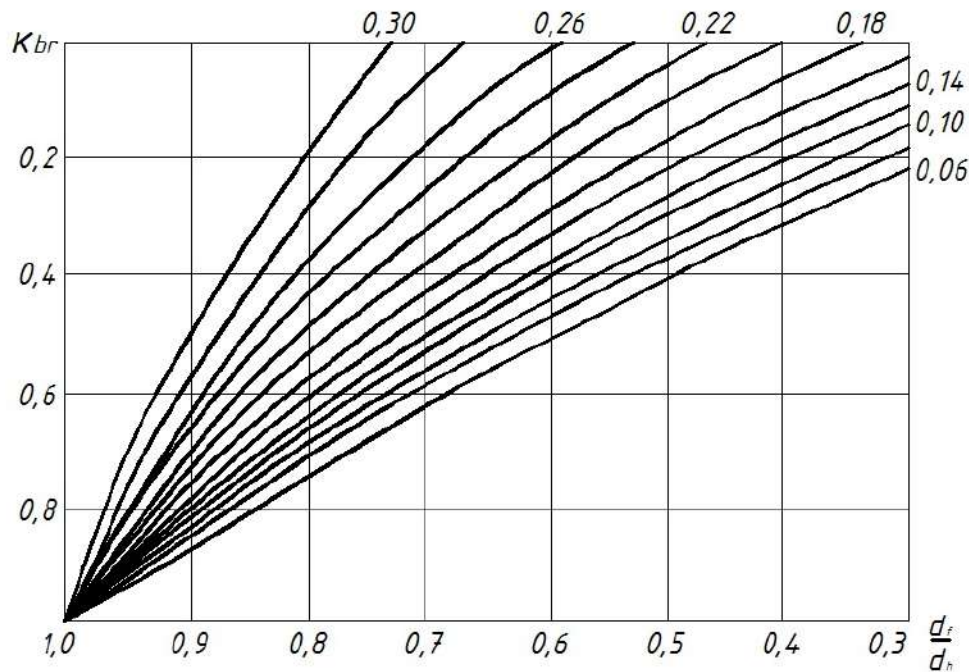


Рис. 1.12. Графіки значень коефіцієнта k_{br}

$$\eta = -h \cos \omega t - \frac{kh^2}{2} cthkd \cos^2 \omega t \quad (1.2)$$

де: ω – частота хвилі, $\omega = 2\pi/\bar{T}$; k – хвильове число, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$;

$\bar{\lambda}$ – середня довжина хвилі у системі розрахункового шторму.

У процесі розрахунку хвильових навантажень, від дії стоячих хвиль на ОГТС вертикального типу необхідно розглянути три випадки визначення η при наступних значеннях:

а) $\cos \omega t = 1$ - при підході до стіни вершини гребня розрахункової хвилі, що підноситься над розрахунковим рівнем на η_{\max} (м);

б) $1 > \cos \omega t > 0$ - при максимальному значенні горизонтального лінійного хвильового навантаження P_{xc} (кН/м) для гребня хвилі, що підноситься над розрахунковим рівнем на η_c , в цьому випадку значення $\cos \omega t$ повинні визначатися за формулою:

$$\cos \omega t = \frac{\bar{\lambda}}{\pi \cdot h \cdot (4 \cdot k \cdot d - 3)} \quad (1.3)$$

в) $\cos \omega t = -1$ - при максимальному значенні горизонтального лінійного хвильового навантаження P_{xt} (кН/м), для підосви хвилі, розташованої нижче розрахункового рівня на η_t .

При $d/\bar{\lambda} \leq 0,2$ і у всіх інших випадках, коли за формулою (1.3) значення $\cos \omega t > 1$ необхідно приймати в подальших розрахунках $\cos \omega t = 1$.

Таким чином, відмітка верхньої будови ОГТС вертикального типу повинна становити сумі піднесення вільної хвильової поверхні η (м) і значенню невеликого запасу.

1.3.5 Вплив прибійних і хвиль, що руйнуються на споруди вертикального профілю

При проектуванні молів та змінних глибинах води по довжині споруди, окремі ділянки будуть піддаватися силовому впливу хвиль, що руйнуються. Тоді відповідно до рекомендацій [75], розрахунок споруд на вплив хвиль, що руйнуються з боку відкритої акваторії повинен проводитися при глибині над бермою $d_{br} < 1,25 \cdot h$ та глибині до дну $d_b \geq 1,5 \cdot h$.

У випадках виникнення хвиль, що руйнуються на вертикальну перешкоду, величину максимального сплеску необхідно визначати відповідно до формули (1.4):

$$z_1 = -h \quad (1.4)$$

h – розрахункова висота хвилі (м), в системі розрахункового шторму.

Розрахунок споруд на вплив прибійних хвиль з боку відкритої акваторії повинен проводитися при глибині $d_b \leq d_{cr}$ на прилеглій до стіни ділянці протяжністю не менше $0,5\bar{\lambda}$ м, при цьому піднесення вершини максимальної прибійної хвилі $\eta_{c.sur}$ м, над розрахунковим рівнем слід визначати за формулою:

$$\eta_{c.sur} = -0,5d_f - h_{sur} \quad (1.5)$$

де: h_{sur} – висота прибійної хвилі, м; d_{cr} – критична глибина, м.

1.4 Методи визначення параметрів гасіння хвиль огорожувальними спорудами неповного профілю

У практиці будівництва ОГТС мають місце застосовуватися споруди неповного вертикального профілю (див. рис. 1.8), через верхню будову яких, допускається перелив гребнів хвиль з подальшою зміною основних хвильових параметрів. Такі споруди, в залежності від параметрів кам'яної постілі, можуть піддаватися впливу, як стоячих, так і хвиль, що руйнуються. У нормативних документах [75] відсутні практичні рекомендації, що дозволяють визначати величину гасіння хвиль спорудами такого типу.

Висоту хвилі, забезпеченістю 5% в системі розрахункового шторму, яку встановлюють для виконання швартовних операцій, рекомендується приймати - 1,2 м, а для забезпечення стоянки судів, значення висот хвиль слід визначати відповідно до [89, 112], в залежності від напрямку дії хвиль і водотоннажності розрахункового судна.

Допустимі висоти хвиль на майданчиках берегової інфраструктури морських міст, що захищаються регламентуються параметрами збереження пляжного матеріалу, а також недопущенням затоплення прибережних територій, внаслідок хвильового впливу.

У монографії Д.Д. Лаппо [56], а також в нормах РФ [41] наведено методику з визначення параметрів хвиль на акваторії порту, що захищається, при переливі через ОГТС з начерки неповного профілю, за допомогою коефіцієнта трансформації рис. 1.13.

При цьому параметри трансформованих хвиль рекомендується визначати за допомогою емпіричної залежності (1.1) [41, 56]:

$$h_{t,p} = K_{t,p} \cdot h_{1\%} \quad (1.1)$$

де: $K_{t,p}$ – коефіцієнт проникності.

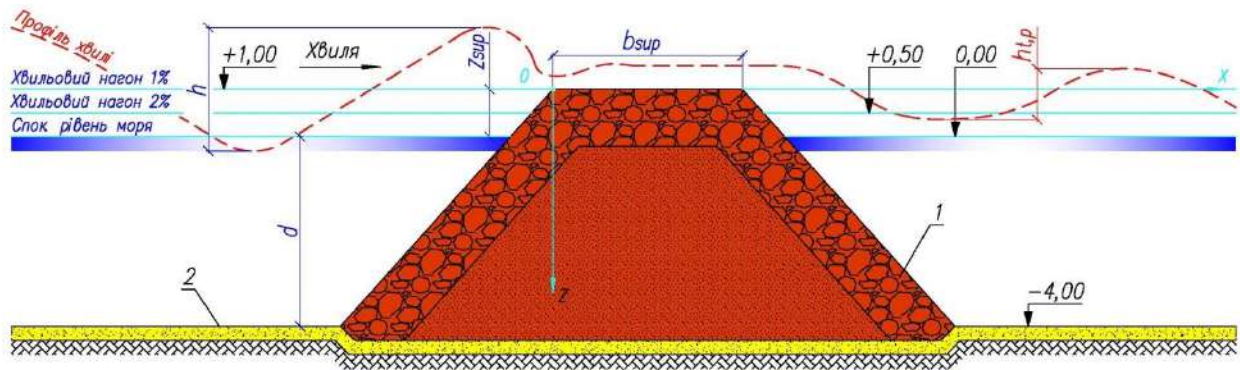


Рис. 1.13 Розрахункова схема конструкції огорожувальної споруди неповного профілю:

- 1 - накидне спорудження неповного профілю з ядром з несортованого каменю;
2 - природне морське дно

Деякі результати вирішення питань трансформації хвиль вертикальної перешкодою були опубліковані Г.С. Башкіровим [5]. Серед яких надані методики з визначення величини гасіння хвиль наскрізними хвилеломами типу понтонів, решіток та екранів. Рис. 1.14, де наводиться формула, призначена для розрахунку коефіцієнтів гасіння хвиль «підводними порогами», формула має вигляд (1.2):

$$K_p = \frac{h}{h_0} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - (H - P_b)}{\lambda} + 4\pi \frac{H - P_b}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - a}{\lambda} + 4\pi \frac{a}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}} \quad (1.2)$$

де: h_0 – висота вихідної хвилі, м;

h – висота залишкової хвилі між хвилеломом і берегом, м;

λ – довжина вихідної хвилі, м;

H – глибина води в місці установки хвилерізу, м;

P_b – висота хвилерізу (від дна до гребня);

$H - P_b = a$ – заглиблення гребня хвилерізу від спокійного рівня моря (м).

Аналізуючи формулу (1.2), автором було вказано на те, що «донні пороги, більш ефективні при малих значеннях H/λ і при досить малих значеннях a/H ». [9].

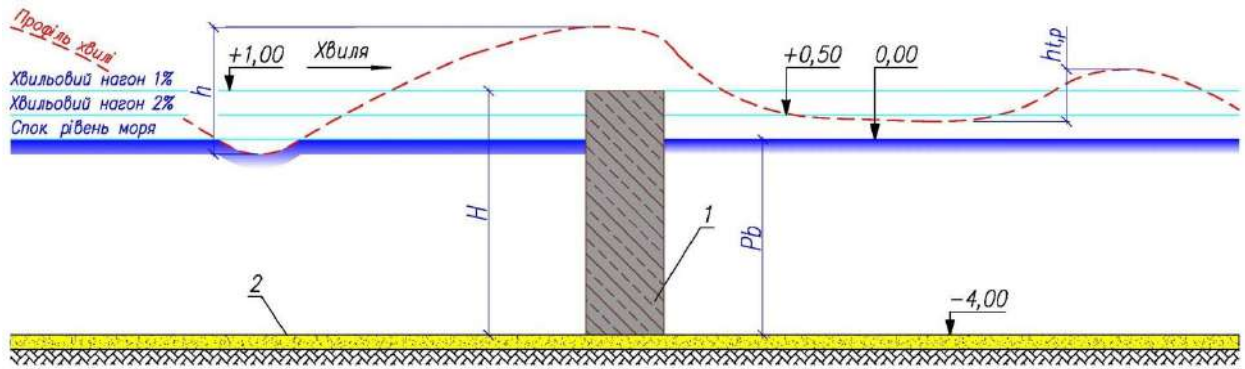


Рис. 1.14 Конструкції захисної споруди неповного профілю:

1 - вертикальна перешкода; 2 - природне морське дно

Запропонована Г.С. Башкіровим формула для визначення величини гасіння хвилювання підводним хвилеломом, дозволяє враховувати лише одну характеристику самої споруди - величину затоплення його гребня, але не враховує ширини самої споруди.

У статті В.В. Хаперського [114], в якій серед питань, що належать до розрахунку гасіння хвилі спорудами ОГТС неповного вертикального профілю, наводиться формула, яка призначена для визначення коефіцієнту гасіння хвиль спорудами даного типу (1.3):

$$k_{BG} = \sqrt{\frac{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} - sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{h}\right) + 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{\Delta H}{h}}{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} + sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda}}} \quad (1.3)$$

де: ΔH – становище гребня споруди по відношенню до горизонту спокійного рівня, м.

Інші символи, представлені у формулі (1.3) описані раніше.

Основним недоліком запропонованої формули розрахунку є те, що при розташуванні верху споруди на спокійному рівні води, при різних параметрах хвиль відповідно до формули (1.3) виходять однакові коефіцієнти гасіння, що, за словами самого автора, не відображає дійсність [114].

У дисертаційній роботі І.А. Лизлова [62] була запропонована формула (1.4), призначена для визначення коефіцієнтів гасіння параметрів хвиль підводним хвилеломом, застосованих для захисту морських берегів.

$$\psi = \left(1 - \frac{h}{h_0}\right) \cdot 100\% = \left/ \frac{2 \cdot S \cdot 10^c}{(H - a)^{3/2} \cdot \lambda^c} + \frac{10 \frac{\alpha}{\pi} + 10 \frac{\beta}{\pi}}{(H - a)^{1/2} \cdot 2^c} \right/ \cdot \sqrt{l} \cdot \sin \varphi \quad (1.4)$$

де: ψ – величина гасіння висоти хвилі підводними хвилеломами, %;

h_0 – висота вихідної хвилі, м;

S – площа поперечного перерізу хвилерізу, м²;

a – абсолютна величина затоплення гребня хвилерізу від спокійного рівня, м;

H – глибина в місці установки хвилерізу, м;

λ – довжина хвилі, м;

l – ширина гребня, м;

α і β – кути в градусах між лініямидна і передньої, задньої межами хвилерізу, відраховується проти годинникової стрілки;

φ – кут у градусах між променем напрямку хвиль і трасою хвилерізу, розглянуто найбільш несприятливий випадок 90 градусів.

$$C = \frac{3 \cdot a}{2 \cdot h_0} \quad (1.5)$$

Експериментальні дані лабораторних досліджень при фронтальному підході хвиль, були представлені в статті О.Ю. Бірської [7]. Для визначення коефіцієнтів гасіння хвиль, була рекомендована до застосування формула (1.6).

$$k_{BG} = \frac{h - h_0}{h} = \sqrt{\frac{h}{\lambda}} \cdot \left(0,23 \frac{B}{h} + 2,3 \frac{\Delta H}{h} + 1,6\right) \quad (1.6)$$

де: h – висота вихідної хвилі, м;

h_0 – висота залишкової хвилі між хвилеломом і берегом, м;

λ – довжина вихідної хвилі, м;

ΔH – піднесення верху споруди щодо розрахункового рівня води, м;

B – ширина гребня споруди, м.

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень впливу хвиль на огорожувальні гідротехнічні споруди неповного профілю, різних зарубіжних авторів (Seeling [165]; Allsop [127 ÷ 129]; Kobayashi [146]; Sorensen [167]; Koohestani [148]; Cuomo [137]) у 1996 р. d'Angremond та іншими авторами була запропонована формула (1.7) [139], для визначення величин гасіння хвиль, спорудами неповного профілю, виконаними з кам'яної начерки.

$$k_t = -0,4 \frac{R_s}{H_i} + 0,80 \cdot \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0,31} \cdot (1 - e^{-0,5\zeta}) \quad (1.7)$$

де: R_s – піднесення верху споруди щодо розрахункового рівня води, м;

H_i – висота вихідної хвилі, м;

B – ширина гребня споруди, м;

ζ – коефіцієнт, що враховує вплив розташування хвилеріза по відношенню до профіля хвилі, що визначається за формулою (1.8);

α – кут.

$$\zeta = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_i / L_0}} \quad (1.8)$$

На підставі експериментальних досліджень хвильових впливів на ОГТС неповного профілю Briganti, 2003 р. була запропонована експериментальна залежність (1.9).

$$k_t = -0,35 \cdot \frac{R_s}{H_i} + 0,51 \cdot \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0,65} \cdot (1 - e^{-0,41\zeta}) \quad (1.9)$$

де: R_s – піднесення верху споруди щодо розрахункового рівня води, м;

H_i – висота вихідної хвилі, м;

B – ширина гребня споруди, м.

Розглянуті методики призначені для визначення параметрів гасіння хвиль (див. табл. 1.1), які були запропоновані для споруд неповного профілю, що відрізняються формою поперечного перерізу, матеріалом створення, висотою, піднесення верхньої будови відносно спокійного рівня води, з яких, методика О.Ю. Бірської [7] найбільш близька за параметрами до об'єкта дослідження. Проаналізовані методики за функціональним призначенням відповідають конструкції, що розглядається та могли б бути використані для розрахунку

параметрів гасіння хвиль спорудами неповного профілю, але аналіз свідчить про суттєві відмінності в одержуваних результатах розрахунку [95], що свідчить про неможливість використання ,відомих в практиці гідротехнічного будівництва, методів з розрахунку параметрів гасіння хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю.

З метою проведення порівняльного аналізу, параметрів гасіння хвиль конструкціями огорожувальних споруд неповного профілю, відповідно до представлених раніше методів, було розглянуто три розрахункових випадки. Дані варіанти відрізнялися висотами хвиль перед ОГТС неповного профілю, а також розташуванням верхньої будови по відношенню до спокійного рівня води і ширини верхньої будови.

Результати проведених розрахунків представлені в табл.1.1.

Таблиця 1.1

Результати розрахункових параметрів хвиль

№	Висота хвилі перед спорудою (м)	Ширина верхньої будови ОГТС (м)	Висота хвилі за спорудою (м)				
			Форм. 1.1	Форм 1.4	Форм. 1.6	Форм. 1.7	Форм. 1.9
При розташуванні верхньої будови на спокійному рівні води							
1	2,55 (А)	8,0	0,97	1,82	0,82	0,46	0,18
		7,5	1,02	1,89	0,86	0,47	0,19
		7,0	1,07	1,94	0,89	0,48	0,20
		6,5	1,10	1,99	0,93	0,49	0,21
		6,0	1,12	2,04	0,96	0,50	0,22
		5,5	1,15	2,09	0,99	0,52	0,23
		5,0	1,17	2,13	1,03	0,53	0,25
		4,5	1,20	2,18	1,06	0,55	0,27
		4,0	1,28	2,22	1,09	0,57	0,29

Продовження табл. 1.1

При підвищенні верхньої будови споруди +0,5 (м) відносно спокійного рівня							
2	2,50 (B)	8,0	0,40	1,44	0,43	0,37	0,11
		7,5	0,45	1,52	0,47	0,38	0,12
		7,0	0,48	1,60	0,50	0,39	0,13
		6,5	0,50	1,68	0,53	0,41	0,14
		6,0	0,53	1,75	0,57	0,42	0,15
		5,5	0,55	1,83	0,60	0,43	0,16
		5,0	0,58	1,90	0,64	0,45	0,17
		4,5	0,60	1,97	0,68	0,46	0,19
		4,0	0,65	2,04	0,70	0,48	0,21
При підвищенні верхньої будови споруди +1,0 (м) відносно спокійного рівня							
3	2,40 (C)	8,0	0,19	1,25	-0,10	0,27	0,02
		7,5	0,22	1,34	-0,06	0,28	0,03
		7,0	0,24	1,43	-0,03	0,29	0,04
		6,5	0,26	1,51	0,01	0,30	0,05
		6,0	0,29	1,59	0,05	0,31	0,06
		5,5	0,34	1,67	0,08	0,33	0,07
		5,0	0,38	1,74	0,12	0,34	0,09
		4,5	0,43	1,82	0,15	0,36	0,10
		4,0	0,48	1,89	0,19	0,38	0,12

Проаналізувавши дані таблиці 1.1, можливо встановити суттєві відмінності в одержуваних значеннях висоти гасіння хвиль, які пройшли на акваторію, що захищається при переливі їх через верхні будови огорожувальних споруд неповного профілю у відповідності з існуючими методиками багатьох дослідників нашої країни та світу. Споруди, верхня частина яких розташовується нижче гребнів хвиль, що утворюються у них, називаються спорудами неповного профілю.

Відповідно до проведеного огляду, з питання переливу хвиль через огорожувальні споруди неповного вертикального профілю присвячені лише декілька праць. Одна з яких належить іспанському інженеру М. Едуардо де Кастро, який представив в формі доповіді на XVI Міжнародному суднохідному

конгресу (Брюссель, 1935 р.). У своїй доповіді Едуардо де Кастро базувався лише на візуальному спостереженні над молотом в порту Валенсія, у результаті чого, прийшов до висновку, що при проходженні хвиль над вертикальною перешкодою, споруда втрачає у вазі значно більше, ніж це необхідно, згідно з законом Архімеда. Відповідно до чого стійкість огорожувальних споруд неповного вертикального профілю може бути значно меншою, ніж у споруд повного профілю. Подальші дослідження В.В. Хаперського [114] цих питань не підтвердили вказані припущення Едуардо де Кастро.

Таким чином, на даний час, задачі хвильового впливу на вертикальні стінки при переливі через них хвиль не отримали належного освячення в жодній з існуючих на даний час праць. Актуальність даного питання очевидна, виходячи з наданих прикладів, коли таке явище спостерігається, або може мати місце.

У зв'язку з тим ОГТС мають значну лінійну протяжність, можливо, обмежить розглядом лише плоскій задачі при фронтальному підході хвиль, питання, що досліджувалося є актуальним та перспективним для інженерної практики будівництва нових портів, а також при проведенні реконструкції існуючих.

1.5 Постановка завдання дослідження

На підставі аналізу представлених методів, призначених для визначення величин гасіння хвиль, що пройшли через верхню будову ОГТС неповного профілю, на акваторію, що захищається були сформульовані основні задачі експериментальних досліджень. Перша з яких, полягала у визначенні експериментальним шляхом величин гасіння хвиль огорожувальними спорудами неповного вертикального профілю при впливі хвиль, що руйнуються. Друга задача, полягала у вивченні впливу кам'яної постілі на величини трансформації хвиль, при підході до верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю. І в першому, і в другому випадках в дослідях варіювалися величини хвиль в діапазоні, що становить інтерес для інженерної практики.

У зв'язку з тим, що допустимі висоти хвиль для розрахункових суден встановлюються вимогами норм [89, 112] в залежності від водотоннажності, а також від способу розташування судна по відношенню до фронту хвиль, немає

необхідності в повному гасінні розрахункових хвиль, а лише в доведенні їх висот до допустимих значень.

Результати проведених досліджень, дозволять в майбутньому істотно знизити висоти надводної частини огорожувальних споруд вертикального типу, що проектуються, як і тих, що реконструюються. Також це стосується огорожувальних споруд, які призначені для захисту елементів берегової інфраструктури морських міст.

Висновки до розділу 1

1. У діючих нормативних документах України та багатьох інших країн світу з проектування огорожувальних споруд, була встановлена відсутність практичних рекомендації, що дозволяють визначати висоту гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю, при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається.
2. В результаті порівняння та аналізу існуючих методів визначення величини гасіння хвиль спорудами неповного профілю, були встановлені суттєві відмінності в підходах вирішення цього питання, пов'язаного з невідповідністю форми поперечного перерізу огорожувальної споруди, висот вихідних хвиль та ін. Так, при зіставленні отриманих результатів, визначено, що висоти погашених хвиль за ОГТС відрізняються майже на порядок. Вочевидь, ці відмінності свідчать про неможливість застосування жодного з представлених методів без експериментального обґрунтування.
3. В результаті проведеного огляду, були виявлені істотні відмінності в методиках впливу стоячих хвиль та хвиль, що руйнуються на споруди вертикального типу. З цієї причини, картини гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю будуть між собою також відрізнятися.
4. Встановлено необхідність запропонувати методи, призначені для визначення величини гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторію, що захищається.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

2.1 Структура дослідження

З метою підвищення ефективності досліджень складних будівельних конструкцій, якими є огорожувальні гідротехнічні споруди неповного вертикального профілю, можливістю застосування максимальної автоматизації процесу і зменшення витрачених ресурсів, був використаний підхід, заснований на методологічній концепції системного аналізу [70], як однієї з основних складових сучасної науки і техніки. Даний підхід дозволив встановити однакові для всіх типів споруд, що розглядаються, процедури та етапи наукової роботи, що, в свою чергу, дозволило максимально вилучити суб'єктивність і спрямувати дослідження на оптимальне рішення поставлених в роботі питань.

Системний підхід при дослідженні величин гасіння хвиль огорожувальними гідротехнічними спорудами неповного вертикального профілю носить комплексний характер. Об'єкт дослідження був розглянутий як складна система з усіма необхідними ознаками, такими як: наявністю підсистем (елементів), об'єднаних зв'язками фізичної цілісності моделі, а також виконанням умов цілісного функціонування огорожувальної споруди.

Перевірка адекватності розроблених розрахункових моделей проводиться зіставленням даних експериментальних досліджень спеціальної фізичної моделі з результатами проведених чисельних досліджень. Так як експериментальні дані містять деяку невизначеність, пов'язану з похибками експериментальних досліджень, а вихідні параметри, що закладаються в розрахункову модель, мають істотну похибку. Математичне завдання перевірки адекватності розрахункової моделі реальному об'єкту можливо тлумачити як перевірку сукупності статистичних гіпотез.

Структурна схеми методики чисельної-експериментальної оцінки адекватності розрахункових моделей і їх акомодатії по чисельним та експериментальним даним наведена на рис. 2.1.

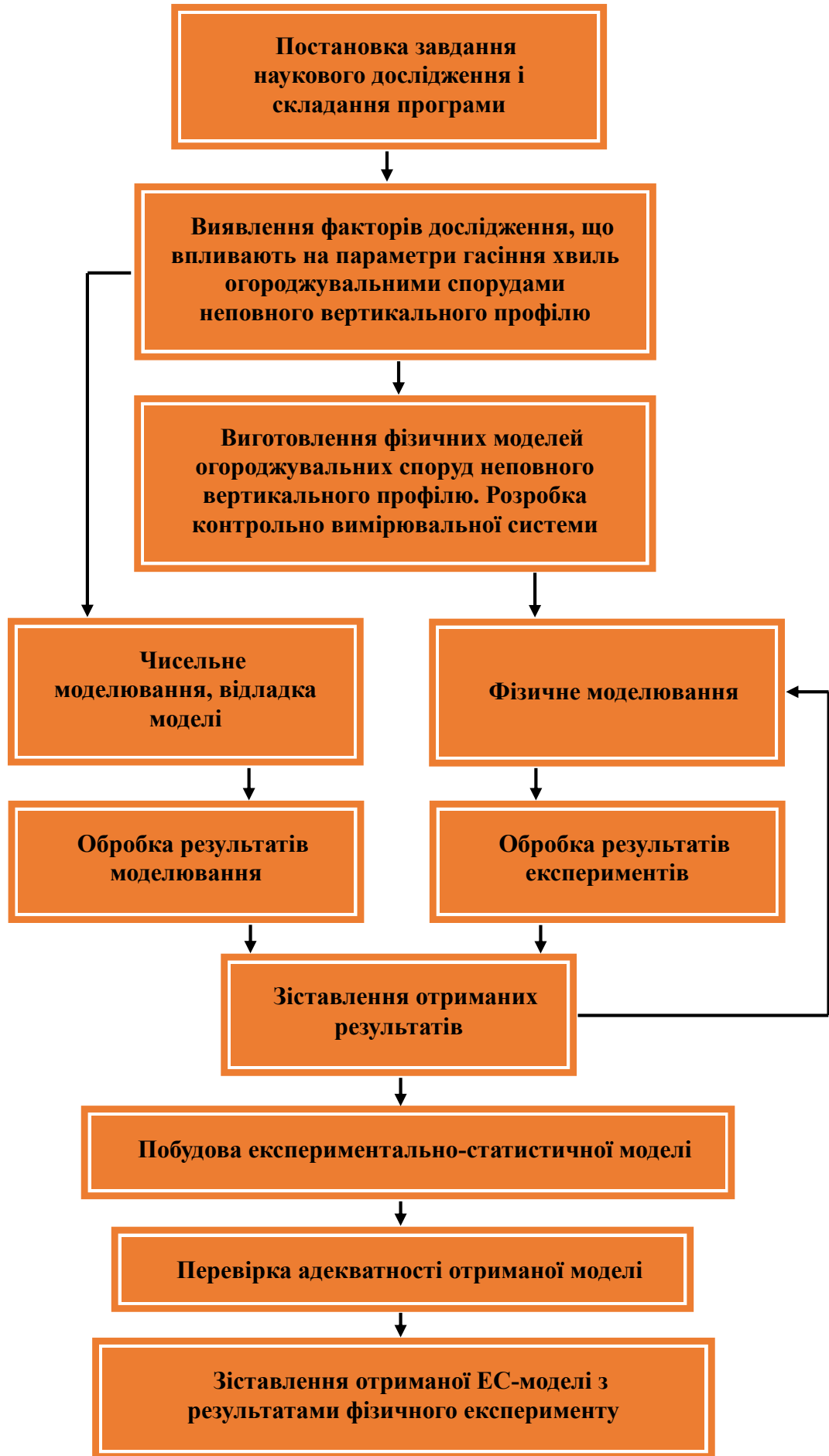


Рис. 2.1 Блок-схема дослідження

У разі, коли розрахункова модель не відповідає критеріям адекватності, виникає необхідність її коригування для досягнення відповідності поведінки фізичної та чисельної моделей. Таке коригування може бути багатоступінчастим і закінчується тоді, коли основні характеристики фізичної і чисельної моделей досягають відповідності з урахуванням допустимих похибок.

Застосування запропонованої методики наукового дослідження передбачає наявність усіх отриманих результатів експериментів. З метою розробки методики моделювання з визначення параметрів гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається необхідно підтвердження адекватності використовуваних для цих цілей моделей.

2.2 Закони подібності та правила моделювання

Дослідження по вимірюванню висот трансформованих хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю на акваторію, що захищається мали на меті розробити емпіричну залежність, яка могла бути використана в інженерній практиці. У досліджах були розглянуті різні значення підвищень верхньої будови ОГТС відносно спокійного рівня води, а також її ширини.

Проведені дослідження дають можливість оцінити з високим ступенем достовірності в масштабних умовах фізику процесів, що протікатимуть під час експлуатації на реальних спорудах в натурних умовах. При вирішенні наукових задач, поряд з аналітичними дослідженнями, широко застосовуються також і експериментальні підходи в гідрохвильових процесах. Достовірно проведений експеримент є критерієм оцінки всіх аналітичних результатів. Відповідно до нормативного документа [22], в залежності від класу відповідальності споруди науковий супровід при проектуванні огорожувальних споруд є обов'язковою вимогою.

Умовою гідродинамічної подібності є рівність на моделі і на натурі відносин всіх сил [13, 45, 92, 99, 100, 123]. Внаслідок фізичних особливостей

повна подібність практично недосяжна. У зв'язку з цим, були встановлені критерії подібності для приватних, конкретних випадків, коли в якості переважної, приймається одна з сил.

В даному випадку при проведенні моделювання, в якості переважної була розглянута сила тяжіння, відповідно, з чим необхідно було перераховувати дані, отримані на моделі на натуру відповідно до критеріїв подібності Фруда, яка походить із умови (2.1):

$$\frac{a_V^2}{a_g \cdot a} = 1 \quad (2.1)$$

$$\text{чи } \frac{V_H^2}{g \cdot l_H} = \frac{V_M^2}{g \cdot l_M} = Fr$$

де: Fr – число Фруда.

Геометрично подібними параметри трансформації хвиль, що пройшли через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю, можна вважати гідродинамічно подібними у випадках, коли будуть рівні числа Фруда в натурних умовах і на моделі (2.2):

$$Fr_H = Fr_M \text{ чи } Fr = idem \quad (2.2)$$

При цьому справедливі наступні співвідношення:

$$1) \text{ для лінійних розмірів } \frac{L_H}{L_M} = C;$$

$$2) \text{ для швидкості } \frac{V_H}{V_M} = \sqrt{C};$$

$$3) \text{ для періодів } \frac{T_H}{T_M} = \sqrt{C};$$

де: C – модуль геометричної подібності;

$L_H(L_M)$ – лінійні розміри системи, «н» відноситься до натур, а індекс «м» - до моделі;

$V_H(V_M)$ – характеристика швидкості;

$T_H(T_M)$ – характеристика часу;

$g_H(g_M)$ – прискорення сили тяжіння.

Такий підхід при проведенні гідравлічних досліджень, в тому числі і схвильованої поверхні, апробований багатьма дослідниками в різних країнах світу. Результати цих досліджень були використані в інженерній практиці при проектуванні сучасних конструкцій огорожувальних споруд, а також при розробці рекомендацій до нормативних документів.

Вивчення кінетичної картини дозволило міркувати про сутність фізичних явищ, які спостерігаються у споруди, розташованої на високій кам'яній постілі перед верхньою будовою (вертикальною стінкою) і безпосередньо за ОГТС (на акваторії, що захищається). Усе зазначене вище стало визначальним при виборі режимів хвилювання і кількості випробовуваних моделей, а також при розробці програми експериментальних досліджень.

Основним критерієм гравітаційного подібності є подібність в натурі і на моделі сил тяжкості і інерційних сил. У зв'язку з постійністю щільності рідин подібність досягається при дотриманні геометричних масштабів. Однак дослідження, проведені різними авторами раніше [13, 45], показали, що хоча і гравітаційні сили є головними, але не єдиними силами, від яких залежить результат моделювання. Свій вплив мають сили тертя об дно і стінки лотка, а також сила в'язкості і поверхневого натягу, які одночасно моделювати неможливо.

Не врахування впливу цих сил може спричинити появу похибки до 30% при перерахунку висот хвиль в натуру. При цьому може відбуватися значне відносне зростання частки тих сил, які в натурних умовах були другорядними. Зростання частки молекулярної в'язкості при гравітаційному моделюванні, в свою чергу, призведе до більш швидкого загасання хвиль на моделі в порівнянні з натурою.

Поправка на облік впливу сил молекулярної в'язкості U_ν визначається відповідно [99, 100] для геометрично подібних моделей (2.3):

$$U_\nu = \exp\left(8 \cdot \pi^2 \cdot \frac{\nu}{c \cdot \lambda} \cdot \frac{D}{\lambda}\right) \quad (2.3)$$

де: ν – кінетичний коефіцієнт молекулярної в'язкості, що дорівнює - 0,0106 (см²/с);

c – фазова швидкість хвилі, яка визначається відповідно до формули 2.4:

$$c = \frac{\lambda}{T} \quad (2.4)$$

λ – довжина хвилі на моделі (мм);

T – період хвилі на моделі (с);

D – шлях, пройдений хвилею на розрахунковій ділянці (мм).

Розрахунки, зроблені для точок, розташованих на різних ділянках моделі, показали, що в даному випадку моделювання величина $U_e = 1,0$, що свідчить про відсутність спотворення моделювання. У зв'язку з тим, що на моделі неможливо повністю дотримати геометричну подібність параметрів основи, в даній роботі було використано дно з кварцовим піском дрібної фракції, чим досягалося максимально можливе наближення до натурних умов. Однак і в цьому випадку допускається певна відповідність геометричної подоби, що тягне за собою необхідність врахування поправки в зв'язку з шорсткістю дна U_{mp} (2.5):

$$U_{mp} = \exp \left[\frac{\lambda_d \cdot F}{2} \cdot \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{D}{\lambda} \cdot (1 - U_{xd}) \right] \quad (2.5)$$

де: λ_d – відносна шорсткість дна на моделі (мм);

F – гіперболічна функція відносної глибини;

$\frac{\lambda_d \cdot F}{2}$ – визначається по номограмі [101];

h – вихідна висота хвилі на моделі (мм);

U_{xd} – вихідна відносна шорсткість, допущена на моделі:

$$U_{xd} = \frac{d_H}{d_M \cdot M} \quad (2.6)$$

де: d_H – крупність фракції в натурі;

d_M – крупність фракції на моделі;

M – масштабний множник.

Проведені розрахунки показали, що поправка на спотворення моделювання за рахунок тертя об дно становить 3%. Таким чином, цей критерій не має суттєвого значення.

Облік сил поверхневого натягу відіграє істотну роль лише при порівнянні малих параметрів хвиль. При проведенні експериментальних досліджень довжини хвиль були досить великі і досягали значення $\lambda = 1100 \div 2450$ (мм). У таких випадках їх вплив можливо не враховувати.

2.3 Методика дослідження

У зв'язку з принциповими відмінностями дій стоячих і хвиль, що руйнуються на конструкцію огорожувальної споруди вертикального типу, дослідження було поділено на дві окремі серії. При першій серії проведених досліджень, була встановлена величина гасіння хвиль верхньою будовою ОГТС неповного вертикального профілю, а у другій серії - встановлювали параметри трансформації хвиль на високій кам'яній постілі.

Перед початком проведення експериментів були проведені методичні дослідження, які полягали у виборі діапазону значень параметрів хвиль, які представляють інтерес для інженерної практики. При цьому було виконане градування датчиків, яке підтвердило їх лінійність. Після встановлення значень градувальних кривих чотирьох датчиків, які були задіяні в експериментальних дослідженнях, були проведені дослідження хвильового впливу на моделі ОГТС неповного вертикального профілю.

При проведенні методичних експериментів, були здійснені випробування на декількох типах моделей споруд неповного вертикального профілю, відмінність яких полягала в трьох варіантах піднесення верхньої будови по відношенню до спокійного рівня води, а також шириною верхньої будови. При ширині верхньої будови 4,0 м та різних підвищеннях верхньої будови над спокійним рівнем води (див. рис. 2.2.), при 6,0 м та 8,0 м, представлені на рис. 2.3 і 2.4.

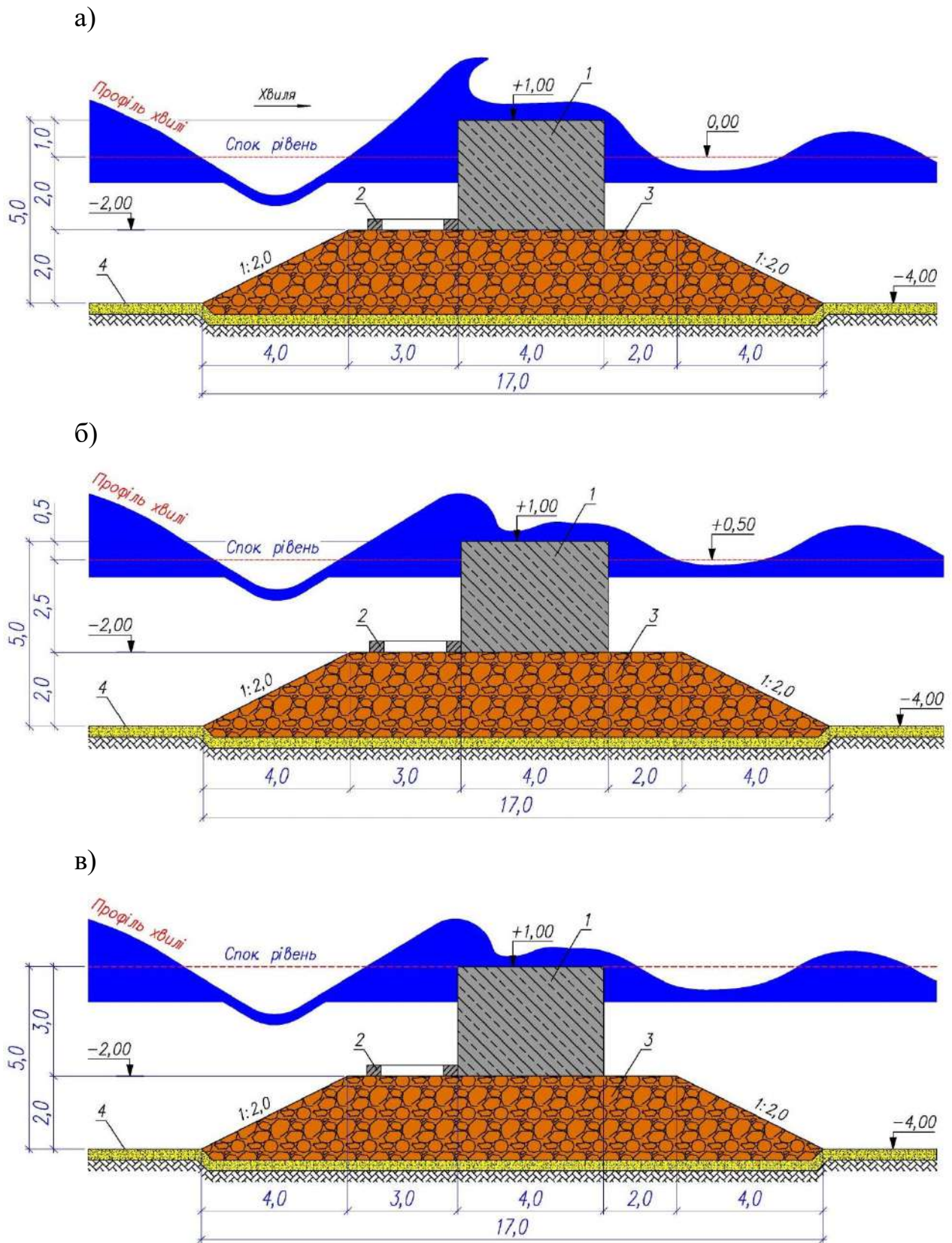


Рис. 2.2 Огороджувальні споруди при ширині верхньої будови

$b = 4,0$ (м) і різних підвищеннях гребню

1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита);

3 - кам'яна постіль; 4 - морське дно

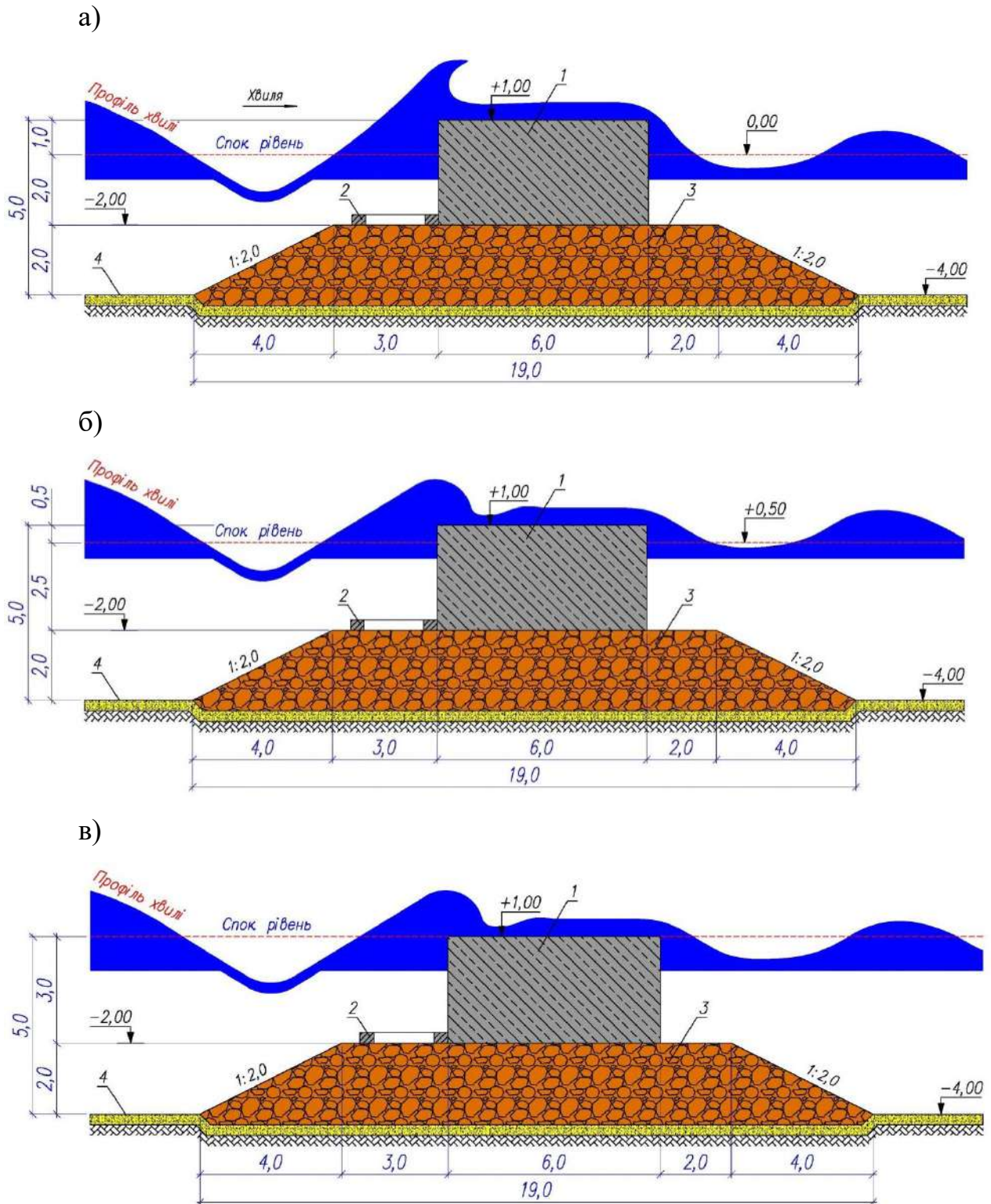


Рис. 2.3 Огороджувальні споруди при ширині верхньої будови

$b = 6,0$ (м) і різних підвищеннях гребню

1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита);

3 - кам'яна постіль; 4 - морське дно

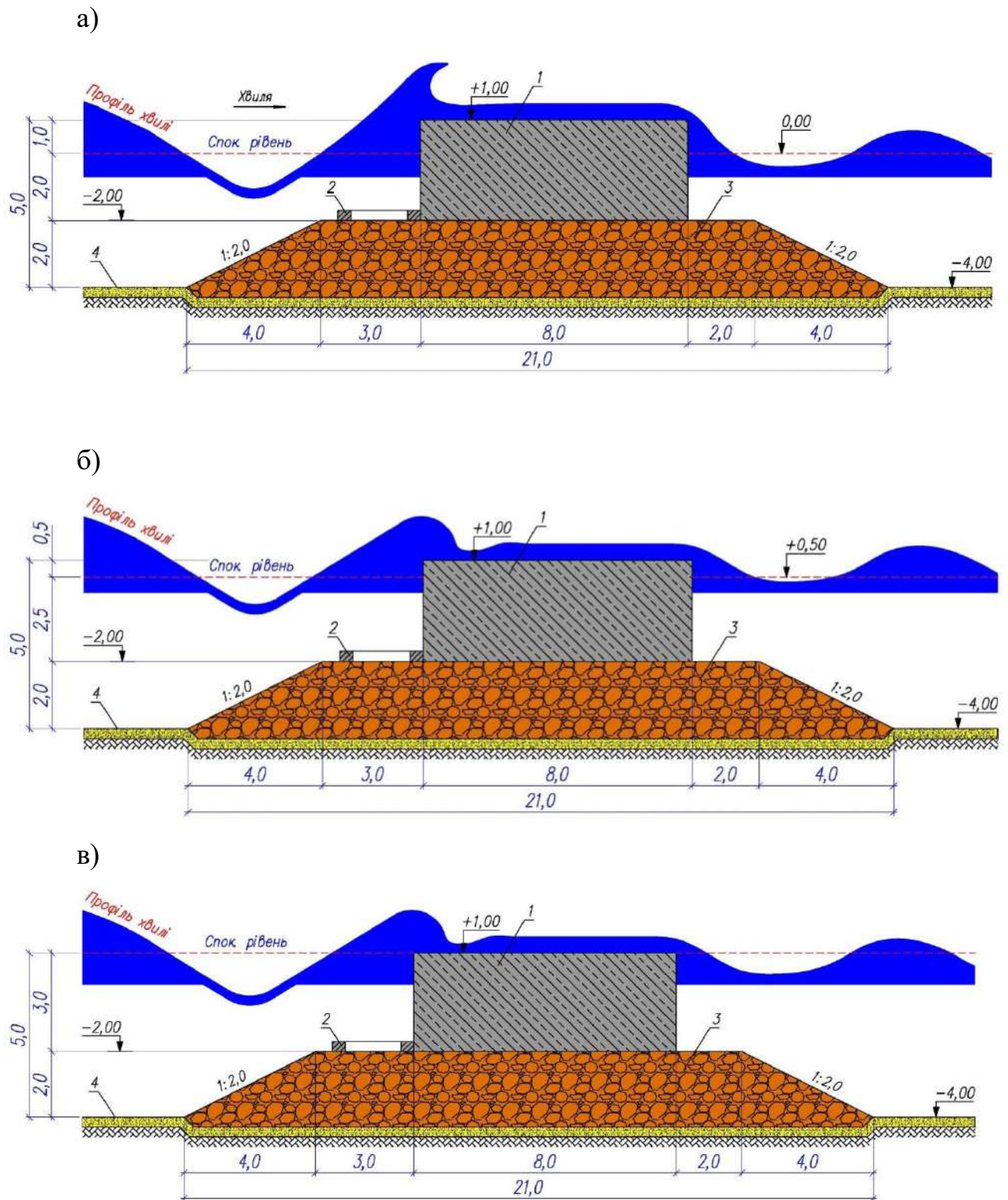


Рис. 2.4 Огороджувальні споруди при ширині верхньої будови

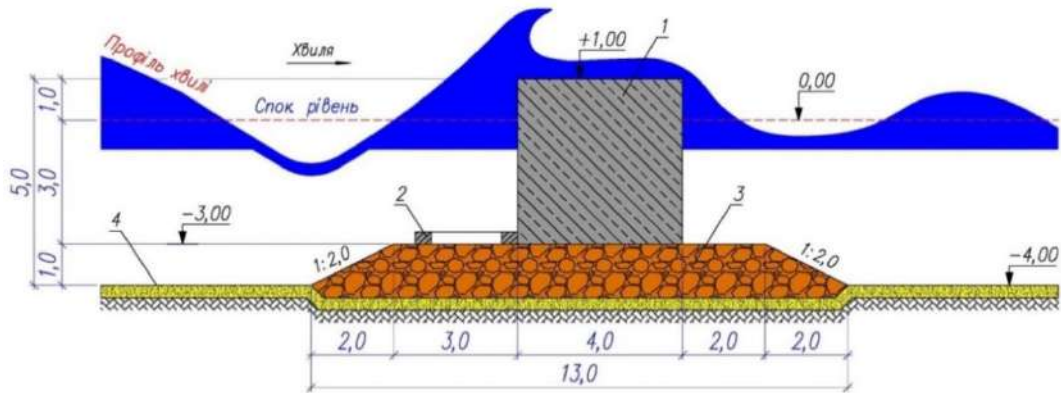
$b = 8,0$ (м) і різних підвищеннях гребню

1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита);

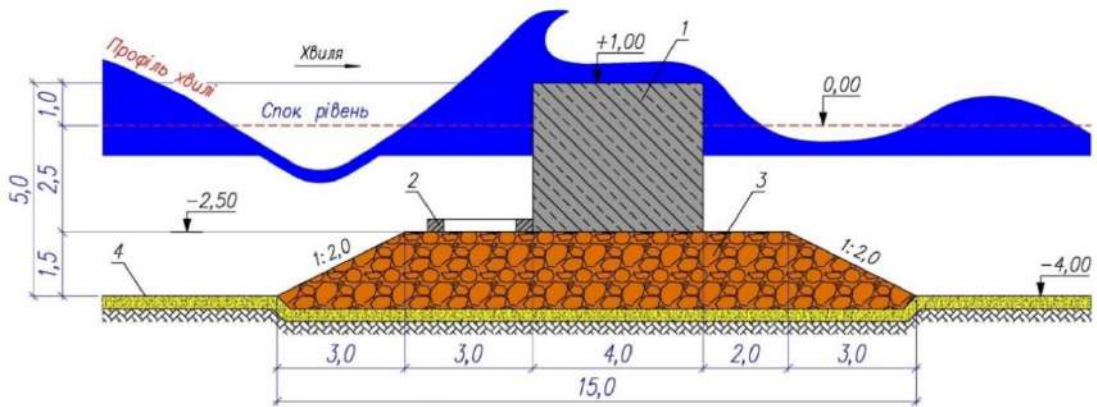
3 - кам'яна постіль; 4 - морське дно

Друга серія досліджень полягала у визначенні величини трансформації хвиль, що формуються перед верхньою будовою ОГТС над високою кам'яною постілю. Типи споруд, що досліджувались з різними параметрами постілі і глибинами, на яких вони розташовані, представлені на рис. 2.5 - 2.7.

а)



б)



в)

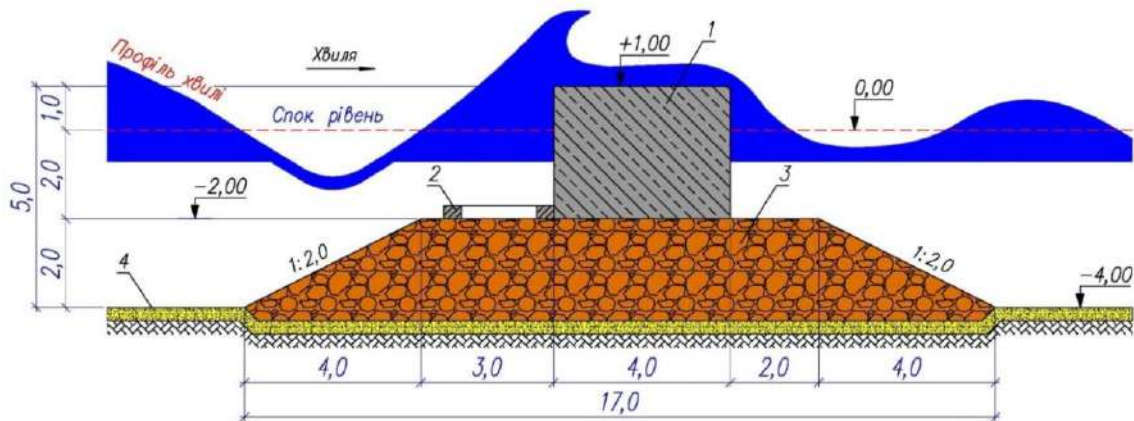


Рис. 2.5 Вид кам'яної основи при глибині розташування споруди $d = 4,0$ (м)
 1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита); 3 - кам'яна постіль;
 4 - морське дно

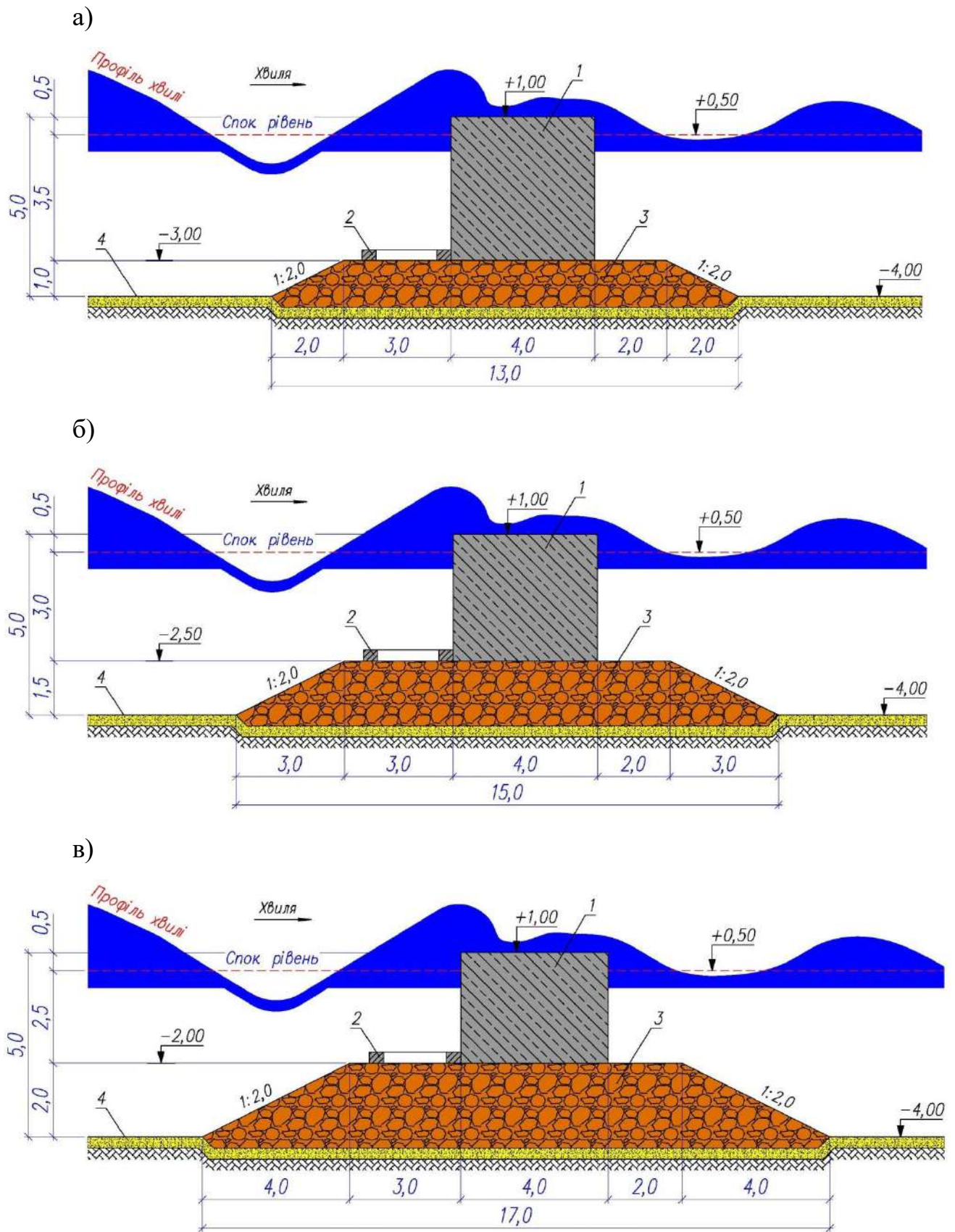
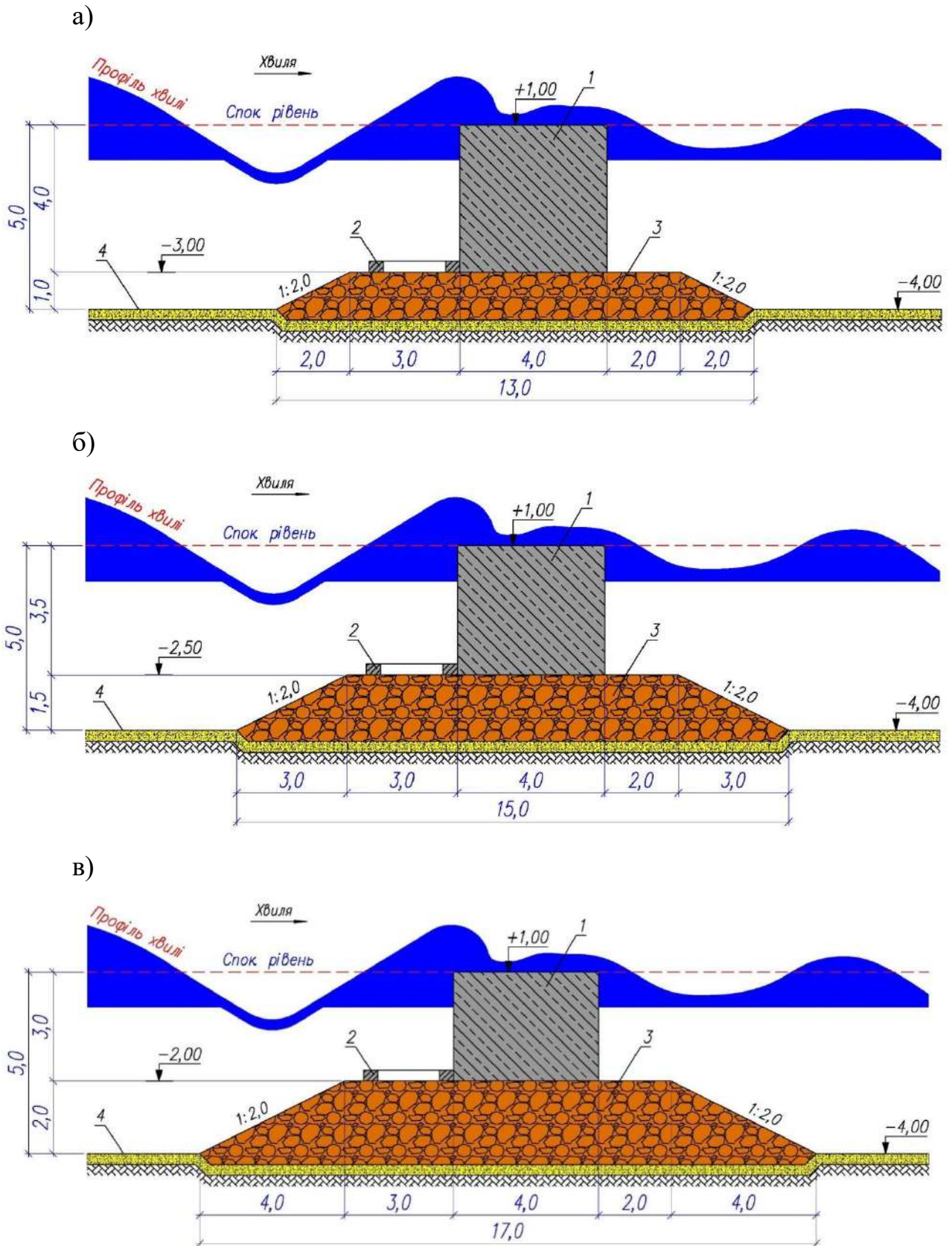


Рис. 2.6 Вид кам'яної основи при глибині розташування споруди $d = 4,5$ (м)
 1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита); 3 - кам'яна постіль;
 4 - морське дно



Такий підхід дозволив дослідити кінематичну картину трансформації параметрів хвиль перед моделями конструкцій ОГТС і на акваторії, що захищається.

2.4 Експериментальна установка

Експериментальні дослідження були проведені в гідрохвильовому лотку, лабораторії кафедри Гідротехнічного будівництва, Одеської державної академії будівництва та архітектури. Хвильовий пристрій, представляв собою комплекс спеціалізованих елементів, що дозволив реалізувати програму дослідів у повному обсязі, з метою вирішення поставлених завдань.

Експериментальна установка складається з наступних елементів.

1. Гідрохвильовий лоток з плановими розмірами - 10,0 x 1,0 м, та високою борту рівній - 1,0 м. На рис. 2.8 представлений профіль та розріз гідрохвильового лотку, який має 14 стінок зі скла з обох сторін секцій, передбачуваних для фіксації опитових досліджень на фото та відеоапаратуру.
2. Механічний хвилепродуктор, який дозволив генерувати регулярні хвилі у широкому діапазоні їх висот та періодів. Металевий щит хвилепродуктора був з'єднаний шарнірно з днищем лотку (див. рис. 2.8).
3. Хвилегаситель, призначений для гасіння хвиль з метою запобігання їх відбиття від торцевої стінки лотку в процесі проведення дослідів (див. рис. 2.8).

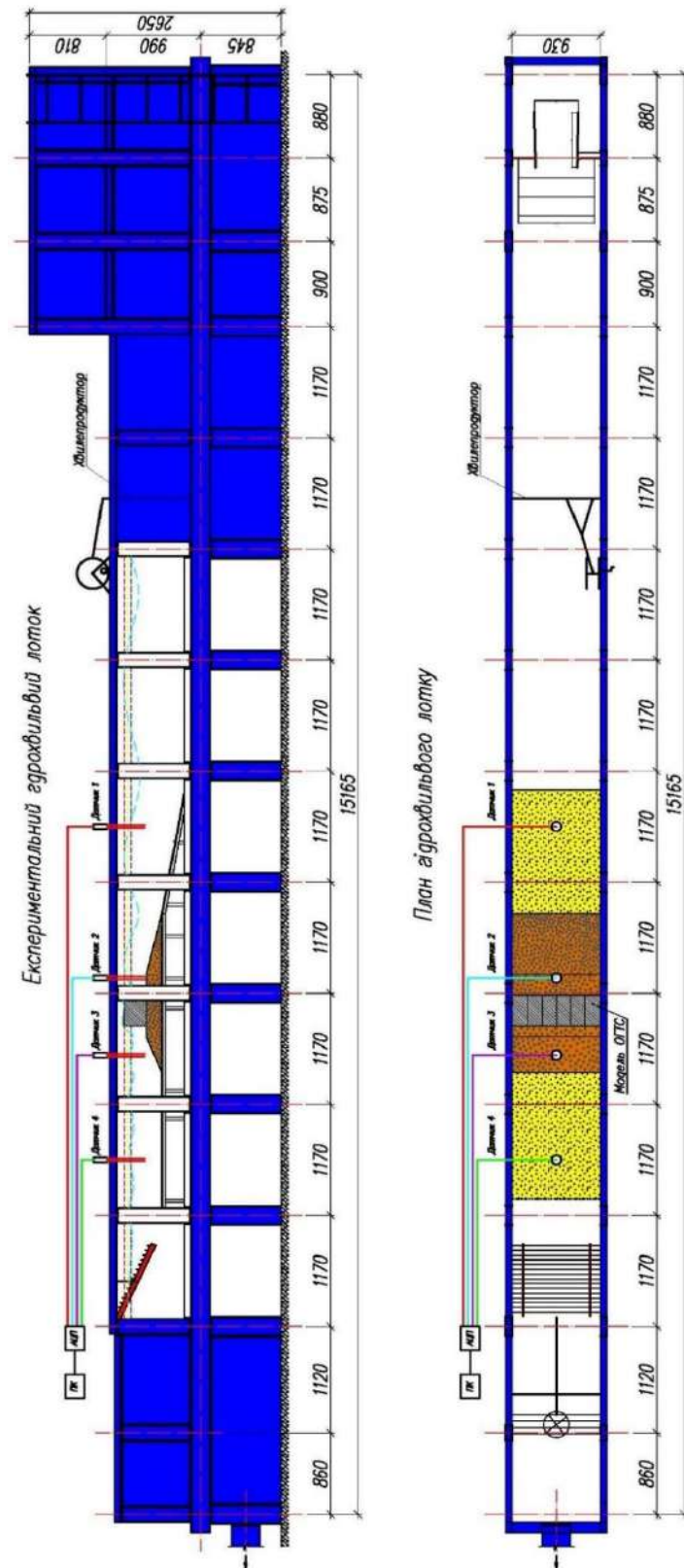


Рис 2.8 Експериментальний гідрохвильовий лоток

Представлений лоток дозволив реалізувати програму експериментальних досліджень у повному об'ємі.

2.5 Досліджені моделі ОГТС неповного вертикального профілю

З огляду на досвід будівництва та експлуатації огорожувальних споруд вертикального профілю, розміри хвильового лотка, а також споруд, зазначених раніше, були прийняті оптимальні розміри моделей, зображені на рис. 2.9. Масштаб гідродинамічного моделювання був обраний таким чином, щоб - 75 мм хвиля в гідрохвильовому лотку відповідала - 1,0 м хвилі в натурних умовах.

Моделі огорожувальних споруд були виготовлені з бетонних блоків, які були розташовані на кам'яній постілі споруди. Вага та розміри каменів постілі були підібрані відповідно до масштабу моделювання.

а)



Рис. 2.9 Модель ОГТС у хвильовому лотку

б)



Рис. 2.9 (продовження) Модель ОГТС у хвильовому лотку

При моделюванні захисту акваторії морських портів, яхт клубів, а також елементів берегової інфраструктури морських міст, були використані моделі, що відрізнялись шириною верхньої будови, а також розташуванням верхньої будови, по відношенню до спокійного рівня води. Ширина верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю змінювалася в межах від 320 мм, що в натурних умовах дорівнює 4,0 м, до величини 640 мм, що становило 8,0 м в натурі. Висота кам'яної постілі огорожувальної споруди змінювалася в межах від 75 мм, що в натурних умовах дорівнювало 1,0 м до 150 мм, що становить 2,0 м.

2.6 Вимірювальна система

Для реєстрації параметрів хвиль, була створена вимірювальна апаратура [102], яка володіє високою точністю вимірювання параметрів хвиль (висот, періодів і довжин) в експериментальних дослідженнях. Завдання створення сучасної високоточної апаратури полягала в забезпеченні можливості проведення експериментів з необхідним ступенем точності, які б дозволили отримати достовірні, високоякісні результати проведення експериментальних досліджень з точністю вимірювань - 0,1 мм.

Вимірювальні датчики, які використовувалися при проведенні експериментальних дослідженнях, включають в себе - 6 головних вузлів (блоків), схема пристрою вимірювального датчика представлена на рис. 2.10.

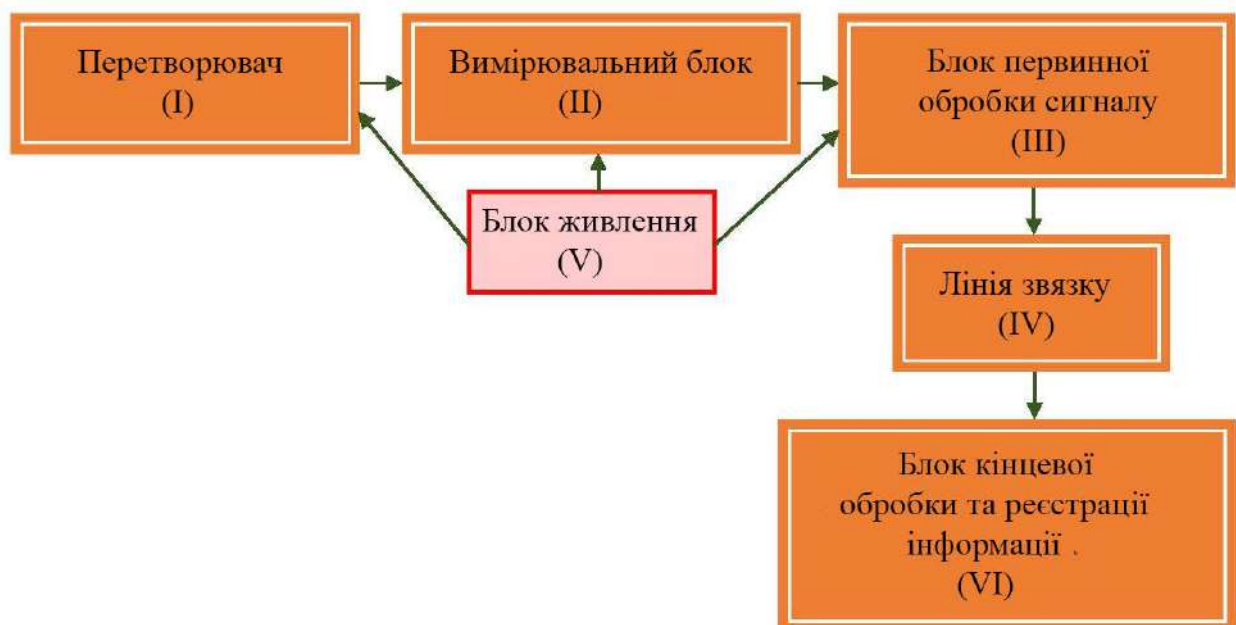


Рис 2.10. Блок-схема пристрою датчика

З метою реєстрації стану схвильованої поверхні у відкритих водоймах широко застосовуються перетворювачі рівня води в електричний сигнал струнного типу дії, які засновано на реостатичній зміні слабкого струму між двома паралельно натягнутими струнами при зміні рівня води. Даний прилад дозволяв вести запис рівня води постійно, мав низьку вартість і простоту

конструкції, проте він мав значну не лінійність показань і невисоку чутливість, пристрій даного приладу коротко описана в літературних джерелах [14,74, 91, 115, 120], а схема його влаштування представлена на рис. 2.11.

Перетворювач коливань рівня поверхні води в експериментальному басейні є датчик, ємнісного типу, що перетворював лінійну величину коливань рівня поверхні води в величину електричної ємності конденсатора. Обкладки конденсатора були виконані у вигляді частково занурених у воду паралельних циліндричних стрижнів, розташованих вертикально, а діелектриком була вода.

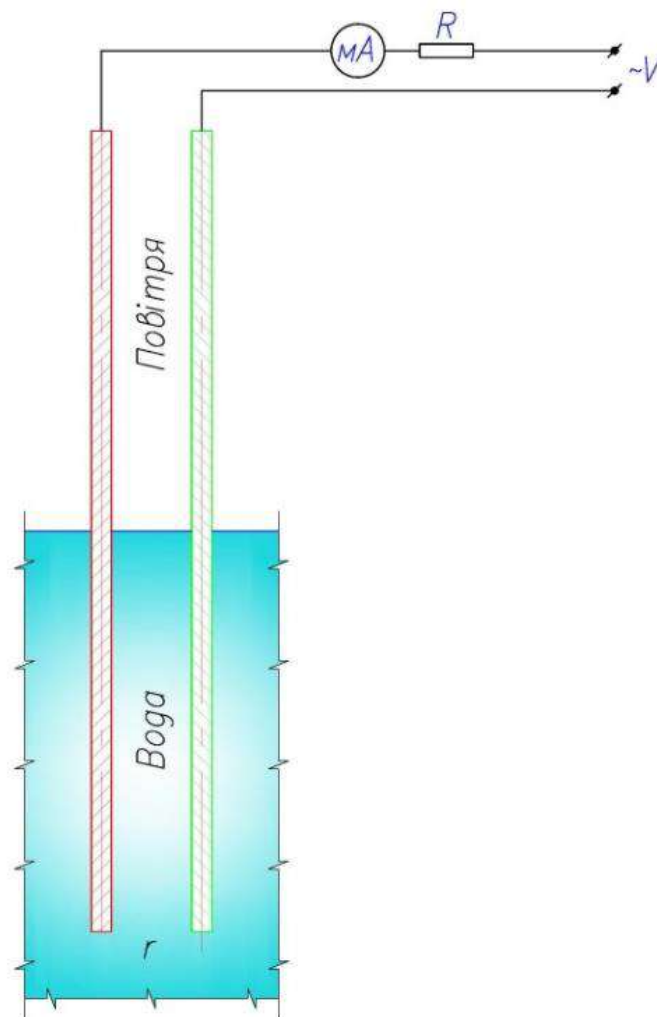


Рис. 2.11. Електрична схема структурного рівнеміра

R - еталонний резистор;

mA - міліамперметр

З метою усунення впливу похибок на точність вимірювань питомою провідністю води, стрижні були покриті рівномірним шаром електроізолятору (див. Рис. 2.12).

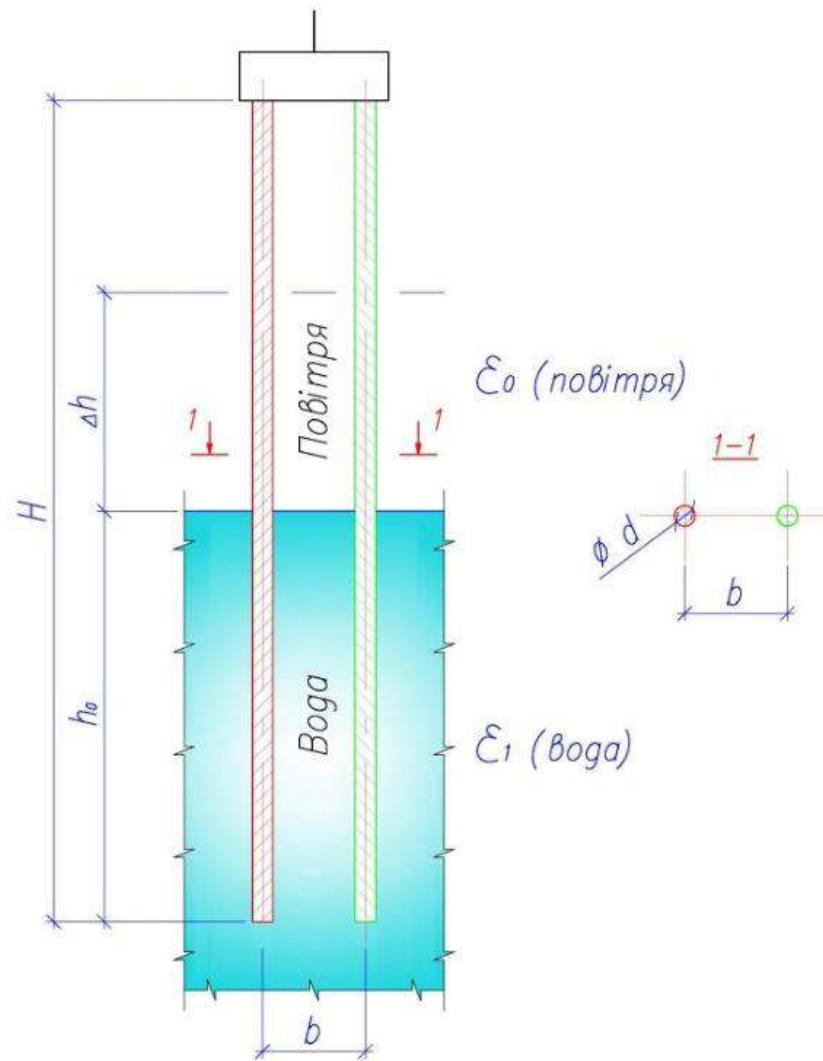


Рис. 2.12 Схема пристрою вимірювального датчика

Величина ємності конденсатора C_n (перетворювача) визначається за формулою (2.7) при $b > d$:

$$C_n = C_0 + \frac{\pi}{\ln\left(\frac{b}{d} + \sqrt{\frac{b^2}{d^2} - 1}\right)} \cdot [\varepsilon_0 \cdot H + h \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_0)] \quad (2.7)$$

де: C_0 — ємність на занурених ділянках електродів при спокійній поверхні води;

H — довжина вимірювальних електродів;

h – довжина зануреної ділянки електродів;

h_0 – довжина зануреної ділянки електродів при спокійній поверхні води;

Δh – вимірювання довжини зануреної ділянки електродів при хвилюванні;

ε_0 – діелектрична проникність повітря;

ε_1 – діелектрична проникність води;

d – діаметр електроду;

b – відстань між електродами.

Розглянувши формули, (2.7) можна виділити три частки: перші дві залежать від конструкції перетворювача і є постійними величинами для даного екземпляра, а третя - змінна величина, яка лінійно залежить від довжини зануреної ділянки електродів.

При зміні довжини h занурення ділянки на малу величину Δh формула (2.7) набуває вигляду (2.8):

$$C_n + \Delta C_n = C_0 + \frac{\pi}{\ln\left(\frac{b}{d} + \sqrt{\frac{b^2}{d^2} - 1}\right)} \cdot [\varepsilon_0 \cdot H + (h_0 + \Delta h) \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_0)] \quad (2.8)$$

З чого випливає, що приріст ємності ΔC_n перетворювача лінійно залежить від зміни довжини зануреної ділянки Δh .

Вимірювальний блок проводить вимірювання ємності C_n створеного конденсатору методом визначення часу T його циклічного перезарядження через вимірювальний резистор R між фіксованими напругами $+V_\phi$ і $-V_\phi$ в прицізонному мультівібраторі в періодичному циклі. Для використання ділянки з лінійною залежністю зарядного струму від прикладеної напруги V_ϕ обрано рівним - 1,20 (В), що менше стандартної енергії Гіббса утворення води, яка дорівнює - 1,23 (В).

Період T коливань генератора визначається відповідно до формули (2.9):

$$T = R_{np} \cdot R \cdot C_n \quad (2.9)$$

де: T – період (секунд);

R – опір резистора (ом);

C_n – ємність перетворювача (фарад);

R_{np} – постійний опір перетворювача (ом).

Представивши C_n як суму початкової ємності перетворювача C_{n0} з зануреною ділянкою h_0 і зміною занурення Δh , внаслідок хвилювання можна отримати формулу (2.10):

$$T_n = T + \Delta T = R_{np} \cdot R \cdot (C_{n0} + \Delta C_n) \quad (2.10)$$

де: ΔT – зміна тривалості імпульсу вимірювального генератора від зміни Δh глибини занурення електродів при хвилюванні;

C_{n0} – ємність перетворювача при спокійній поверхні води;

ΔC_n – зміна ємності перетворювача внаслідок хвилювання.

На виході вимірювального блоку отримуємо сигнал у вигляді «П» образних імпульсів, період проходження яких T_n в кожен конкретний момент часу пропорційний довжині занурення електродів.

Внаслідок порівняно малої місткості конденсатора C_n перетворювача (десятка пФ) час T_n вимірюється мікросекундами.

На рис. 2.13 і 2.14 зображені тимчасові діаграми напруги на вимірювальних електродах і вихідного сигналу на виході вимірювального блоку. На рисунку показаний сигнал при спокійній воді, а також сигнал при підвищенні рівня на хвилі.

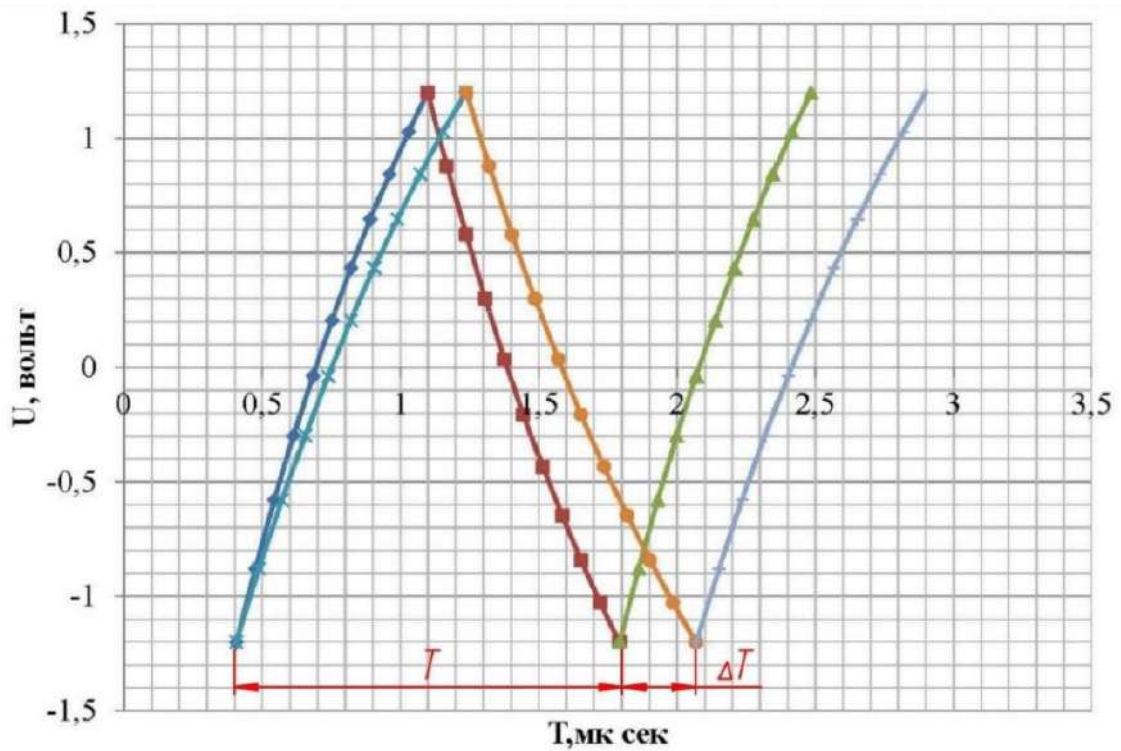


Рис. 2.13 Тимчасова діаграма напруги на вимірювальних електродах перетворювача

Так як період T хвилювання в дослідному лотку вимірюється секундами, а необхідну кількість точок N для визначення параметрів хвилі не перевищує декількох десятків введений блок первинної обробки сигналу, в якому відбувається підсумовування періодів T_u проходження K імпульсів, де: K - постійне заздалегідь задане ціле число, яке визначається заданим необхідною кількістю N точок визначення конфігурацією досліджуваної хвилі і її періодом τ .

$$K \leq \frac{\tau}{T_u \cdot N} \quad (2.11)$$

Число K може мати величину до десятків тисяч.

Сигнал на виході цього блоку - імпульси з періодом:

$$T_{вих} = \sum(T_{u_1} + \Delta T_1 + \dots + T_{u_n} + \Delta T_N) \quad (2.12)$$

Чи

$$T_{вих} = \sum(T_{u_1} + T_{u_1} + \dots + T_{u_N}) + \sum(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_N) \quad (2.13)$$

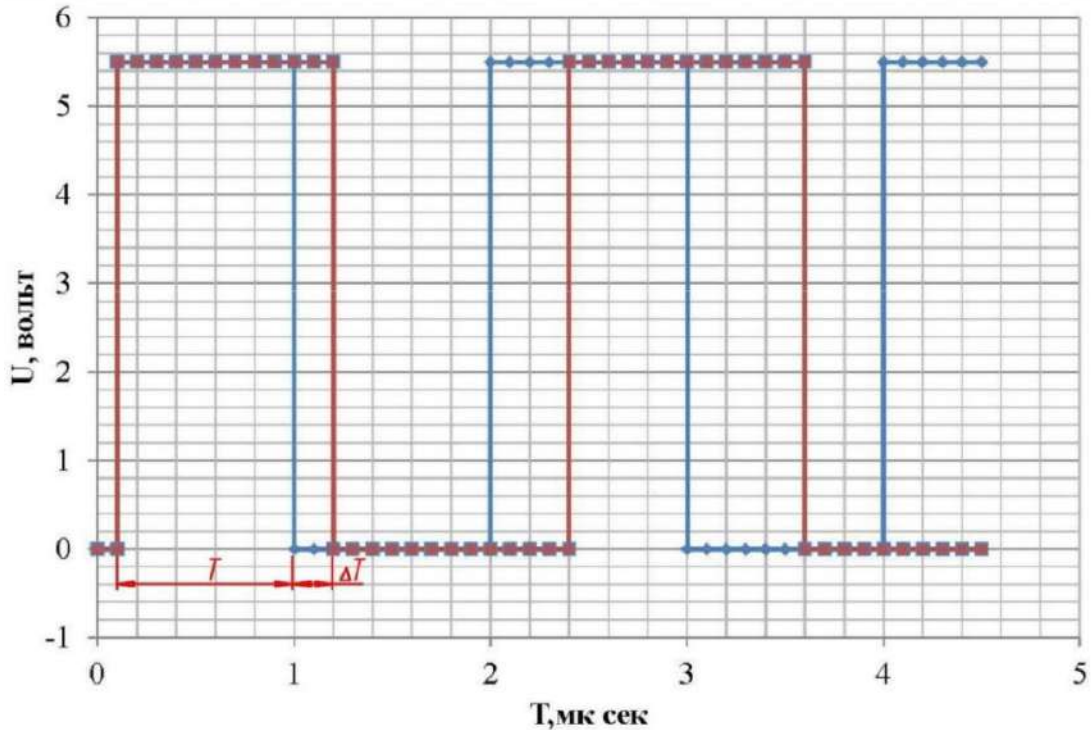


Рис. 2.14 Сигнал на виході з вимірювального блоку

Позначивши

$$T_{вих} = \sum(T_{u_1} + T_{u_1} + \dots + T_{u_N}) \quad (2.14)$$

$$T_{вих} = \sum(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_N) \quad (2.15)$$

Відповідно, з чим позиційно - імпульсно модульований, де $\Delta T_{вих}$ є моделюючим сигналом лінійно пропорційною зміні рівня поверхні води в лотку щодо рівня спокійної поверхні $T_{вих0}$ надходить в лінію зв'язку, а потім на вхід комп'ютера ,для аналізу використовується програма, крім чисельних значень, веде також графічні зображення досліджуваного процесу.

2.7 Методика обробки результатів експериментів

Завдання проведених експериментальних досліджень полягали у визначенні параметрів хвиль перед конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю на відстані трьох довжин хвиль від хвилепродуктору (Датчик 1), вимірювання параметрів хвиль, які формуються над кам'яною постіллю, безпосередньо перед верхньою будовою ОГТС (Датчик 2), відразу за вертикальною стінкою споруди (Датчик 3), а також безпосередньо на самій акваторії, що захищається (Датчик 4). Розташування датчиків в гідрохвильовому лотку представлено на рис. 2.15.

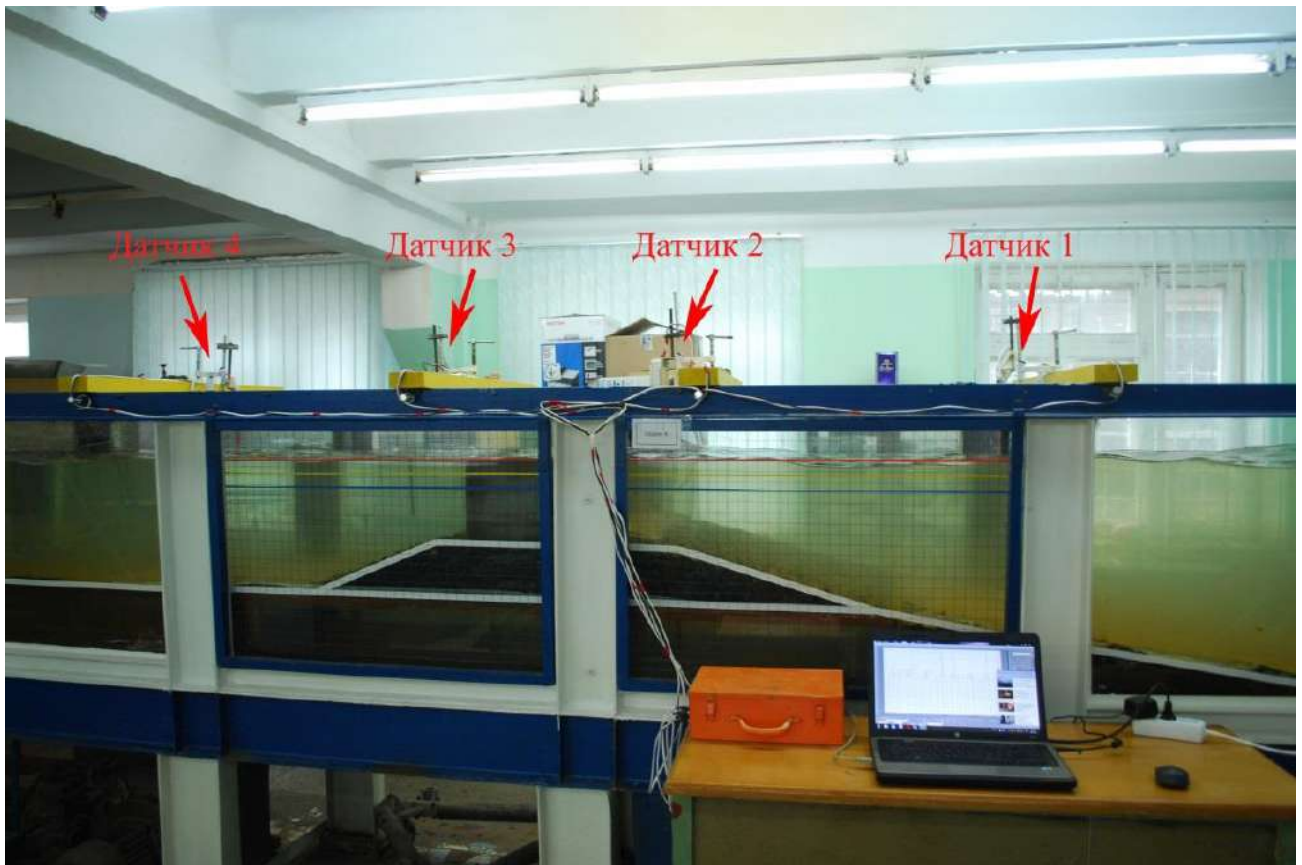


Рис. 2.15 Розташування датчиків в хвильовому лотку

Запис досліджуваних параметрів хвиль здійснювався з частотою 1 (кГц). Датчики були підключені до АЦП Е-14-140М (1Т189948) і до подальшого комп'ютера, в якому за допомогою програми LGraph 2 (версія 2.34.60), аналоговий сигнал перетворювався в цифровий. Схема пристрою вимірювальної системи представлена на рис. 2.16.

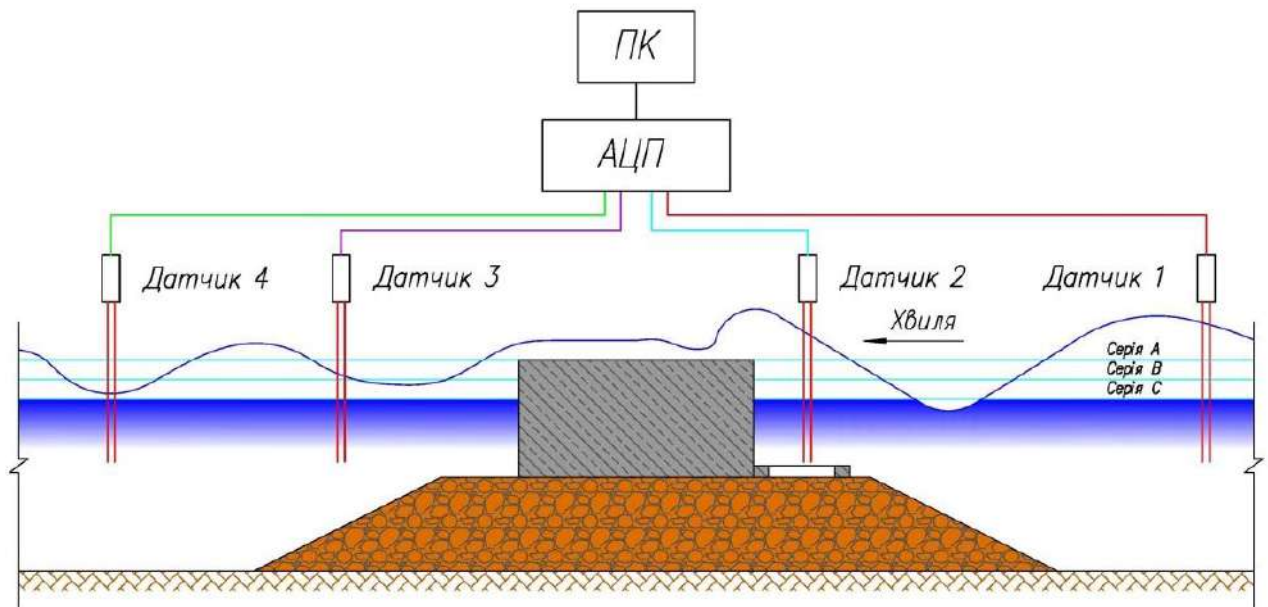


Рис. 2.16 Схема пристрою вимірювальної системи

Перед початком і після закінчення проведення кожної серії експериментів, проводилось градуювання вимірювальних датчиків з метою отримання достовірних результатів досліджень, пов'язаних з визначенням висот хвиль у лабораторних умовах. Градуювання здійснювалося послідовно, через кожні 10 (мм), в діапазоні від +100 до -100 (мм). Результати проведеного градуювання чотирьох окремих датчиків, які були проведені перед початком серії експериментальних досліджень і по їх закінченню, представлені у таблиці 2.1. У проведених результатах поставлення отриманих градуювальних залежностей за чотирма окремим датчикам не відрізнялись більш ніж на 2,5%, що підтвердили високу точність і достовірність експериментальних датчиків.

Таблиця 2.1.

Результати градування чотирьох датчиків

Відмітка, мм	Датчик №1	Датчик №2	Датчик №3	Датчик №4
100,00	0,103	0,095	0,074	0,075
90,00	0,100	0,092	0,072	0,073
80,00	0,097	0,089	0,070	0,071
70,00	0,094	0,086	0,068	0,069
60,00	0,091	0,083	0,066	0,067
50,00	0,088	0,080	0,064	0,065
40,00	0,085	0,077	0,062	0,063
30,00	0,082	0,074	0,060	0,061
20,00	0,079	0,071	0,058	0,059
10,00	0,076	0,068	0,056	0,057
0,00	0,073	0,065	0,054	0,055
-10,00	0,070	0,062	0,052	0,053
-20,00	0,067	0,059	0,050	0,051
-30,00	0,064	0,056	0,048	0,049
-40,00	0,061	0,053	0,046	0,047
-50,00	0,058	0,050	0,044	0,045
-60,00	0,055	0,047	0,042	0,043
-70,00	0,052	0,044	0,040	0,041
-80,00	0,049	0,041	0,038	0,039
-90,00	0,046	0,038	0,036	0,037
-100,00	0,043	0,035	0,034	0,035

Відповідно до результатів, отриманих градувальних даних чотирьох датчиків, представлених в таблиці 2.1, були побудовані градувальні залежності рис. 2.17.

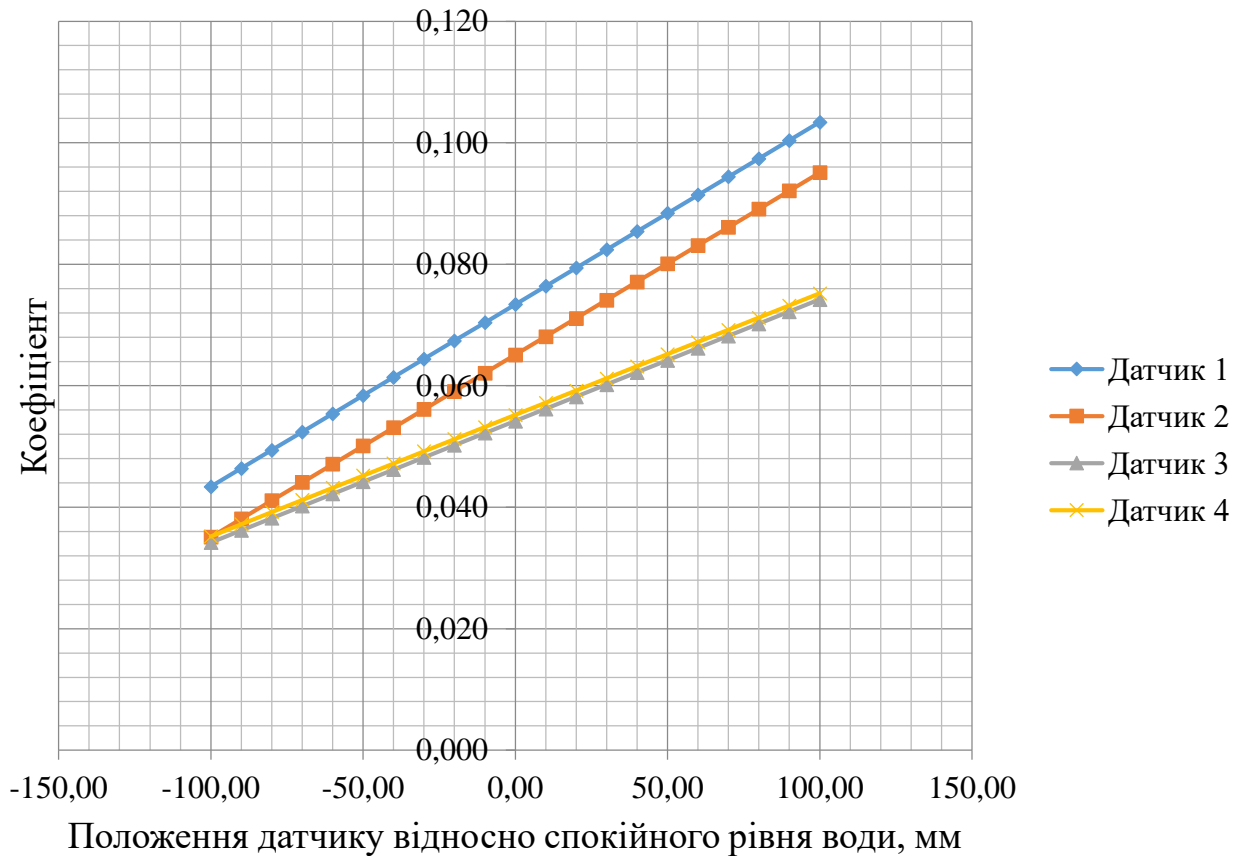


Рис. 2.17 Градувальні залежності роботи датчиків

Представлені залежності були використані з метою обробки результатів експериментальних досліджень, пов'язаних з визначенням параметрів гасіння хвиль конструкціями огорожувальних споруд неповного вертикального профілю. Для досягнення поставлених завдань була написана комп'ютерна програма на мові програмування python 3 в програмному комплексі Anaconda Jupyter Notebook, яка дозволила розшифрувати текстові файли експериментів з АЦП з графічною побудовою кривих хвильових залежностей чотирьох експериментальних датчиків.

2.8 Точність вимірювань

Оцінка похибок експериментальних вимірювань була отримана шляхом обробки багаторазово отриманих результатів проведених експериментальних досліджень при однакових умовах. Кожен дослід повторювався не менше трьох разів. Слід зазначити, що повторюваність результатів дослідів була досить стабільною, так середня квадратична похибка становила менше 5%.

З метою забезпечення повторюваності результатів вимірів на початку досліду, щит хвильопродуктора встановлювався в одне і те саме положення. Для виключення впливу відбитих хвиль від конструкції ОГТС неповного вертикального профілю, зміна коливання вільної поверхні води здійснювалася для перших 3 - 4 хвиль. При аналізі результатів вимірювань, враховувалися хвилі, починаючи з 2-ї, коли період хвиль, а також їх форма встановлювалася.

2.9 Планування експериментальних досліджень

Наявність багатьох факторів досліджуваної конструкції огорожувальної споруди неповного вертикального профілю визначило кількість лабораторних досліджень, які необхідно було провести на фізичних моделях. Наукові дослідження планували провести на моделях з цільовим визначенням величини хвиль, які пройшли на акваторію, що захищається при переливі їх через верхню будову конструкції ОГТС. Математична теорія планування експериментів (МТПЕ) дозволила скоротити кількість фізичних експериментів з отриманням найбільш повної інформаційної бази експериментів. МТПЕ, за останнє п'ятдесятиріччя, довела ефективність своїх рекомендацій практично у всіх напрямках науки і техніки [15, 16, 64]. У даному розділі представлені залежності від експериментально-статистичних моделей.

Синтез експериментів з застосуванням математичної теорії планування, дозволив обґрунтувати природу параметрів гасіння хвиль, у разі зміни

розташування верхньої будови ОГТС відносно спокійного рівня води, а також ширини верхньої будови.

У рішеннях поставлених задач оптимізації, управління та аналізу складних систем, фізичних моделей ОГТС неповного вертикального профілю, які розташовані на високій кам'яній постілі, системний підхід, представлений науково-методичним принципом наукового дослідження.

2.9.1 Планування експериментальних досліджень з урахуванням різноманіття досліджуваних факторів

Відповідно до математичної теорії планування експериментів, інтуїтивний підхід до організації (планування) експериментів був замінений науково обґрунтованою програмою дослідження. У представленому пункті розділу, суб'єктивна оцінка поступилася місцем досить надійним, обґрунтованим, статистичним оцінкам. Метою планування експерименту була- побудова математичної моделі з подальшою перевіркою її на адекватність.

На наступному етапі планування експериментів була перевірена значимість коефіцієнтів статистичних моделей. У випадках отримання незначних величин коефіцієнтів, які були менш, ніж величини похибки експерименту, це означало, що такими коефіцієнтами можливо знехтувати. Фізичні моделі складних об'єктів можуть включати всі найбільш істотні фактори, незалежно від їх фізичної природи. Експериментально-статистичні моделі були використані не тільки для управління властивостями розрахункових схем ОГТС неповного вертикального профілю, але і для виявлення та оцінки ряду зв'язків в об'єкті, які могли не аналізуватися, як малозначущі, або просто не були помічені.

Отримана в результатах проведення, експериментально-статистичного аналізу інформація, дозволила коригувати і уточнювати сформовані уявлення по досліджуваному явищу. Застосування математичного моделювання сприяло різкому скороченню часу і трудомісткості запланованих експериментів.

Представлені дослідження, дозволили проводити експерименти на якісно новому науковому рівні.

Комп'ютерні технології досліджень при аналізі результатів експериментально-статистичного моделювання дозволили підвищити надійність і достовірність обробки результатів проведених експериментів. В межах комп'ютерних технологій ЕС-моделі і фізичні експерименти, які були проведені за ними, забезпечували економію ресурсів, за рахунок збільшення вірогідності результатів, підвищення їх якості, а також надійності. Необхідність застосування МТПЕ була визначена складністю поставленого завдання дослідження, кількістю планованих фізичних експериментів, а також взаємним впливом аналізованих факторів. Ефективність фізичного моделювання в значній мірі залежить від постановок задач досліджень, від правильності обраних методів, а також від оптимізації, глибини фізичної інтерпретації результатів.

У зв'язку зі складністю конструкції ОГТС неповного вертикального профілю, розташованого на високій кам'яній постілі, план експериментальних досліджень був розбитий на дві окремих серії. Перша серія дослідів полягала у визначенні величини гасіння хвиль верхньою будовою огорожувальної споруди неповного вертикального профілю, а друга серія - у визначенні впливу кам'яної постілі на параметри трансформації хвиль при підході до верхньої будови.

2.9.2 Обґрунтування кількості дослідів

З метою формування інформаційної бази експериментально-статистичної моделі, по кожній з проведених двох серій експериментів, було виконано по три фізичні моделі.

Принципи аналізу складних систем з обчисленням основних елементів і взаємозв'язків між ними [15, 16, 64] було використано не тільки для досліджуваного об'єкта, а також і для самого процесу наукового дослідження. Проведений аналіз дозволяв забезпечити чітку логіку проведеного дослідження,

виділити, як евристичні (що визначають), так і формалізуючі фактори досліджень.

У першій серії дослідів, при визначенні впливу верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю (вплив хвиль, що руйнуються) на параметри гасіння при переливі через верхню будову, не враховувався вплив кам'яної постілі. У даній постановці досліджуваного питання розглядалися лише ті фактори, що враховують вплив тільки самої огорожувальної споруди неповного вертикального профілю, які представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Фактори, що досліджувалися і рівні їх варіювання (перша серія)

Код	Фактори, що досліджуються	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X ₁	Висота вихідної хвилі h_i (м)	0,6	1,8	3,0	1,2
X ₂	Піднесення верхньої будови споруди відносно спокійного рівня води ΔH (м)	0	0,5	1,0	0,5
X ₃	Ширина верхньої будови огорожувальної споруди B (м)	4,0	6,0	8,0	2,0

У другій серії запланованих експериментів, при впливі на споруду стоячих хвиль, необхідно було насамперед врахувати вплив висоти кам'яної постілі на параметри трансформації хвиль при підході до верхньої будови огорожувальної споруди. Далі необхідно було провести розрахунки з визначення величини гасіння хвиль верхньою будовою ОГТС неповного вертикального профілю для того, щоб визначити величину хвиль, які пройдуть

на акваторію, що захищається. У другій серії запланованих експериментів враховувалися фактори, представлені на табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Фактори, що досліджувалися і рівні їх варіювання (другої серія)

Код	Фактори, що досліджуються	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X ₁	Висота вихідної хвилі h_i (м)	0,6	1,8	3,0	1,2
X ₂	Висота кам'яної постілі споруди d_p (м)	1,0	1,5	2,0	0,5
X ₃	Глибина води, на якій розташовується огорожувальне спорудження d (м)	4,0	4,5	5,0	0,5

Відповідно до відомого набору синтезованих D-оптимальних планів з різним числом точок, представлених різними авторами [64]. Вибір плану експериментів для вирішення описаних задач диктувався умовами наукових досліджень і вимогами до результатів їх рішень [15, 16].

Оскільки досліджувані фактори можуть впливати нелінійно на функцію виходу, яка підпорядковується нормальному закону розподілу, то їх доцільно апроксимувати поліномом другого ступеня, отриманим за допомогою методу найменших квадратів. У зв'язку з цим, заплановані серії експериментів виконувалися з трехфакторним трирівневим D-оптимальним планом Боксу-Бенкіна, який забезпечує однакову точність прогнозування вихідного параметра в області, описаної радіусом, рівним 1 (починаючи від нульової точки). У проведених дослідженнях були використані плани двох факторів, в яких варіювалися одночасно три незалежні досліджувані величини (змінні).

2.9.3 Характеристики досліджуваних моделей

Експериментальні дослідження відповідно до плану, проводилися в гідро хвильовій лабораторії кафедри «Гідротехнічного будівництва» Одеської державної академії будівництва та архітектури. Характеристики досліджуваних моделей першої серії дослідів представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Матриця планування першої серії експериментальних досліджень

№ з/п	Кодовані значення факторів			Натуральні значення факторів		
	X_1	X_2	X_3	h_i (м)	ΔH (м)	B (м)
1	-1	-1	-1	0,6	0	4,0
2	-1	-1	0	0,6	0	6,0
3	-1	-1	+1	0,6	0	8,0
4	-1	0	-1	0,6	0,5	4,0
5	-1	0	0	0,6	0,5	6,0
6	-1	0	+1	0,6	0,5	8,0
7	-1	+1	-1	0,6	1,0	4,0
8	-1	+1	0	0,6	1,0	6,0
9	-1	+1	+1	0,6	1,0	8,0
10	0	-1	-1	1,8	0	4,0
11	0	-1	0	1,8	0	6,0
12	0	-1	+1	1,8	0	8,0
13	0	0	-1	1,8	0,5	4,0
14	0	0	0	1,8	0,5	6,0
15	0	0	+1	1,8	0,5	8,0
16	0	+1	-1	1,8	1,0	4,0
17	0	+1	0	1,8	1,0	6,0
18	0	+1	+1	1,8	1,0	8,0
19	+1	-1	-1	3,0	0	4,0
20	+1	-1	0	3,0	0	6,0

Продовження табл. 2.4

21	+1	-1	+1	3,0	0	8,0
22	+1	0	-1	3,0	0,5	4,0
23	+1	0	0	3,0	0,5	6,0
24	+1	0	+1	3,0	0,5	8,0
25	+1	+1	-1	3,0	1,0	4,0
26	+1	+1	0	3,0	1,0	6,0
27	+1	+1	+1	3,0	1,0	8,0

У табл. 2.5. представлені характеристики досліджуваних фізичних моделей другої серії плану досліджень. У другій серії експериментів враховувалися лише фактори впливу кам'яної основи, розташованої під верхньою будовою огорожувальної споруди неповного вертикального профілю.

Таблиця 2.5

Матриця планування другої серії експериментальних досліджень

№ з/п	Кодовані значення факторів			Натуральні значення факторів		
	X ₁	X ₂	X ₃	h _i (м)	d _p (м)	d (м)
1	-1	-1	-1	0,6	1,0	4,0
2	-1	-1	0	0,6	1,0	4,5
3	-1	-1	+1	0,6	1,0	5,0
4	-1	0	-1	0,6	1,5	4,0
5	-1	0	0	0,6	1,5	4,5
6	-1	0	+1	0,6	1,5	5,0
7	-1	+1	-1	0,6	2,0	4,0
8	-1	+1	0	0,6	2,0	4,5
9	-1	+1	+1	0,6	2,0	5,0
10	0	-1	-1	1,8	1,0	4,0
11	0	-1	0	1,8	1,0	4,5
12	0	-1	+1	1,8	1,0	5,0

Продовження табл. 2.5

13	0	0	-1	1,8	1,5	4,0
14	0	0	0	1,8	1,5	4,5
15	0	0	+1	1,8	1,5	5,0
16	0	+1	-1	1,8	2,0	4,0
17	0	+1	0	1,8	2,0	4,5
18	0	+1	+1	1,8	2,0	5,0
19	+1	-1	-1	3,0	1,0	4,0
20	+1	-1	0	3,0	1,0	4,5
21	+1	-1	+1	3,0	1,0	5,0
22	+1	0	-1	3,0	1,5	4,0
23	+1	0	0	3,0	1,5	4,5
24	+1	0	+1	3,0	1,5	5,0
25	+1	+1	-1	3,0	2,0	4,0
26	+1	+1	0	3,0	2,0	4,5
27	+1	+1	+1	3,0	2,0	5,0

За результатами поданих планів експериментів для двох серій проведених дослідів, були побудовані фізичні моделі конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, які були досліджені при хвильовому впливі розрахункових параметрів.

З метою підтвердження результатів проведеного фізичного моделювання була розроблена чисельна модель, призначена для визначення величини гасіння хвиль конструкцією гідротехнічної огорожувальної споруди неповного вертикального профілю.

Чисельне моделювання було запропоновано вирішувати при використанні математичної моделі, яка була створена у програмному комплексі Ansys Fluent. Даний комплекс в межах вирішення поставленого питання дозволив реалізувати широкий спектр досліджень, пов'язаних з прогнозуванням поведінки хвильових

процесів при вирішенні питань гасіння висот хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

Розрахунковий комплекс Ansys Fluent, заснований на використанні методу скінчених об'ємів. При застосуванні якого загальний об'єм моделі ділиться на скінчену кількість контрольних об'ємів в кожному з яких вирішуються рівняння збереження маси, імпульсу чи енергії.

2.9.4 Застосування узагальнюючих полів властивостей показників для аналізу результатів моделювання

З метою визначення параметрів гасіння хвиль при переливі їх через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю, розташованих на високій кам'яній постілі, які найкращим чином забезпечували б зменшення параметрів хвиль при проходженні на акваторію, що захищається в методичному плані використовувалося поняття «поле властивості». Поле $Y(x)$ є сукупністю значень Y для всіх можливих значень $x = (x_1, x_2, x_3)$ в областях Ω_x . Застосування для аналізу результатів чисельного експерименту за ЕС-моделями поняття «поле властивостей» дозволяє з'єднати рівень якості з визначальними його факторами. Із застосуванням, так званих узагальнюючих полів показників, за якими зручно проводити графічну інтерпретацію і аналіз результатів ЕС моделювання.

Багатокомпонентна поліноміальна модель була безперервним описом полів властивості експериментально-статистичних моделей. З метою аналізу змін, які доцільно використовувати і моделювати ті чи інші числові характеристики полів, які і названі узагальнюючими показниками полів властивостей G_y (generalization - узагальнення). Числові характеристики полів, які використовуються у вигляді узагальнюючих полів показників G_y , були замінені обмеженим набором чисел поверхонь полів.

Раціональність застосування узагальнюючих показників обумовлювалася також тим, що завдання аналізу і пошуку оптимальних параметрів захисних споруд неповного вертикального профілю відрізняється багатомірністю. Це означало, що система відрізнялася впливом значної кількості як самих чинників

і аналізованих впливів, так і числом, яке підлягало аналізу взаємозв'язків між ними.

Розподіл рівня якості в просторі факторів може розглядатися як поле властивості в області Ω_x . Область Ω_x є в даному випадку багатовимірним кубом нормалізованих факторів $x_1 - x_3$.

У цьому дослідженні були використані наступні узагальнюючі показники: Екстремальні значення властивості в межах досліджуваного поля, максимальний Y_{\max} і мінімальний Y_{\min} рівні властивості. Базові узагальнюючі показники Y_{\max} і Y_{\min} є непрямою характеристикою процесу структуроутворення.

Узагальнюючі показники $Y_{\max(\min)}$ були прийняті за базові. За ними розраховані деякі узагальнюючі показники, корисні для порівняльного кількісного і відносного якісного аналізу ступеня впливу різних чинників на досліджувані властивості. Крім базових узагальнюючих показників першого рівня, проаналізовані похідні від них показники більш високого рівня. Зокрема, абсолютний $\Delta Y_{\min}^{\max} = Y_{\max} - Y_{\min}$ і відносний $\delta Y_{\min}^{\max} = Y_{\max} / Y_{\min}$.

Абсолютний і відносний перепади властивостей характеризують «чутливість» властивості до максимально можливого в межах вивченого факторного простору $|x_i| \leq 1$ зміни факторів. Крім того, абсолютні і відносні перепади дозволяли порівнювати між собою ступінь зміни різних по розмірності властивостей і параметрів структури в однаковому факторному просторі.

Аналіз ізоповерхонь узагальнюючих показників дозволив в конкретних завданнях формулювати висновки про доцільність розрахункових схем, приймати рішення при їх формуваннях. Узагальнюючі показники виду $\Delta\{Y_{\max}^{\min}\}$, $\delta\{Y_{\max}^{\min}\}$ необхідні були для раціонального вибору оптимальних геометричних розмірів ОГТС неповного вертикального профілю, а також з метою створення практичних інженерних методів, що дозволяють визначати величину гасіння хвиль, що пройшли на акваторію при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю.

Висновки до розділу 2

1. Створені датчики нового типу (рівнеміри), призначені для визначення величини хвиль при проведенні експериментальних досліджень в гідрохвильовому лотку при моделюванні ОГТС.
2. До перспектив подальшого застосування описаної в розділі вимірювальної апаратури, належить: застосування неї при проведенні подальших дослідів, з метою отримання більш точних і достовірних результатів, в експериментальних дослідженнях пов'язаних з вивченням властивостей гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.
3. Відповідно до аналізу моделі, що досліджувалась були встановлені і сформульовані основні завдання досліджень, які полягали у визначенні величини гасіння хвиль, які пройдуть на акваторію, що захищається, при переливі через верхню будову конструкції ОГТС неповного вертикального профілю.
4. У відповідності до проведеного аналізу були встановлені чинники конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, що впливають на величину гасіння хвиль.
5. У зв'язку з принциповими відмінностями впливу стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються на конструкції ОГТС вертикального профілю, було прийнято рішення про розділення поставлених завдань на дві окремі серії.
6. У першій серії запланованих експериментів при впливі на конструкцію ОГТС вертикального типу хвиль, що руйнуються, не враховувався вплив кам'яної постілі, а враховувалися значення висот вихідних хвиль h_i , які змінювалися в межах від 0,6 до 3,0 м; величина піднесення верхньої будови споруди відносно спокійного рівня води ΔH в межах від 0 до 1,0 м; а також ширини гребня конструкції споруди B в межах від 4,0 до 8,0 м.

7. У другій серії досліджень, при впливі на ОГТС вертикального типу стоячих хвиль, враховувався вплив кам'яної постілі. З цією метою враховувалися лише фактори кам'яної постілі конструкції споруди: висоти вихідних хвиль h_i , яка змінювалася в межах від 0,6 до 3,0 м; висота кам'яної постілі d_p , змінна в межах від 1,0 до 2,0 м; глибина води, на якій була розташована конструкція ОГТС d , змінна в межах від 4,0 до 5,0 м.
8. Відповідно до результатів даного розділу, були створені фізичні моделі конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, які були розташовані на кам'яній постілі різних висот. Споруди були піддавалися впливу різних висот хвиль, з метою визначення величини гасіння.

РОЗДІЛ 3

ВПЛИВ ФАКТОРІВ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ НА ПАРАМЕТРИ ГАСІННЯ ХВИЛЬ

3.1 Експериментальні дослідження процесу гасіння хвиль конструкціями гідротехнічних споруд неповного вертикального профілю

Згідно з планами досліджень були проведені фізичні експерименти на моделях огороджувальних споруд неповного вертикального профілю за двома розрахунковими сценаріями. Прогресивні гравітаційні хвилі при набіганні на вертикальну перешкоду відображуються від неї. У досліджах, коли огороджувальна споруда мала неповну висоту, від неї відбувалося часткове відображення хвиль з подальшим проходження на акваторію, що захищається. Відображені від огороджувальної споруди хвилі взаємодіяли з подальшими хвилями, що набігали, у результаті чого, перед конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю, утворювалися складні хвильові рухи у вигляді інтерферованих хвиль. Однією із головних задач при проектуванні ОГТС неповного вертикального профілю є визначення їх хвилеруйнуючих ефектів, ці питання і вирішувались в даній дисертаційній роботі.

Результати експериментів, які були проведені на моделях ОГТС неповного вертикального профілю, розташованих на високій кам'яній постілі у відповідності до плану досліджень, представлені у додатку Б. Зміна характеру хвилевої обстановки у моделі ОГТС, а також розташування верхньої будови відносно спокійного рівня води і ширини верхньої будови ОГТС, надало можливість встановити закономірність гасіння висот хвиль. Зі збільшенням величини піднесення верхньої будови, величина гасіння хвиль значно зростала.

У всіх досліджуваних випадках відбувалося збільшення амплітуди хвиль у верхній будові огороджувальної споруди в порівнянні з висотою вихідних хвиль. Дане збільшення було тим більше, чим вище було розташування відмітка верхньої будови моделі ОГТС по відношенню до спокійного рівня води.

Характер зміни хвильових коливань рівня води перед верхньою будовою огорожувальної споруди для представлених розрахункових випадків, зображені в (Додатку Б). Дані табл. Б1 - Б9 показали, що основний вплив на величину висоти трансформованих хвиль у споруди і погашених на самій акваторії, що захищається, насамперед залежать від висоти вихідної хвилі. Експериментальні лабораторні дослідження були проведені при крутизні хвиль $h/\lambda = (1/30) \div (1/10)$.

На представлених графіках рис. 3.1 показані виміряні висоти хвиль за чотирма окремими експериментальними датчиками, які були розташовані у гідрохвильовому лотку. Отримані результати були використані для оцінки величини трансформації вихідних хвиль на високій кам'яній постілі різних висот, а також визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю різних розмірів. Схема розташування датчиків у експериментальному лотку представлена на рис. 2.15 – 2.16.

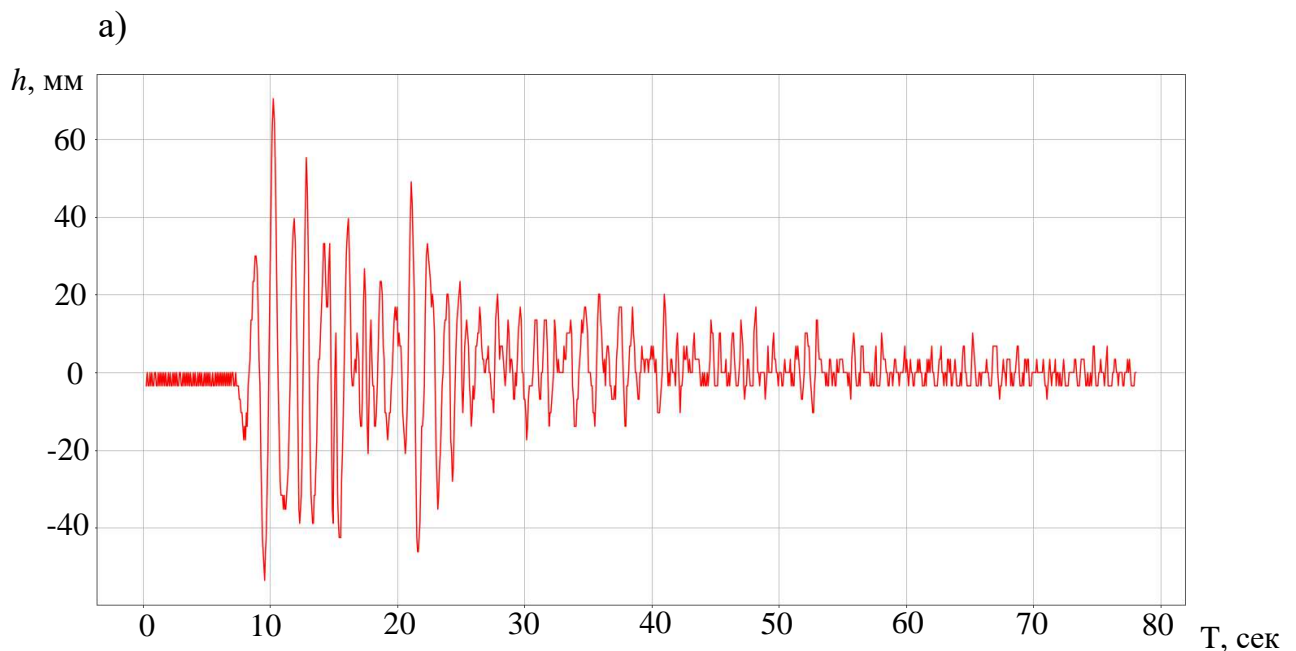
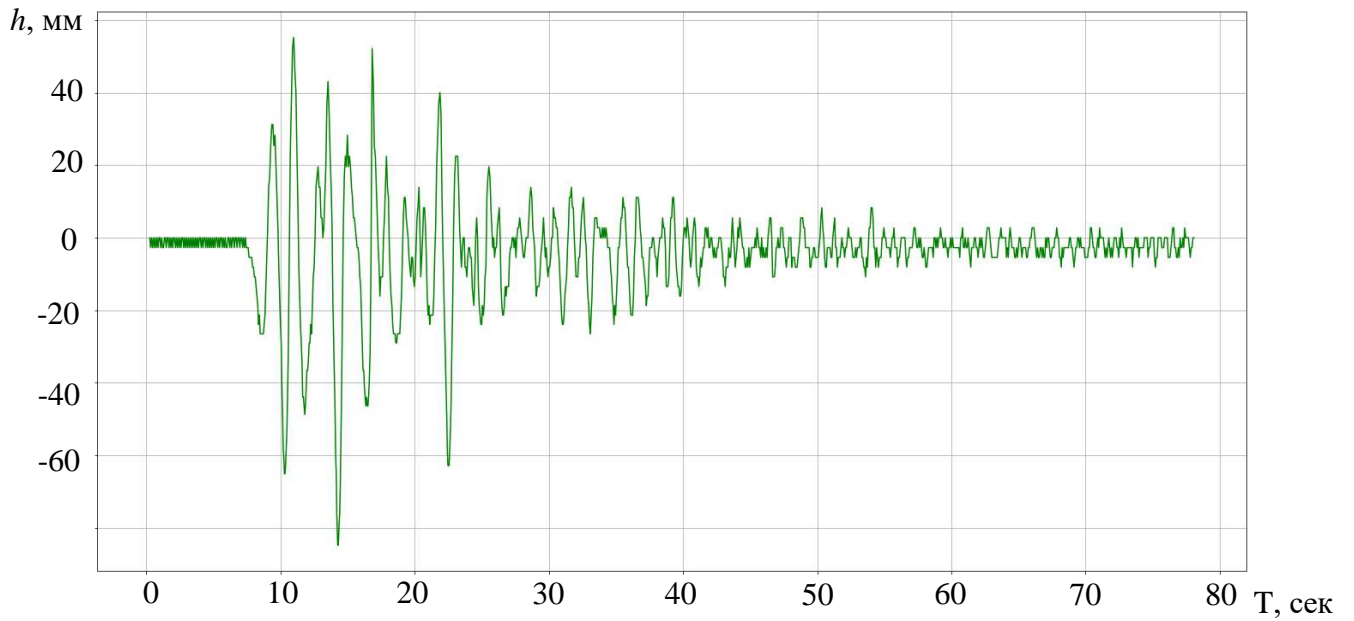


Рис. 3.1 Осцилограми експериментальних досліджень

а - датчик 1; б - датчик 2; в - датчик 3; г - датчик 4

б)



в)

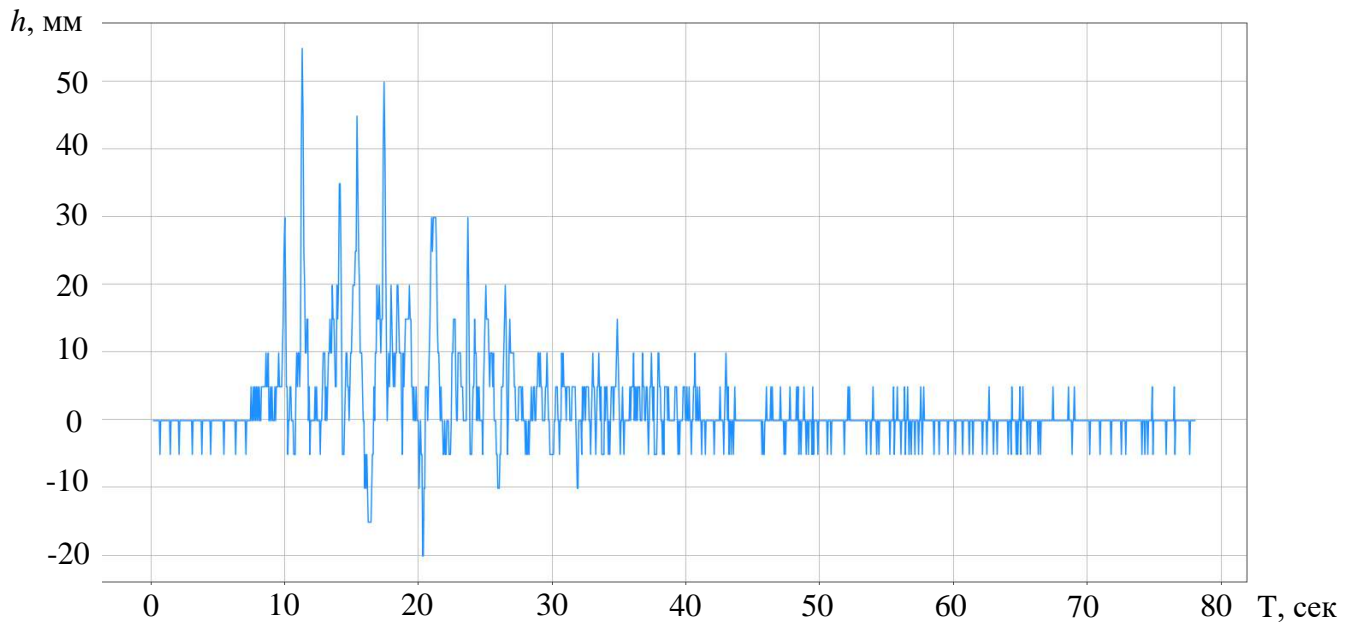


Рис. 3.1 (продовження) Осцилограми експериментальних досліджень

а - датчик 1; б - датчик 2; в - датчик 3; г - датчик 4

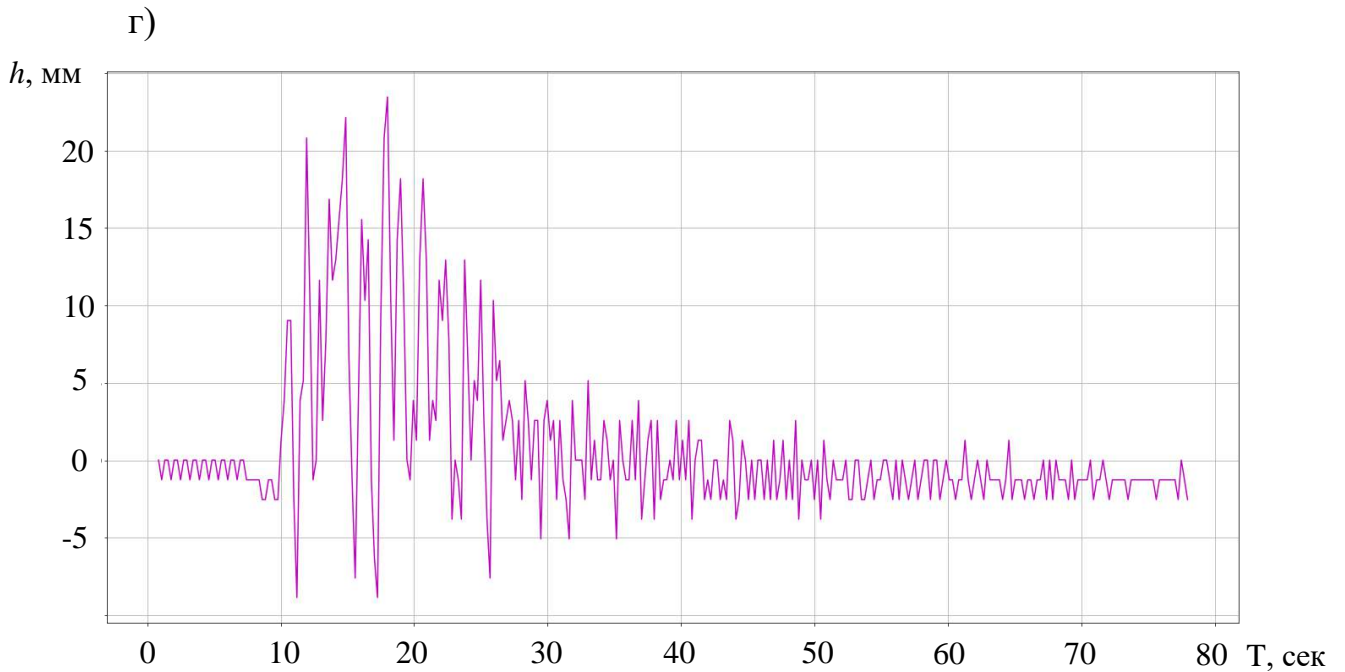


Рис. 3.1 (продовження) Осцилограми експериментальних досліджень
а - датчик 1; б - датчик 2; в - датчик 3; г - датчик 4

Отримані в експерименті графіки представляють собою хід зміни рівня вільної поверхні води за часом, які показують результати проведених досліджень. На графіку по осі ординат представлено годинний інтервал проведеного дослідження, 0 секунд - відповідають терміну початку експерименту, через 8 секунд перша хвиля, сформована хвилепродуктором на початку гідрохвильового лотка, дійшла до вимірювального датчика 1 (рис. 3.1 а). Усього у кожному досліді обох серій досліджень були використані величини двох, трьох хвиль, починаючи з другої. Були зафіксовані три хвилі різних висот, які вже мали чіткі контури, але потім формування хвиль припинялось. Фіксація коливань вільної поверхні рівня води не припинялось до того часу, як рівень води не стабілізувався та не повернувся на початкове положення. Аналогічно були проведені спостереження за датчиками 2, 3 та 4.

Згідно з планом експериментів, були проведені дві серії, результати яких були перераховані у відповідності з критеріями подібності Фруда до натурних значень. Часткові результати яких представлені у додатку Б.

У відповідності до програми першої серії була отримана матриця результатів, яка представлена на табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Матриця результатів експериментальних досліджень першої серії

Точка плану	Фактори дослідження			Висота погашеної хвилі h_r (м)
	h_i (м)	ΔH (м)	B (м)	
1	2	3	4	5
1	0,6	0	4,0	0,31
2	0,6	0	6,0	0,30
3	0,6	0	8,0	0,25
4	0,6	0,5	4,0	0,21
5	0,6	0,5	6,0	0,17
6	0,6	0,5	8,0	0,16
7	0,6	1,0	4,0	0,25
8	0,6	1,0	6,0	0,15
9	0,6	1,0	8,0	0,13
10	1,8	0	4,0	1,24
11	1,8	0	6,0	1,20
12	1,8	0	8,0	1,12
13	1,8	0,5	4,0	1,04
14	1,8	0,5	6,0	0,96
15	1,8	0,5	8,0	0,86
16	1,8	1,0	4,0	0,78
17	1,8	1,0	6,0	0,70
18	1,8	1,0	8,0	0,62

Продовження табл. 3.1

19	3,0	0	4,0	2,20
20	3,0	0	6,0	2,00
21	3,0	0	8,0	1,86
23	3,0	0,5	4,0	1,80
24	3,0	0,5	6,0	1,64
25	3,0	0,5	8,0	1,48
23	3,0	1,0	4,0	1,36
26	3,0	1,0	6,0	1,18
27	3,0	1,0	8,0	1,08

Графічне зображення досліджених факторів, а також результатів отриманих фізичних експериментів першої серії представлені на рис. 3.2 - 3.3.

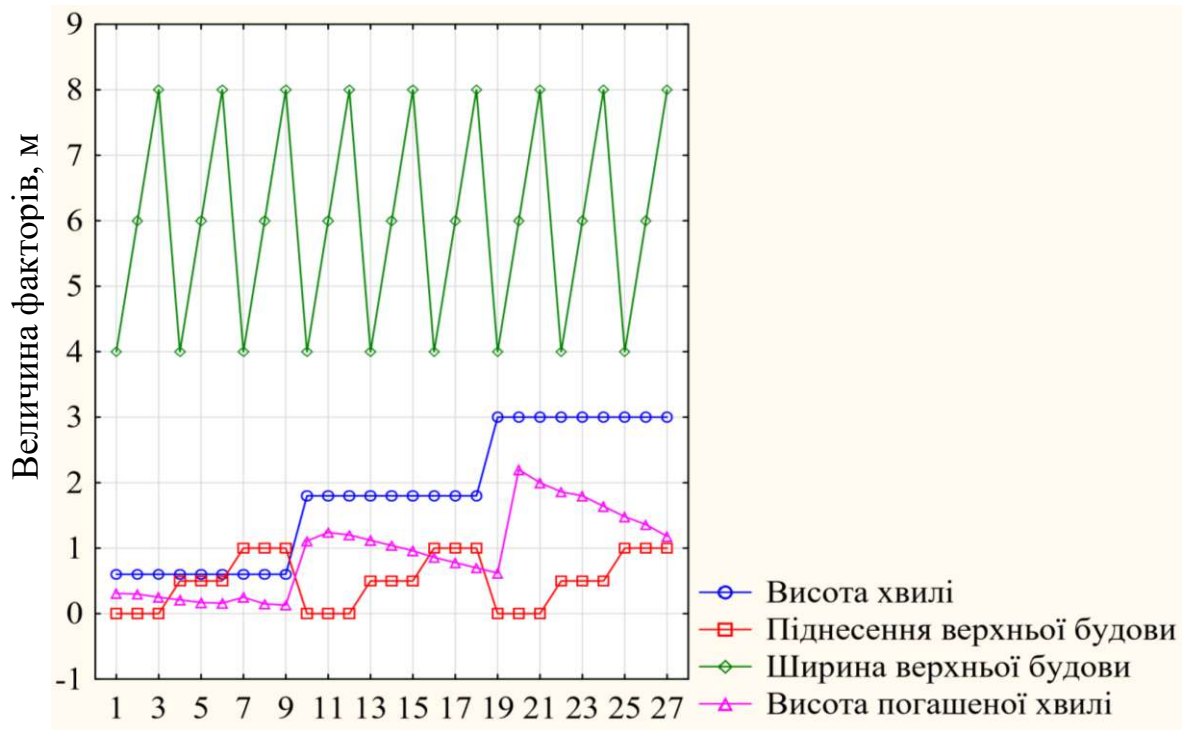


Рис. 3.2 Значення досліджених факторів першої серії

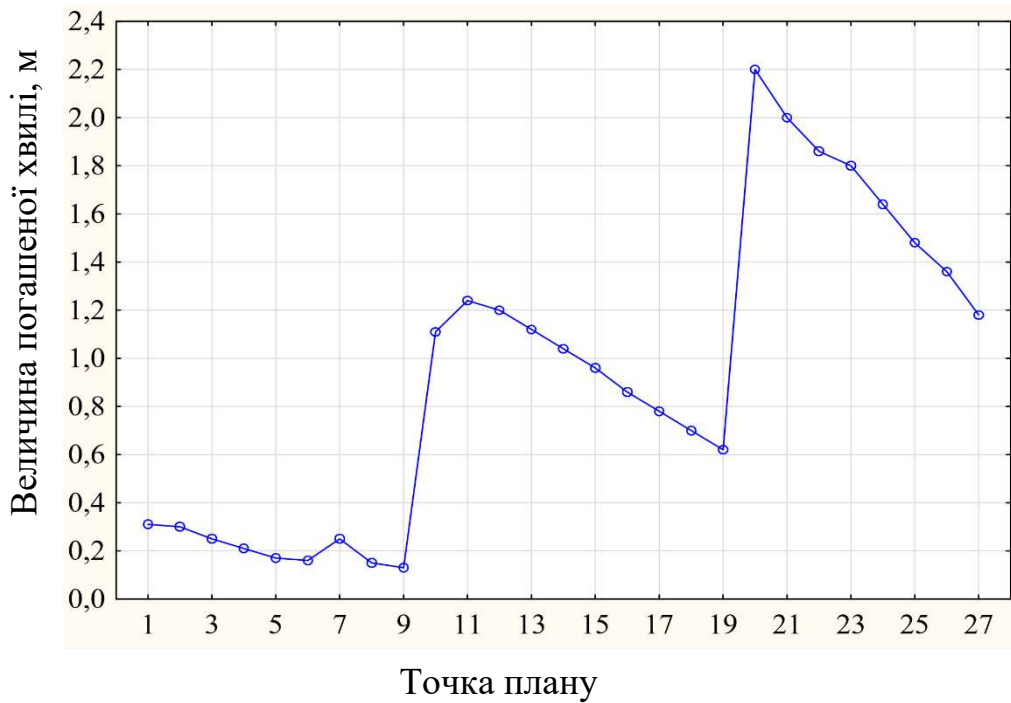


Рис. 3.3 Результати досліджень першої серії

Отримані результати експериментів другої серії проведених досліджень представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матриця результатів експериментальних досліджень другої серії

Точка плану	Фактори дослідження			Висота трансформованої хвилі h_{tr} (м)
	h_i (м)	d_p (м)	d (м)	
1	2	3	4	5
1	0,6	1,0	4,0	0,56
2	0,6	1,0	4,5	0,58
3	0,6	1,0	5,0	0,60
4	0,6	1,5	4,0	0,56
5	0,6	1,5	4,5	0,58
6	0,6	1,5	4,0	0,60
7	0,6	2,0	4,0	0,56
8	0,6	2,0	4,5	0,58

Продовження табл. 3.2

9	0,6	2,0	4,0	0,60
10	1,8	1,0	4,0	1,80
11	1,8	1,0	4,5	1,89
12	1,8	1,0	4,0	2,00
13	1,8	1,5	4,0	1,65
14	1,8	1,5	4,5	1,74
15	1,8	1,5	4,0	1,79
16	1,8	2,0	4,0	1,50
17	1,8	2,0	4,5	1,58
18	1,8	2,0	4,0	1,62
19	3,0	1,0	4,0	2,40
20	3,0	1,0	4,5	2,54
21	3,0	1,0	4,0	2,74
22	3,0	1,5	4,0	2,20
23	3,0	1,5	4,5	2,34
24	3,0	1,5	4,0	2,52
25	3,0	2,0	4,0	2,00
26	3,0	2,0	4,5	2,12
27	3,0	2,0	4,0	2,28

Графічне зображення досліджених факторів, а також отриманих результатів фізичних експериментів другої серії представлені на рис. 3.4 - 3.5.

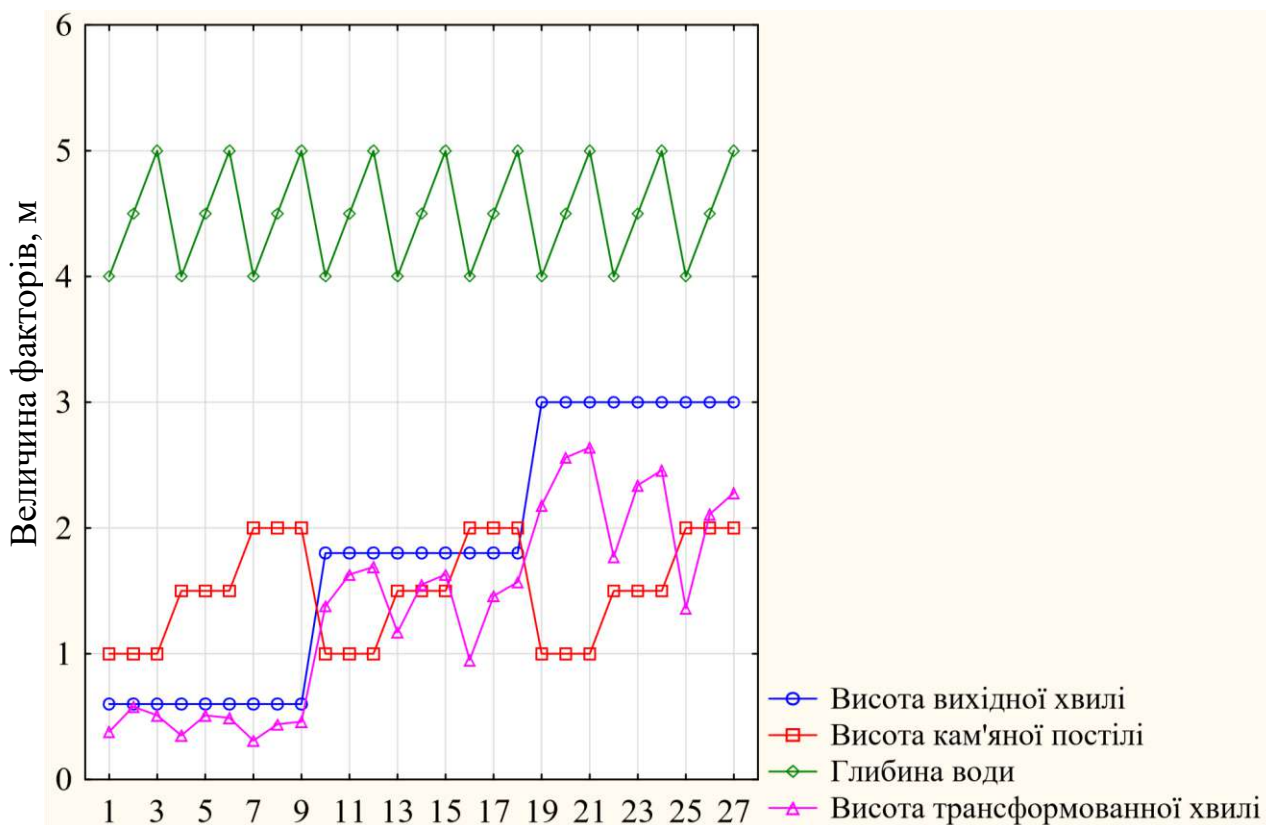


Рис. 3.4 Значення досліджених факторів другої серії

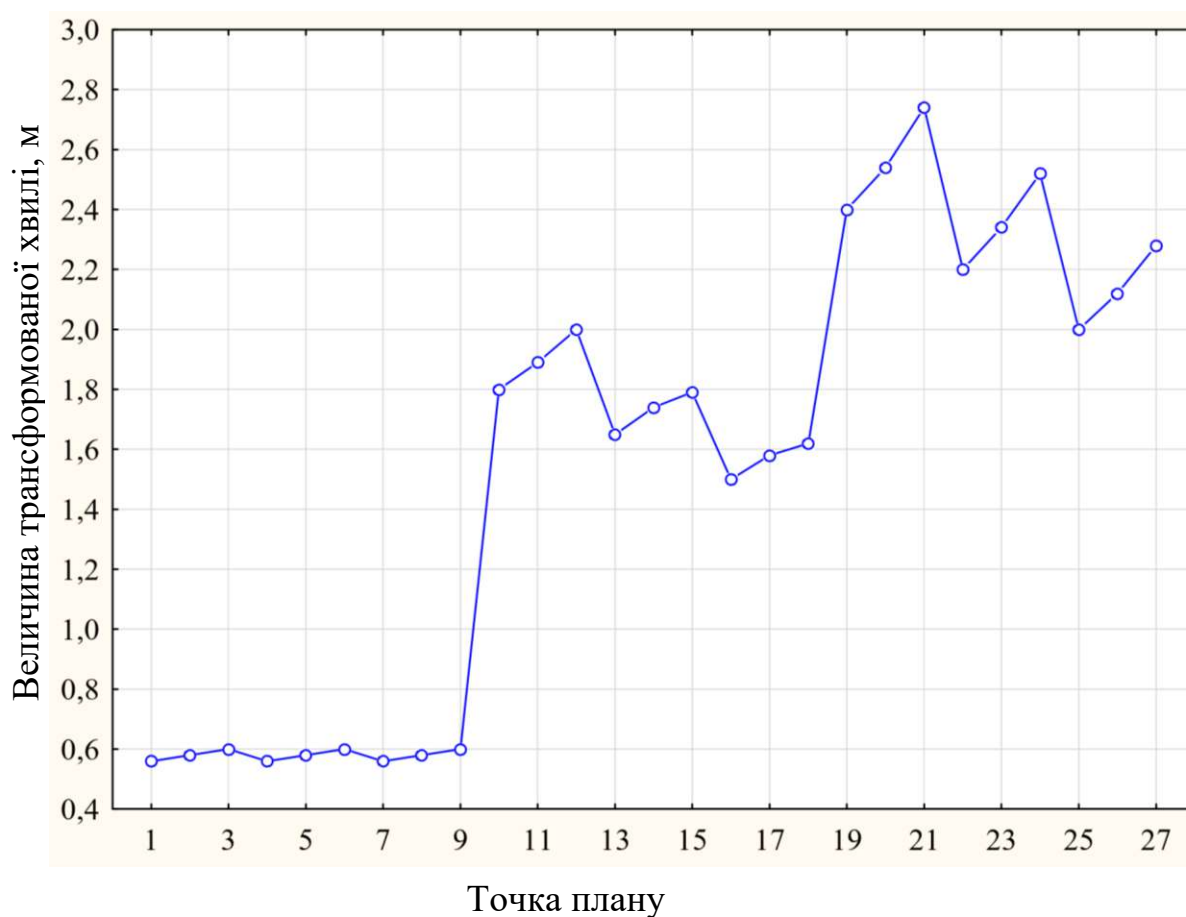


Рис. 3.5 Результатів досліджень другої серії

Отримані результати експериментальних досліджень за двома серіями проведених дослідів (табл. 3.1 та 3.2), дозволили проаналізувати залежності вихідних величин гасіння та трансформації вхідних хвиль від визначених варійованих факторів досліджень X_1 , X_2 і X_3 .

Статистична обробка отриманих результатів була проведена за допомогою ПК «Statistica». Даний програмний комплекс дозволив оцінити ступінь впливу кожного окремого фактору, а також їх взаємодій між собою. В основі оцінювання лежить розрахунок три факторної експериментально-статистичної моделі досліджень на засаді методу найменших квадратів.

Побудова експериментально-статистичних моделей від k -факторів була зображена у вигляді квадратичного поліному (3.1):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \cdot x_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot x_i^2 \quad (3.1)$$

Після побудови ЕС - моделей для двох серій проведених досліджень, був проведений аналіз впливу кожного окремого фактору та ранги їх впливу на досліджувані властивості в зонах максимумів та мінімумів.

3.2 Дисперсійний аналіз експериментальних досліджень

З метою оцінки експериментально-статистичних моделей конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, розташованих на високій кам'яній постілі різних висот, були використані отримані результати дисперсійних аналізів для двох серій проведених експериментальних досліджень. У табл. 3.3 представлений дисперсійний аналіз першої серії оцінки впливу параметрів верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю. У табл. 3.4 представлений дисперсійний аналіз для другої серії дослідів, впливу параметрів кам'яної постілі різних висот, що розташована в основі огорожувальних споруд, які впливають на величину трансформації хвиль.

Таблиця 3.3

Результати дисперсійного аналізу першої серії досліджень

Фактор	Оцінка ефектів; коефіцієнт детермінації R-кв=0,9629					
	Регрес коэф.	Стат. похибка	t	p	-95%	+95%
Середній вільний член	0,717	0,0237	30,2179	0,0000	0,667	0,767
Висота вихідної хвилі h_i (м)	1,020	0,0581	17,5405	0,0000	0,897	1,142
Висота вихідної хвилі h_i^2 (м)	0,011	0,0504	0,2196	0,8288	-0,095	0,117
Піднесення верхньої будови ΔH (м)	-0,469	0,0582	-8,0737	0,0000	-0,592	-0,346
Піднесення верхньої будови ΔH^2 (м)	0,105	0,0504	2,0995	0,0510	-0,000	0,212
Ширина верхньої будови B (м)	-0,279	0,0582	-4,8003	0,0002	-0,401	-0,156
Ширина верхньої будови B^2 (м)	-0,082	0,0504	-1,6240	0,1228	-0,188	0,025
h_i на ΔH	-0,359	0,0712	-5,0459	0,0001	-0,510	-0,209
h_i на B	-0,221	0,0712	-3,1011	0,0065	-0,371	-0,071
ΔH на B	0,1185	0,0712	1,6640	0,1144	-0,0318	0,2687

Таблиця 3.4

Результати дисперсійного аналізу другої серії досліджень

Фактор	Оцінка ефектів; коефіцієнт детермінації R-кв=0,9830					
	Регрес коэф.	Стат. похибка	t	p	-95%	+95%
Середній вільний член	1,729	0,0024	650,879	0,0000	1,716	1,732
Висота вихідної хвилі h_i (м)	0,883	0,0058	302,667	0,0000	1,838	1,894
Висота вихідної хвилі h_i^2 (м)	-0,267	0,0051	52,467	0,0000	-0,254	0,277
Висота кам'яної постілі d_p (м)	-0,125	0,0058	-43,157	0,0000	-0,112	-0,130
Висота кам'яної постілі d_p^2 (м)	-0,002	0,0051	0,110	0,9153	-0,001	0,003
Глибина води d (м)	0,083	0,0058	28,898	0,0000	0,080	0,086
Глибина води d^2 (м)	0,003	0,0051	-0,878	0,4055	-0,002	0,004
h_i на d_p	-0,105	0,0072	-29,804	0,0000	-0,095	-0,115
h_i на d	0,067	0,0062	0,538	0,6054	0,064	0,070
d_p на d	-0,010	0,0062	-1,882	0,0966	-0,005	-0,015

Проаналізувавши дані результатів дисперсійних аналізів і вдвох серій проведених експериментів, були встановлені фактори, а також їх взаємодії між собою, які мали не значні регресійні коефіцієнти. Відмова від цих факторів дозволила отримати більш просту залежність, без істотних змін ЕС-моделі. У табл. 3.5 представлені результати дисперсійного аналізу для першої серії дослідів, без урахування впливу малозначимих факторів на величину гасіння

хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю на акваторію, що захищається.

Таблиця 3.5

Результати дисперсійного аналізу першої серії опитів без врахування
малозначимих факторів

Фактор	Оцінка ефектів; коефіцієнт детермінації R-кв=0,9413					
	Регрес коэф.	Стат. похибка	t	p	-95%	+95%
Середній вільний член	0,717	0,0268	26,7176	0,0000	0,662	0,773
Висота вихідної хвилі h_i (м)	0,510	0,0329	15,5087	0,0000	0,442	0,578
Піднесення верхньої будови ΔH (м)	-0,235	0,0329	-7,1385	0,0000	-0,303	-0,166
Ширина верхньої будови B (м)	-0,140	0,0329	-4,2443	0,0004	-0,208	-0,071
h_i на ΔH	-0,180	0,0403	-4,4614	0,0003	-0,263	-0,096
h_i на B	-0,110	0,0403	-2,7418	0,0122	-0,194	-0,027

Розрахунки, які були проведені в ПК «Statistica», надали можливість отримати набір необхідних коефіцієнтів для формування чисельної залежності між величиною гасіння хвиль та конструкціями огорожувальних споруд неповного вертикального профілю і вхідним і факторами, що досліджувались. Для знаходження шуканого поліному були використані коефіцієнти з урахуванням похибок проведеного експерименту з другого блоку результатів проведених розрахунків. Відсутні в другому блоці коефіцієнти, були прийняті рівними нулю. Величини значення коефіцієнту детермінації R-кв=0,94 при першій серії досліджень, встановлювала адекватність ЕС-моделі. Модель взаємозв'язків досліджених факторів першої серії проведених експериментів та залежних коефіцієнтів має вигляд:

$$h_r = 0,717 + 0,510 \cdot X_1 - 0,235 \cdot X_2 - 0,140 \cdot X_3 - 0,180 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,110 \cdot X_1 \cdot X_3 \quad (3.2)$$

Оцінювання коефіцієнтів моделі та узагальнюючих показників характеризували індивідуальний і спільний вплив висоти вихідної хвилі h_i , м; піднесення верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю відносно спокійного рівня води ΔH , м; а також ширини верхньої будови огорожувальної споруди B , м; на величину гасіння хвиль. Візуалізація впливу кожного окремих факторів, що досліджувались, для першої серії проведених дослідів представлена на рис. 3.6.

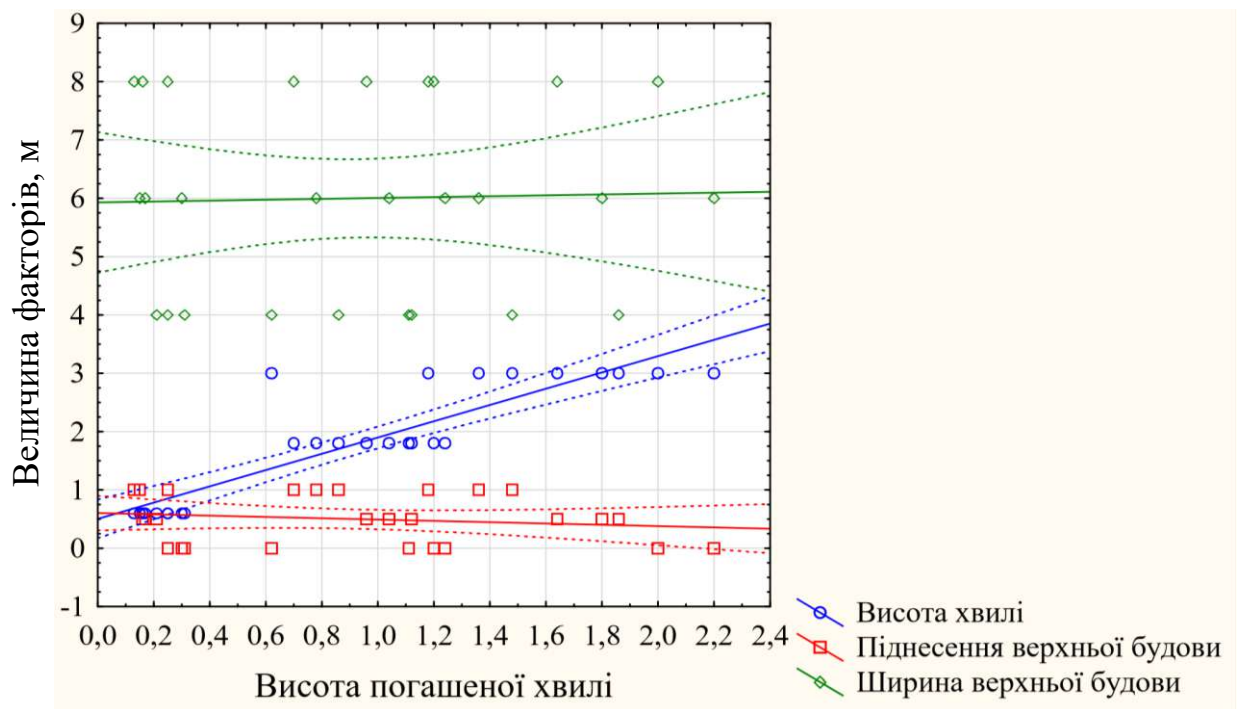


Рис. 3.6 Однофакторні залежності впливу варіювання вхідних факторів на величину гасіння хвиль

З метою демонстрації результатів експериментальних досліджень першої серії експериментів була побудована діаграма Парето (рис. 3.6). На діаграмі представлені оцінки ефектів дисперсійного аналізу, які побудовані за вагою свого впливу на величину гасіння хвиль. Проаналізувавши значення діаграми, було встановлено, що величина фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 2,17 рази вплив фактору піднесення верхньої будови ОГТС неповного

вертикального профілю відносно спокійного рівня води ΔH , а також в 3,65 рази перевищує вплив фактору ширини верхньої будови огорожувальної споруди.

В результаті проведеного аналізу, була підтверджена значимість усіх досліджених факторів конструкції огорожувальної споруди неповного вертикального профілю, при впливі хвиль, що руйнувались на величину їх гасіння. На рис. 3.7 представлена діаграма Парето першої серії експериментів, побудована в залежності від ваги впливу факторів, що досліджувались.

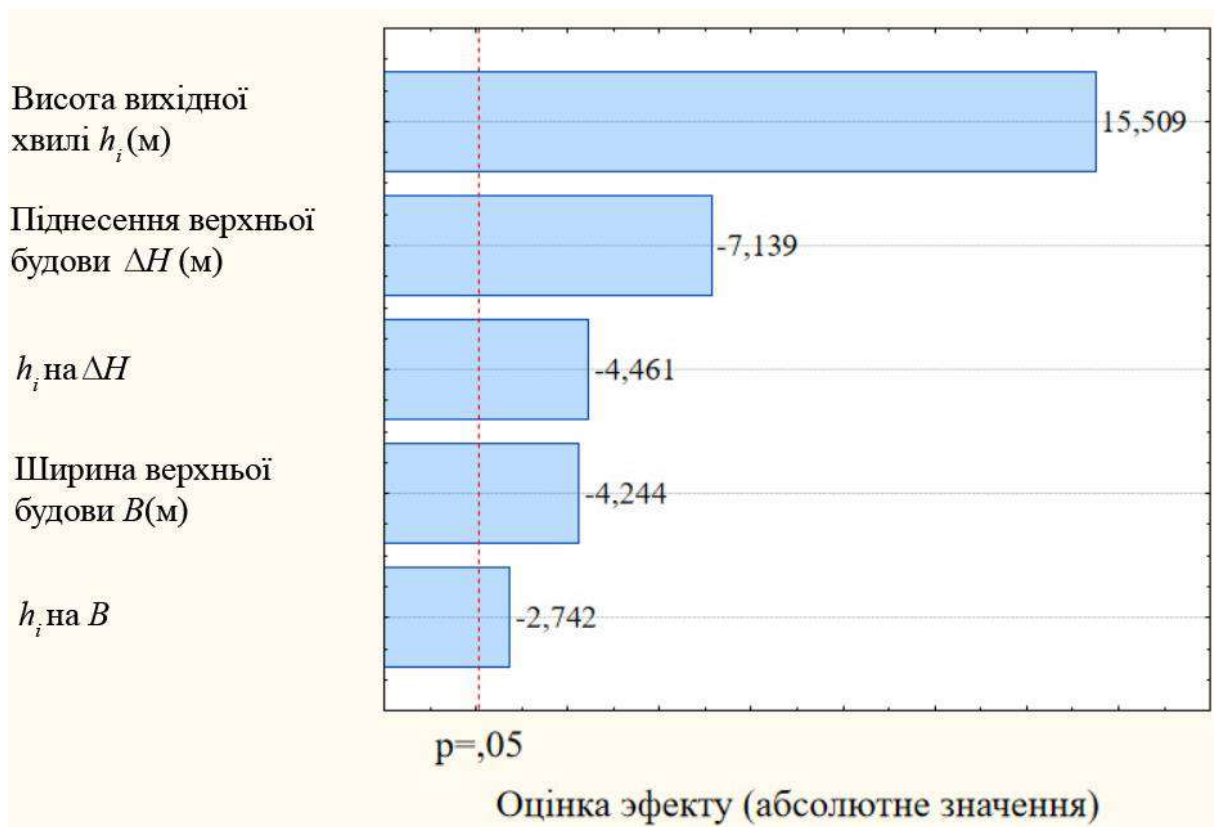


Рис. 3.7 Діаграма Парето першої серії досліджень

Проаналізувавши результати дисперсійного аналізу першої серії експериментів, була отримана експериментально-статистична модель (3.2), яка дозволила встановити значення величини погашеної висоти хвилі при переливі через верхню будову огорожувальної споруди неповного вертикального профілю на акваторію, що захищається.

У табл. 3.6 представлені результати дисперсійного аналізу другої серії проведених досліджень, без урахування впливу малозначимих факторів на величину трансформації хвиль високою кам'яною постіллю, яка була розташована в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю.

Таблиця 3.6.

Результати дисперсійного аналізу другої серії без урахування малозначимих факторів

Фактор	Оцінка ефектів; коефіцієнт детермінації R-кв=0,9830					
	Регрес коэф.	Стат. похибка	t	p	-95%	+95%
Середній вільний член	1,729	0,0024	650,879	0,0000	1,716	1,732
Висота вихідної хвилі h_i (м)	0,883	0,0058	302,667	0,0000	1,838	1,894
Висота вихідної хвилі h_i^2 (м)	-0,267	0,0051	52,467	0,0000	-0,254	0,277
Висота кам'яної постілі d_p (м)	-0,125	0,0058	-43,157	0,0000	-0,112	-0,130
Висота кам'яної постілі d_p^2 (м)	-0,002	0,0051	0,110	0,9153	-0,001	0,003
Глибина води d (м)	0,083	0,0058	28,898	0,0000	0,080	0,086
Глибина води d^2 (м)	0,003	0,0051	-0,878	0,4055	-0,002	0,004
h_i на d_p	-0,105	0,0072	-29,804	0,0000	-0,095	-0,115
h_i на d	0,067	0,0062	0,538	0,6054	0,064	0,070
d_p на d	-0,010	0,0062	-1,882	0,0966	-0,005	-0,015

Розрахунки по визначенню величини параметрів трансформації хвиль на кам'яній постілі були проведені в ПК «Statistica», яка надала набір необхідних коефіцієнтів для формування чисельної залежності між величиною трансформованих хвиль і вхідними факторами, що досліджувались. Для знаходження шуканого полінома були використані коефіцієнти з урахуванням похибки експерименту з другого боку результатів розрахунків. Відсутні в другому блоці коефіцієнти при змінних були прийняті рівними нулю. Значення коефіцієнту детермінації для другої серії проведених досліджень становила $R_{\text{кв}}=0,98$, що підтверджувало адекватність ЕС-моделі. Модель взаємозв'язків факторів, що досліджувались та залежних коефіцієнтів другої серії має вигляд:

$$h_f = 1,729 + 0,883 \cdot X_1 - 0,125 \cdot X_2 + 0,083 \cdot X_3 - 0,267 \cdot X_1^2 - 0,105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,067 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3.3)$$

З метою проведення оцінки коефіцієнтів моделі та узагальнюючих показників, які характеризують індивідуальний і спільний вплив висоти вихідної хвилі h_i , м; висоти кам'яної постілі споруди d_p , м; а також глибини води, на якій розташовувалась огорожувальна споруда d , м; на величину трансформації. Візуалізація впливу кожного окремого фактору, що досліджувався для другої серії проведених досліджень зображені на рис. 3.8.

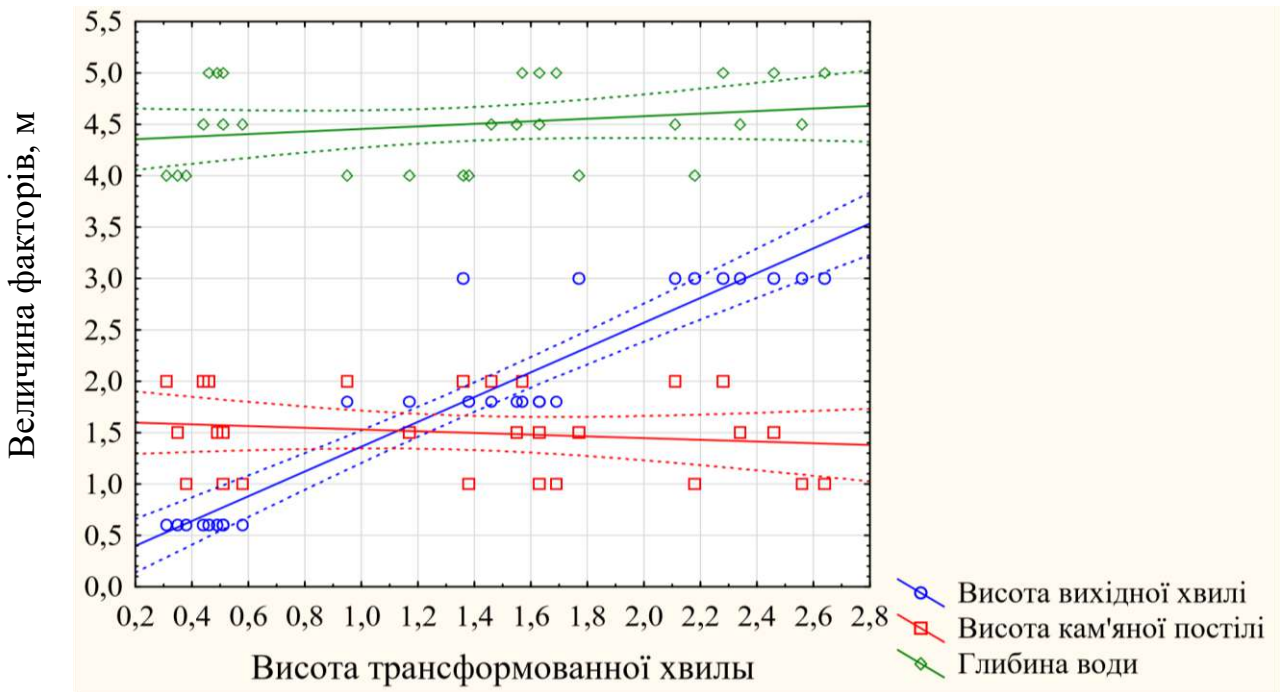


Рис. 3.8 Однофакторні залежності впливу варіювання вхідних факторів на величину трансформації хвиль

З метою демонстрації результатів проведених експериментальних досліджень другої серії була побудована діаграма Парето (рис. 3.9). На діаграмі представлені оцінки ефектів дисперсійного аналізу, які були побудовані за вагою впливу. Проаналізувавши значення діаграми, було встановлено, що значення фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 7,06 рази вплив фактору висоти кам'яної постілі d_p розташованої в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю, а також в 10,64 рази перевищує вплив фактору глибини води в місці розташування споруди d . В результаті проведеного аналізу, була підтверджена значимість усіх досліджуваних факторів на параметри трансформації хвиль. На рис. 3.8 представлена діаграма Парето другої серії проведених експериментальних досліджень, які були побудовані в залежності від ваги впливу.

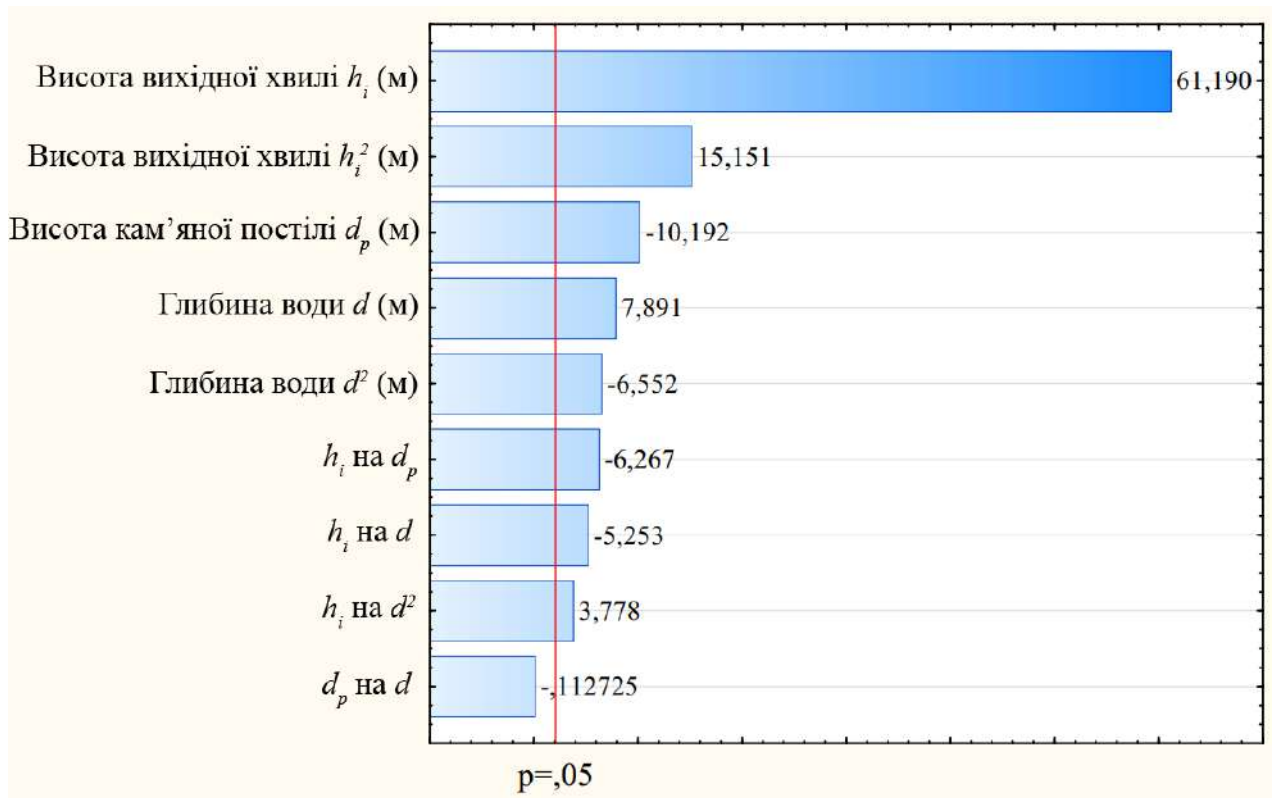


Рис. 3.9 Діаграма Парето другої серії проведених досліджень

Проаналізувавши результати дисперсійного аналізу другої серії проведених досліджень, була розроблена експериментально-статистична модель (3.3), яка дозволила встановити значення величини трансформації висоти хвиль на високій кам'яній постілі при підході до верхньої будови ОГТС вертикального профілю.

3.3 Результати чисельного моделювання в програмному комплексі ANSYS

З метою підтвердження результатів проведеного фізичного моделювання у гідрохвильовому лотку було виконано чисельне моделювання конструкції ОГТС неповного вертикального профілю.






В даний час найбільшу популярність і поширення в гідродинамічних розрахунках набув метод VOF (Volume-of-Fluid), у якості опції маркера використовується об'ємна частка рідини в осередку розрахункової сітки C : при $C=1$ - осередок заповнений рідиною, при $C=0$ - осередок порожній. На кордоні між двома фазами $C=0,5$. Даний підхід був запропонований в роботі [143] і має

кілька різновидів, що відрізняються способом визначення функції маркера або способом задання граничних умов на кордоні розділу середовищ [170].



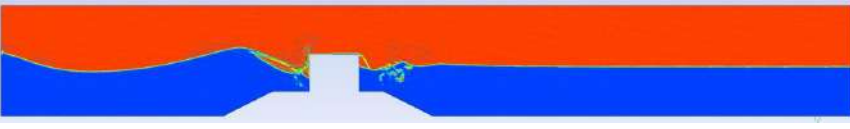







Параметри чисельної моделі конструкції огорожувальних споруд неповного вертикального профілю були обрані у відповідності до проведеного фізичного моделювання. Вибіркові результати з визначення величини гасіння хвиль ОГТС неповного вертикального профілю при переливі на акваторію, що захищається, представлені в табл. 3.7. При моделюванні розрахункова висота хвилі була прийнята $h=2,4$ м, і довжина хвилі становила $\lambda=24,5$ м, піднесення верхньої будови відносно спокійного рівня води складало величину $\Delta H=1,0$ м; і ширина верхньої будови $B=4,0$ м.

Таблиця 3.7

Результати математичного моделювання

	Трансформація хвиль огорожувальною спорудою неповного вертикального профілю	Час від початку моделювання	Погашена висота хвилі
1	2	3	4
1		4 сек.	-
2		5 сек.	-
3		6 сек.	-
4		7 сек.	-
5		8 сек.	-

Продовження табл. 3.7

6		9 сек.	0,10
7		10 сек.	0,15
8		11 сек.	0,20
9		12 сек.	0,25
10		13 сек.	0,30
11		17 сек.	0,35
12		18 сек.	0,40
13		19 сек.	0,60
14		20 сек.	0,60
15		21 сек.	0,60

У відповідності з проведеними розрахунками чисельної моделі конструкцій огорожувальної споруди неповного вертикального профілю, було встановлено значення погашених висот хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю. При прийнятих межових умовах погашена висота хвилі становила $h_{tr}=0,6$ м (рис. 3.10).

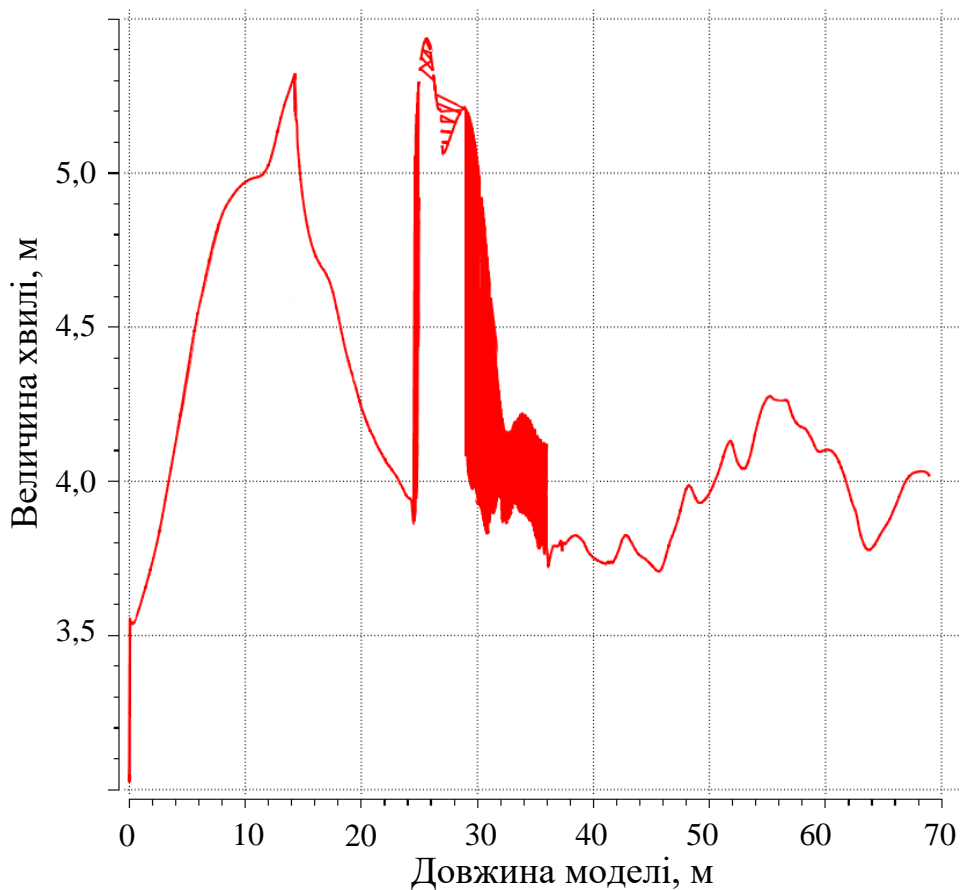


Рис. 3.10 Рівень свободної поверхні води при чисельному моделюванні (21 секунда від початку експерименту)

У проведених дослідженнях був обраний часовий термін до 21 секунди від початку чисельного моделювання в зв'язку з тим, що це дозволило в повному обсязі оцінити хвильову картину, як на акваторії, що захищається, так і перед конструкцією огорожувальної споруди.

Виконано аналіз векторів та полів швидкості переміщення часток води в хвилях при впливі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю на величину гасіння. Аналіз здійснювався на підставі графічного матеріалу представленого на рис. 3.11 - 3.25. На представлених візуалізаціях результатів розрахунку вказані траєкторії руху, що сформовані векторами швидкостей переміщень води в місці розташування конструкції, що розглядається через визначені інтервали часу. Інтервали часу прийняті рівними 1 секунді. Вибраний інтервал обумовлений періодом і довжиною розглядаєм хвилі. Критерієм обраного інтервалу часу була необхідність розташувати не менш трьох інтервалів в період однієї хвилі.

Результати проведеного розрахунку в момент часу 4 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.11.

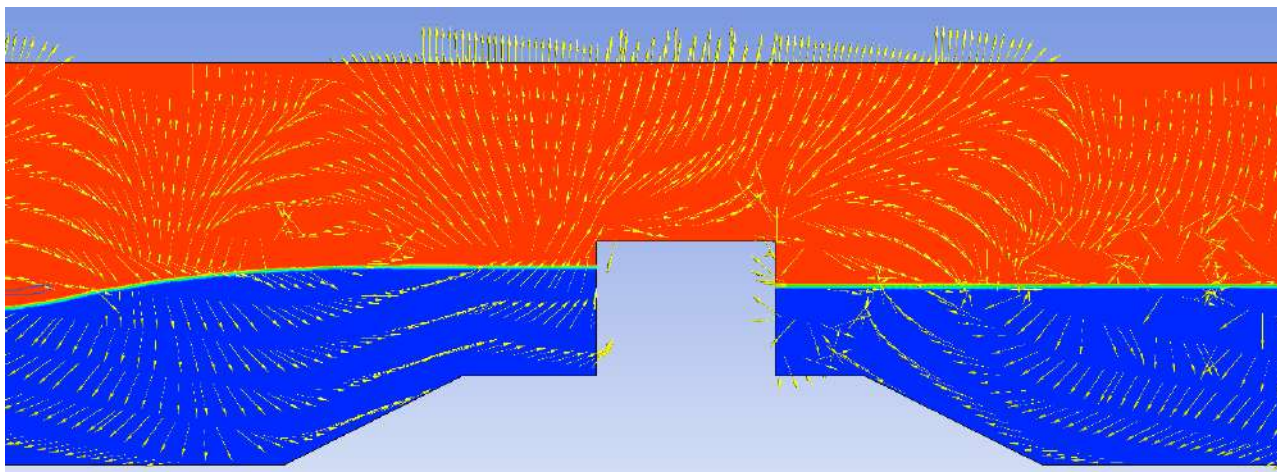


Рис. 3.11 Вектору руху часток води в момент часу 4 секунди від початку експерименту

На підставі аналізу проведеного розрахунку, в часовий термін 4 секунди, встановлено, що кам'яна постіль, яка розташована в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю суттєво впливає на траєкторію руху рідини. В даний часовий інтервал на акваторії, що захищається рівень води знаходиться у стані спокою. Аналогічні процеси спостерігаються до часового терміну 10 секунд, результати яких представлені на рис. 3.11 - 3.16.

Результати проведеного розрахунку в момент часу 5 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.12.

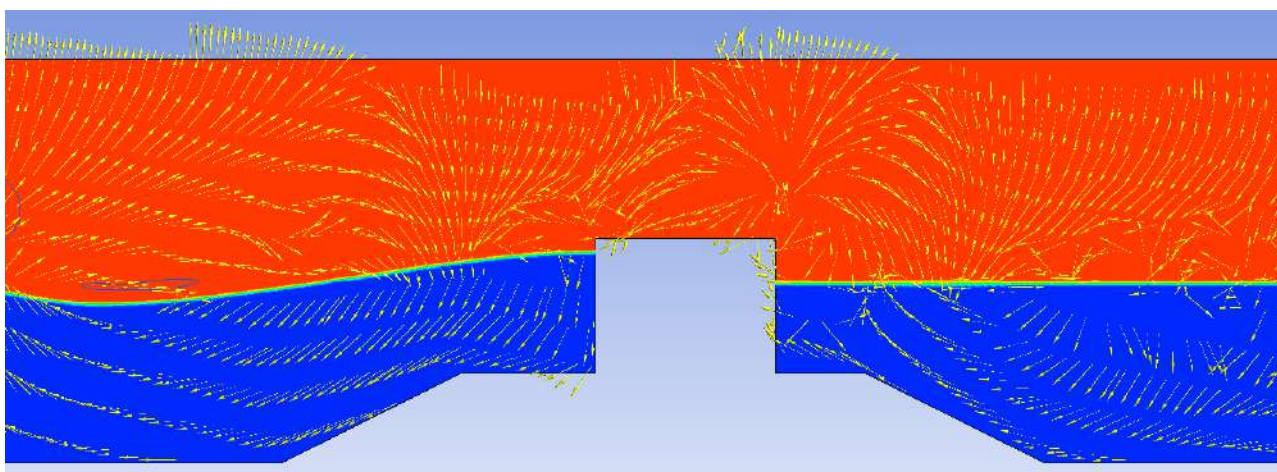


Рис. 3.12 Вектору руху часток води в момент часу 5 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 6 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.13.

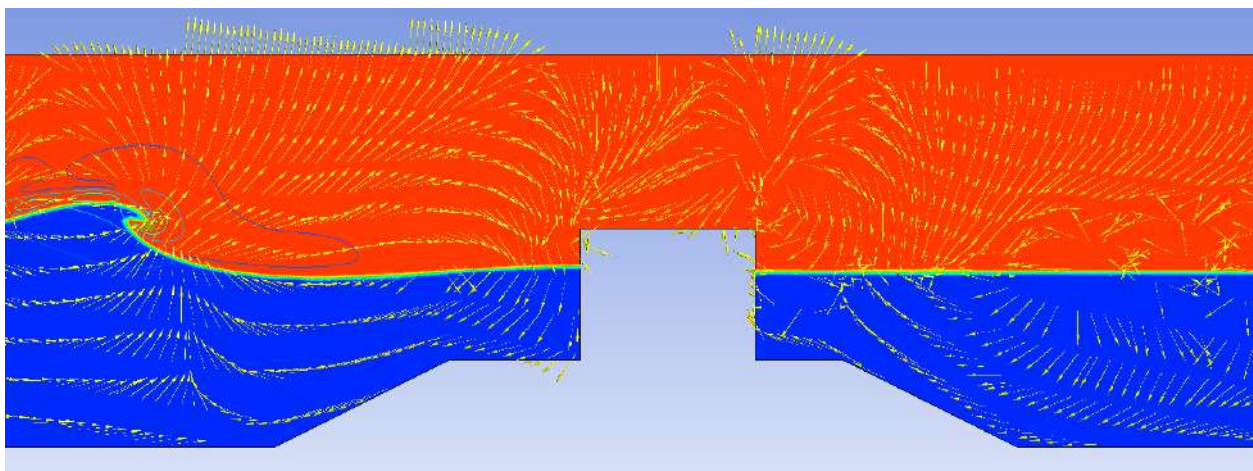


Рис. 3.13 Вектору руху часток води в момент часу 6 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 7 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.14.

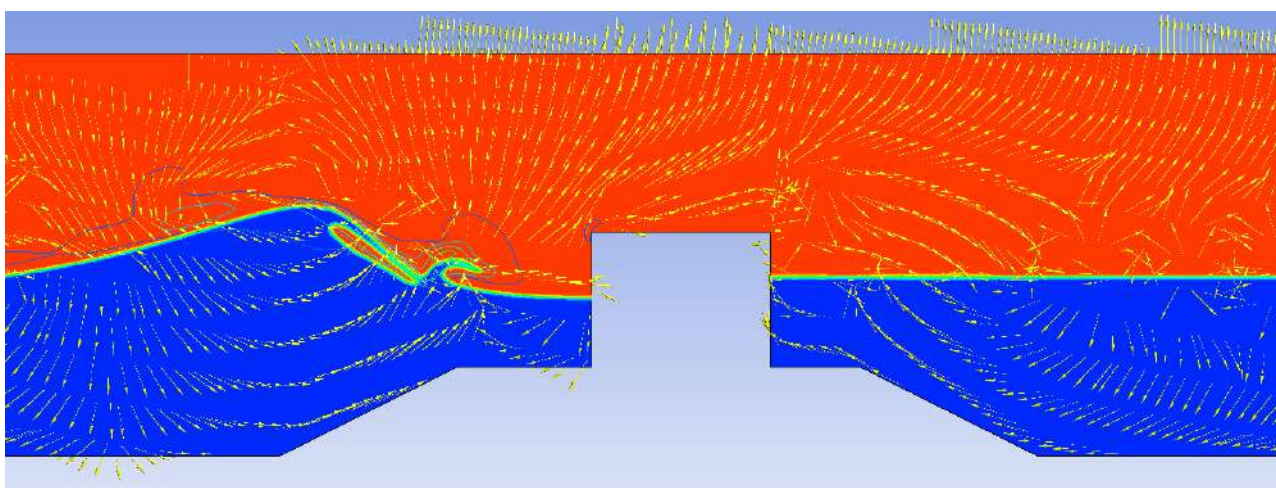


Рис. 3.14 Вектору руху часток води в момент часу 7 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 8 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.15.

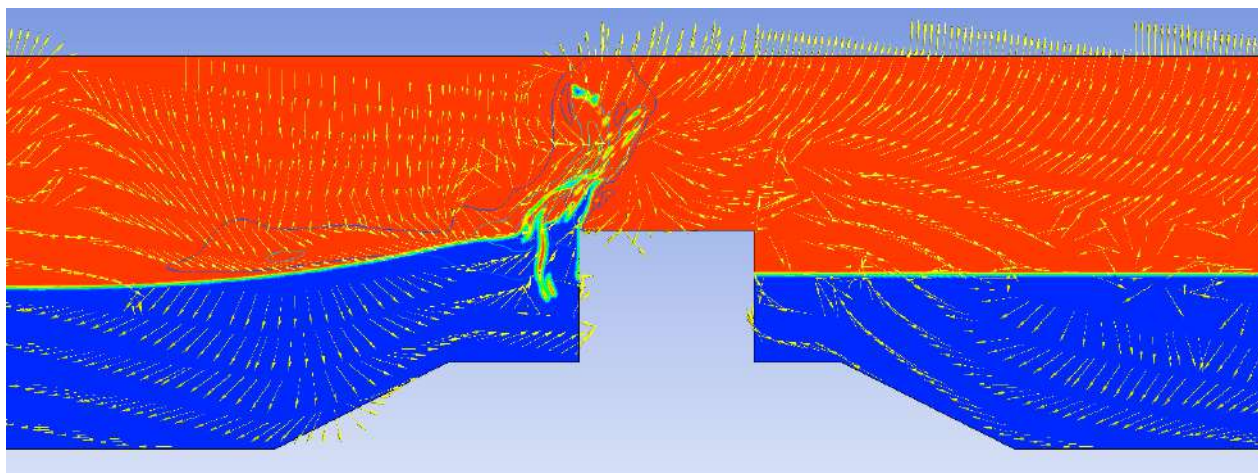


Рис. 3.15 Вектору руху часток води в момент часу 8 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 9 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.16.

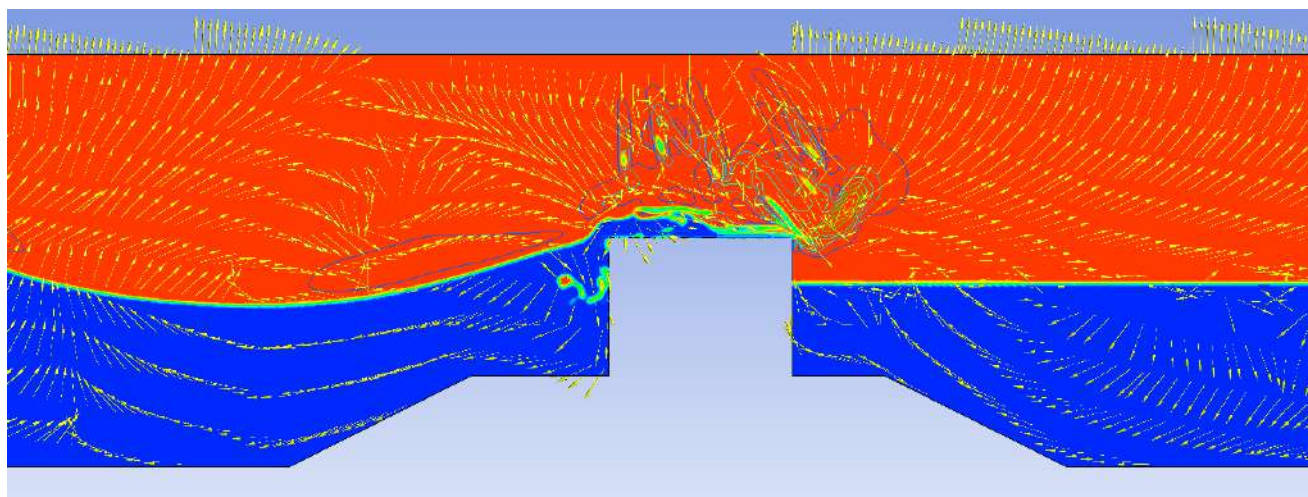


Рис. 3.16 Вектору руху часток води в момент часу 9 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 10 секунд від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.17.

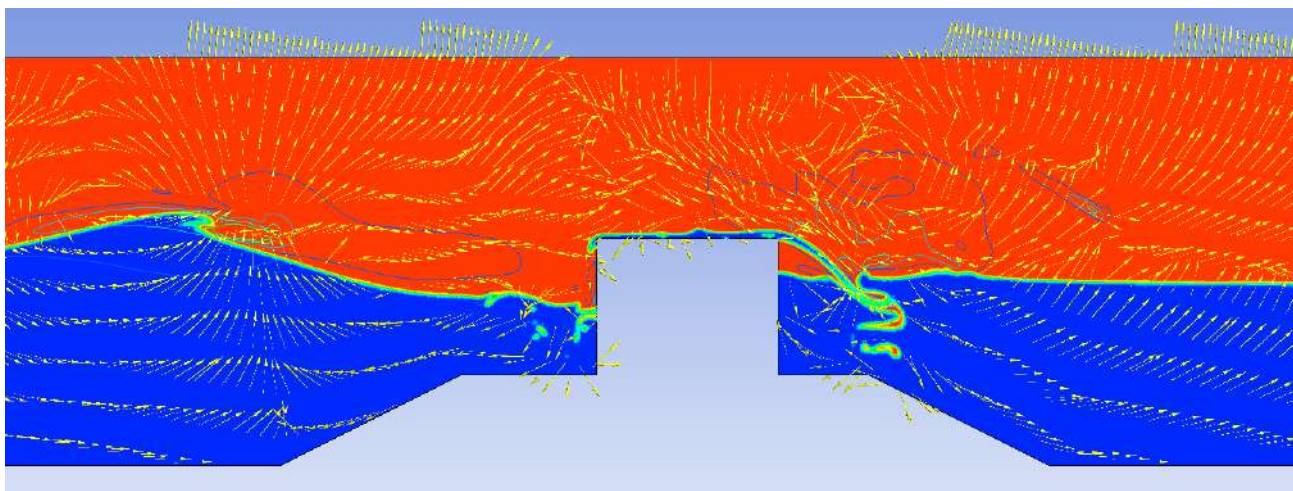


Рис. 3.17 Вектору руху часток води в момент часу 10 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 11 секунд від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.18.

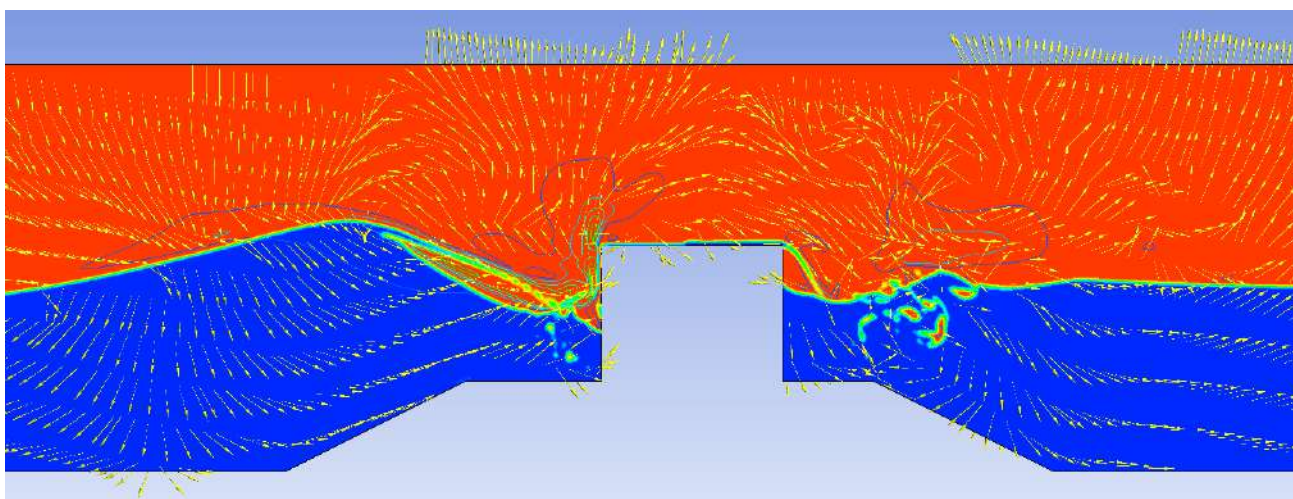


Рис. 3.18 Вектору руху часток води в момент часу 11 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 12 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.19.

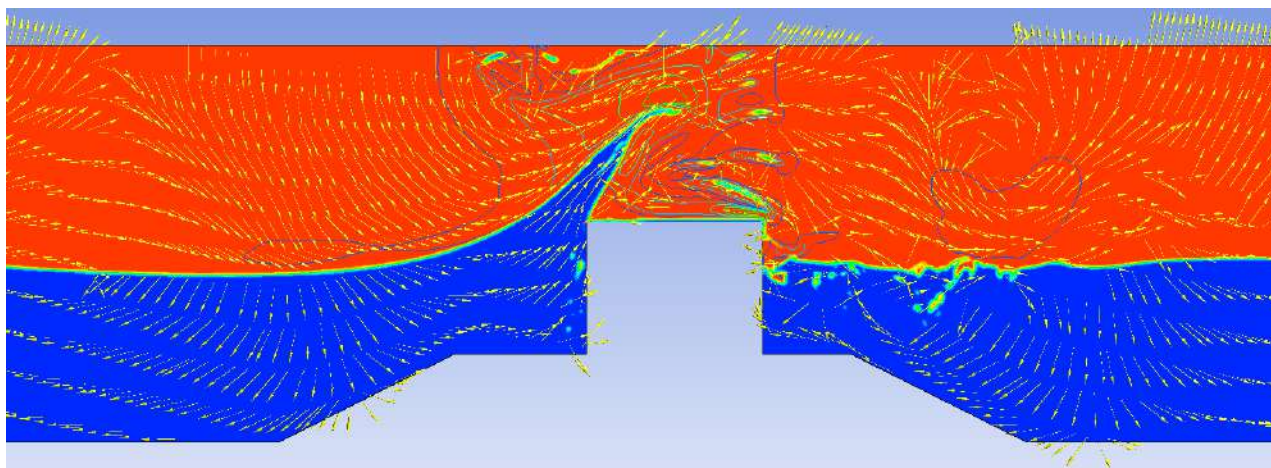


Рис. 3.19 Вектору руху часток води в момент часу 12 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 13 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.20.

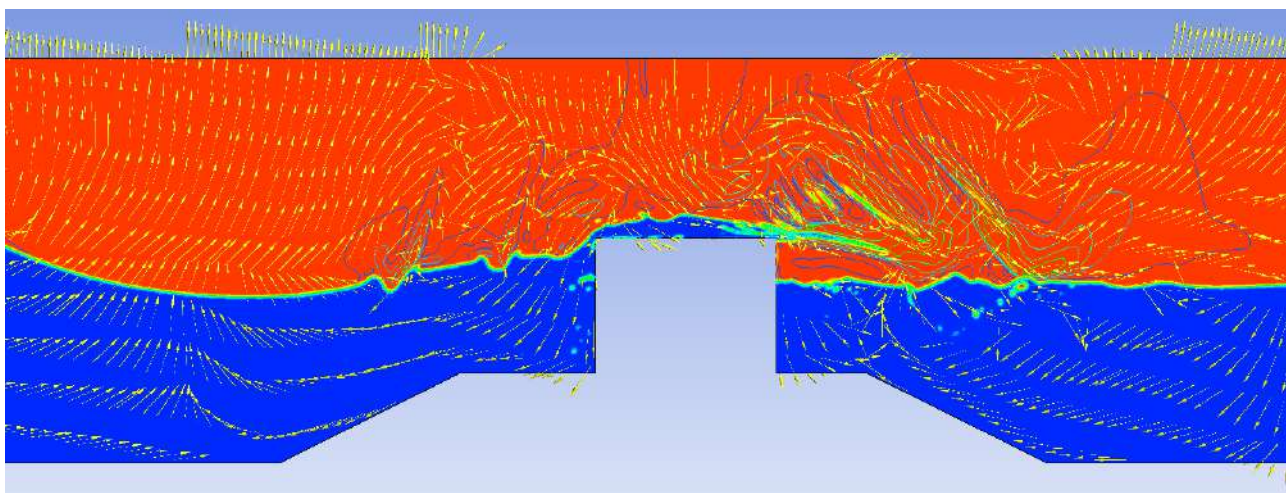


Рис. 3.20 Вектору руху часток води в момент часу 13 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 17 секунд від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.21.

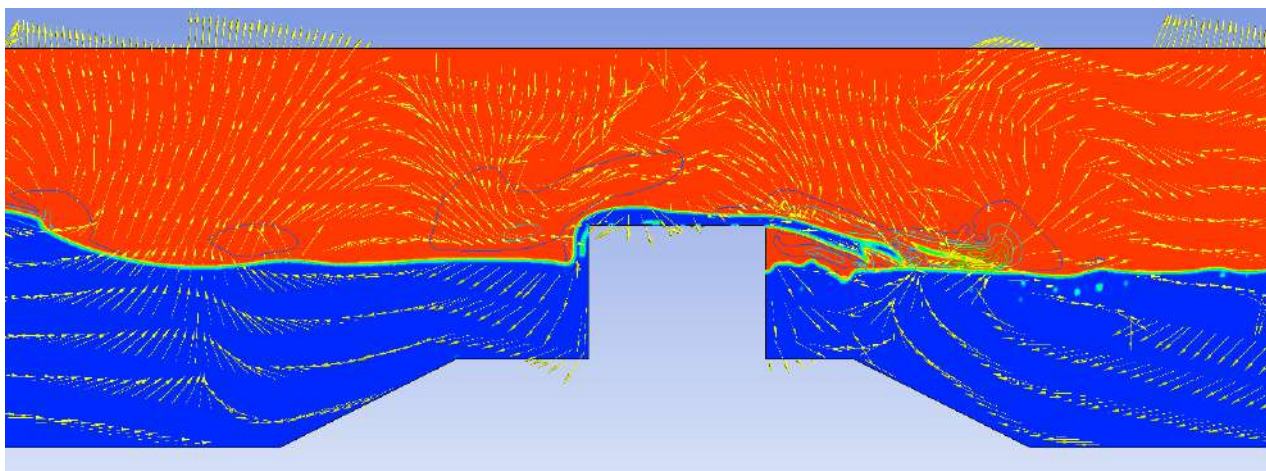


Рис. 3.21 Вектору руху часток води в момент часу 17 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 18 секунд від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.22.

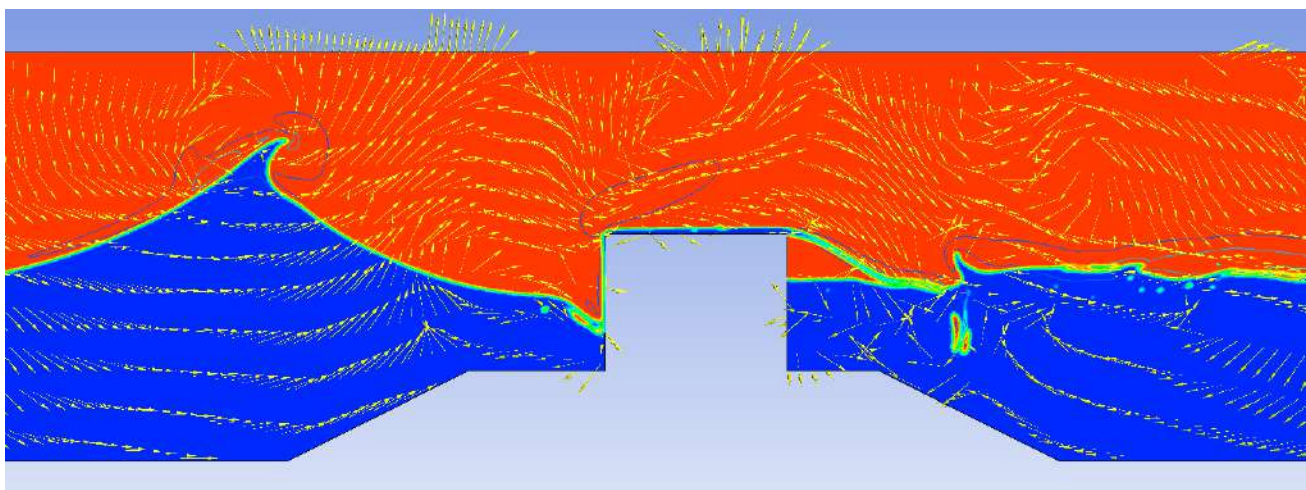


Рис. 3.22 Вектору руху часток води в момент часу 18 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 19 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.23.

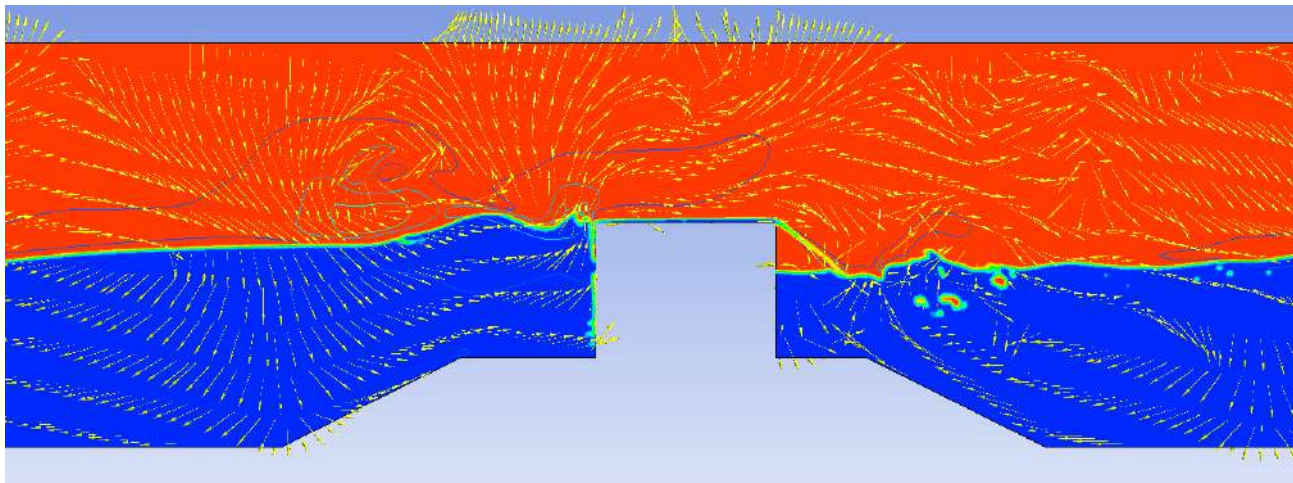


Рис. 3.23 Вектору руху часток води в момент часу 19 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 20 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлений на рис. 3.24.

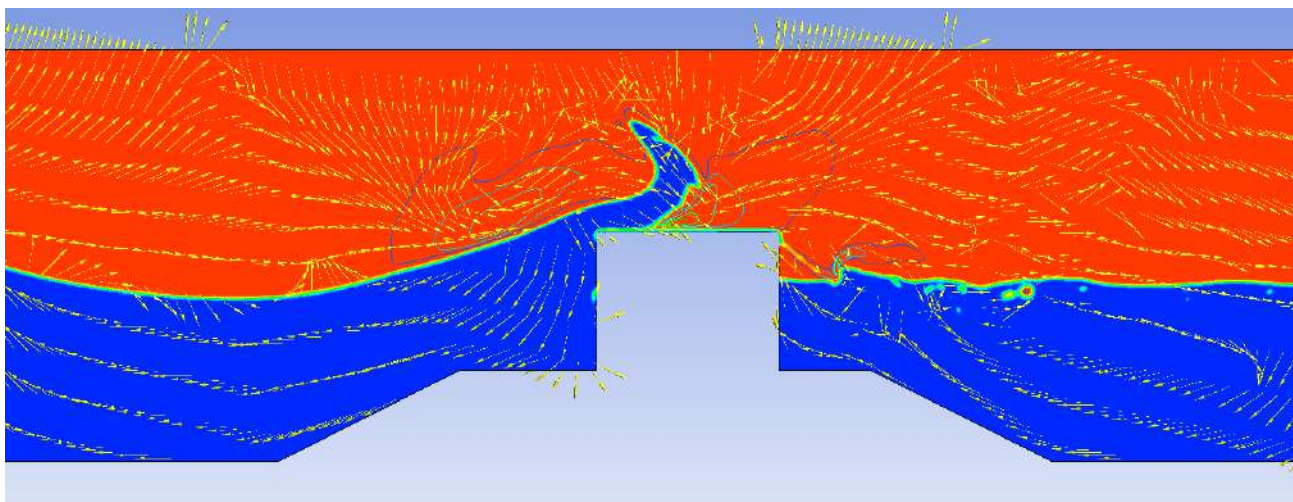


Рис. 3.24 Вектору руху часток води в момент часу 20 секунд від початку експерименту

Результати проведеного розрахунку в момент часу 21 секунди від початку проведення чисельного експерименту представлені на рис. 3.25.

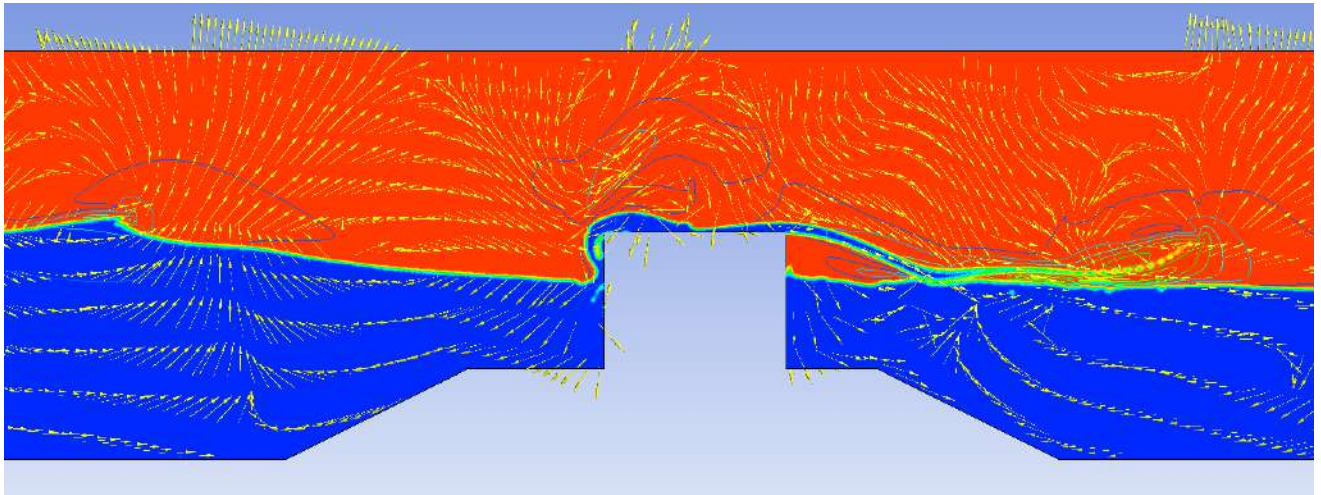


Рис. 3.25 Вектору руху часток води в момент часу 21 секунд від початку експерименту

В часовий термін починаючи з 10 секунди від початку проведення чисельного експерименту відбувався частковий перелив гребнів хвиль через верхню будову конструкції ОГТС неповного вертикального профілю на акваторію що захищається. У результаті переливу відбувалося формування погашених хвиль, які мали значно меншу висоту хвилі.

Отримані результати чисельного моделювання відповідають результатам фізичного експерименту які надані у додатку Б, табл. Б1. Так, при прийнятих вихідних даних, різниця висоти погашеної хвилі, отриманої при чисельному моделюванні та фізичному експерименті не перевищує величини 3,3%.

Аналіз результатів траєкторій руху води на представлених візуалізаціях результатів розрахунку показав, що ОГТС неповного вертикального профілю частково відражає хвилі від себе у зворотному напрямку, а гребінь частини хвилі, що не змінила напрям свого руху переливається на акваторію, що захищається. Відбита від споруди хвиля переміщується у зворотному напрямку вступає у взаємодію з хвилею подальшою, що підходить в результаті чого виникає часткове гасіння енергії хвилі див. рис. 3.22 - 3.25. При прийнятих вихідних даних початок взаємодії спостерігається на відстані половини довжини вихідної

хвилі та процес гасіння вираженою хвилею розтягнутий у часі при русі хвиль к споруді.

При цьому розрахункова висота хвилі прийнята рівній $h=2,4$ м, довжина хвилі $\lambda=24,5$ м, піднесення верхньої будови відносно спокійного рівня води на величині $\Delta H=1,0$ м; величина коефіцієнта гасіння становила - 0,72, а коефіцієнт проходження - 0,28, що говорить о том, що конструкція ОГТС неповного вертикального профілю погасила хвильову енергію на 72%, що відповідає результатам фізичного моделювання.

Висновки до розділу 3

1. Отримана експериментально-статистичну модель конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю:

$$h_r = 0,717 + 0,510 \cdot X_1 - 0,235 \cdot X_2 - 0,140 \cdot X_3 - 0,180 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,110 \cdot X_1 \cdot X_3$$

Модель дозволила встановити величину гасіння хвиль, що руйнуються, конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхню будову на акваторію, що захищається в залежності від висоти вихідної хвилі, піднесення верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю відносно спокійного рівня води, ширини верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю та їх взаємозв'язків.

2. У відповідності до першої серії проведених досліджень, було встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 2,17 рази величину впливу фактору піднесення верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю відносно спокійного рівня води ΔH , а також в 3,65 рази перевищує величину впливу фактору ширини верхньої будови на величину гасіння висот хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

3. Отримана експериментально-статистичну модель кам'яної постілі, розташованої в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю:

$$h_f = 1,729 + 0,883 \cdot X_1 - 0,125 \cdot X_2 + 0,083 \cdot X_3 - 0,267 \cdot X_1^2 - 0,105 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,067 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Модель дозволила встановити величину трансформації хвиль на кам'яній постілі при підході до верхньої будови конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю в залежності від висоти вихідної хвилі, глибини води в місці розташування ОГТС, висоти кам'яної постілі, та їх взаємозв'язків.

4. У відповідності до другої серії проведених досліджень, було встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 7,06 рази вплив фактору висоти кам'яної постілі d_p розташованої в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю, а також в 10,64 рази перевищує вплив фактору глибини води в місці розташування споруди d .
5. Проведені експериментальні дослідження з чисельного моделювання щодо визначення величини гасіння хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю, які підтвердили отримані результати фізичного моделювання. Так, при прийнятих вихідних даних, різниця висоти погашеної хвилі отриманої при чисельному моделюванні та фізичному експерименті не перевищує величини 3,3%.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ГАСІННЯ ХВИЛЬ ОГОРОДЖУВАЛЬНИМИ ГІДРОТЕХНІЧНИМИ СПОРУДАМИ НЕПОВНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

4.1 Метод визначення величини гасіння хвиль огороджувальними спорудами неповного вертикального профілю

Досліджені конструкції ОГТС неповного вертикального профілю можуть бути використані, як при будівництві нових морських портів, так і при проведенні реконструкції вже існуючих. Конструкції ОГТС неповного вертикального профілю також можуть бути використані і при захисті елементів берегової інфраструктури та узбережжя морських міст від силового впливу вітрових хвиль.

Споруди вертикального профілю можуть піддаватися впливу як стоячих, так і хвиль, що руйнуються [75]. Інтенсивність цих впливів залежить від розмірів кам'яної постілі. При проектуванні таких споруд, розрахункові параметри вітрових хвиль визначаються з урахуванням трансформації і рефракції безпосередньо у місці розташування ОГТС, що проектується. Забезпеченість розрахункового шторму встановлюється в залежності від класу відповідальності огороджувальних споруд з урахуванням вимог нормативного документу [22].

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень були розроблені два розрахункових сценарії. Перший з них полягав у встановленні впливу параметрів самої конструкції ОГТС неповного вертикального профілю на величину гасіння хвиль. Другий сценарій, полягав у визначенні параметрів кам'яної постілі, яка впливає на зміну висот хвиль при підході до верхньої будови огороджувальної споруди неповного вертикального профілю.

Таким чином, для розрахунку висот хвиль, які будуть проникати на акваторії, що захищаються при перелив і через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю (перший сценарій) (Рис 4.1), рекомендується використовувати до застосування емпіричну залежність (4.1).

$$h_r = 3 \cdot h_i \cdot h_b + 0,07 \cdot \Delta H + 0,013 \cdot b - 0,165 \quad (4.1)$$

$$h_b = (0,3 - 0,1 \cdot \Delta H - 0,01 \cdot b) \quad (4.2)$$

де: h_r – висота хвилі на акваторії, що захищається, м;

h_i – розрахункова висота хвилі, м;

ΔH – піднесення верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю відносно розрахункового рівня води, м;

b – ширина верхньої будови ОГТС, м;

h_b – допоміжний коефіцієнт, який визначається відповідно до формули (4.2).

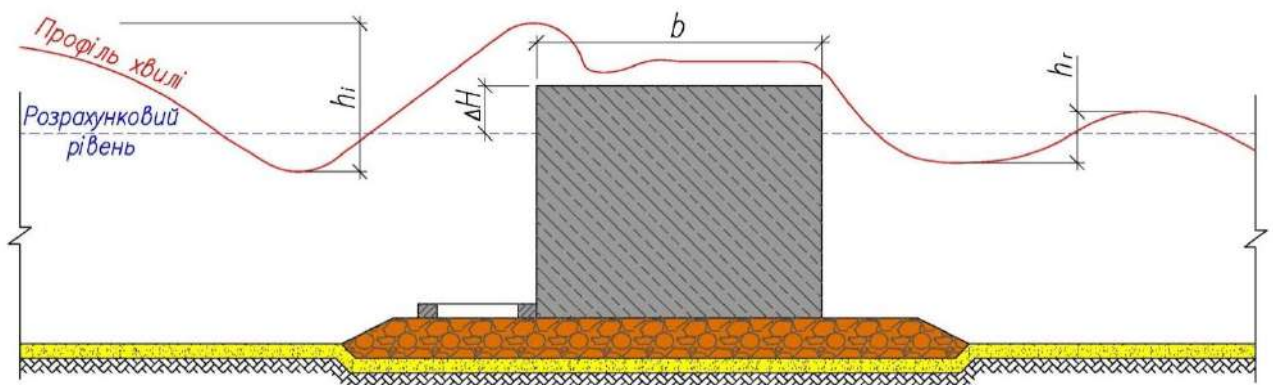


Рис. 4.1 Конструкція огорожувальної споруди неповного вертикального профілю

З метою зрівняння отриманої залежності (перший сценарій) з результатами значень погашених висот хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного профілю відповідно до методів розрахунків інших авторів [7, 148, 153], були виконані розрахунки, результати яких представлені в табл. 4.1 - 4.9.

Таблиця 4.1

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H = 1,0(\text{м})$ та ширині $b = 4,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,36	1,40	0,64	0,46	0,20
2	1,80	0,78	0,82	0,00	0,29	0,03
3	0,60	0,20	0,25	-0,63	-0,30	-0,47

Графічне зображення табл. 4.1 зображено на рис. 4.2.

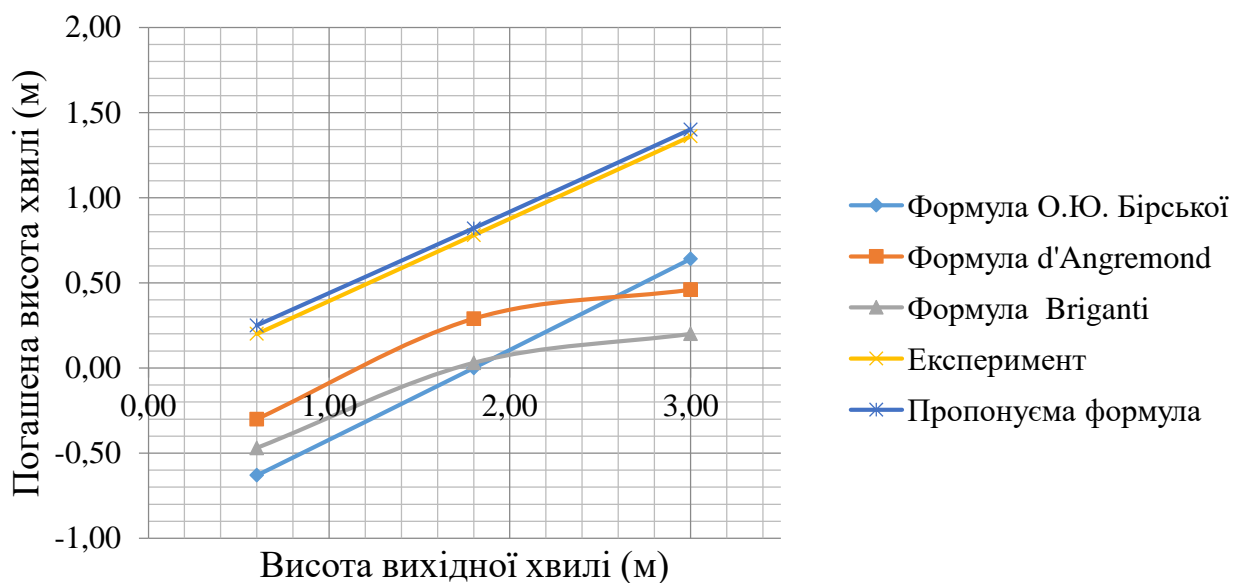


Рис. 4.2 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H = 1,0(\text{м})$ та ширині $b = 4,0(\text{м})$

Таблиця 4.2

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H = 0,5(\text{м})$ та ширини $b = 4,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,84	1,81	0,97	0,53	0,26
2	1,80	1,01	1,06	0,34	0,40	0,13
3	0,60	0,21	0,30	-0,29	0,03	-0,18

Графічне зображення табл. 4.2 представлено на рис. 4.3.

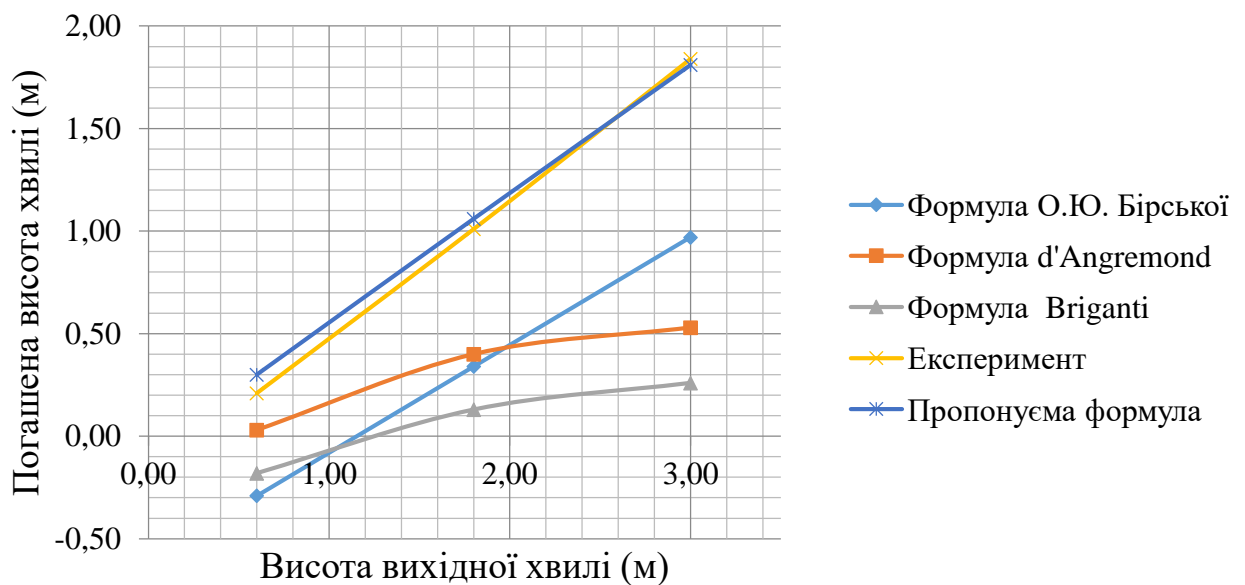


Рис. 4.3 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H = 0,5(\text{м})$ та ширині $b = 4,0(\text{м})$

Таблиця 4.3

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H=0(\text{м})$ та ширини $b=4,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висотах хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,96	2,23	1,31	0,60	0,32
2	1,80	1,11	1,29	0,68	0,51	0,23
3	0,60	0,31	0,36	0,05	0,36	0,11

Графічне зображення табл. 4.3 представлено на рис. 4.4.

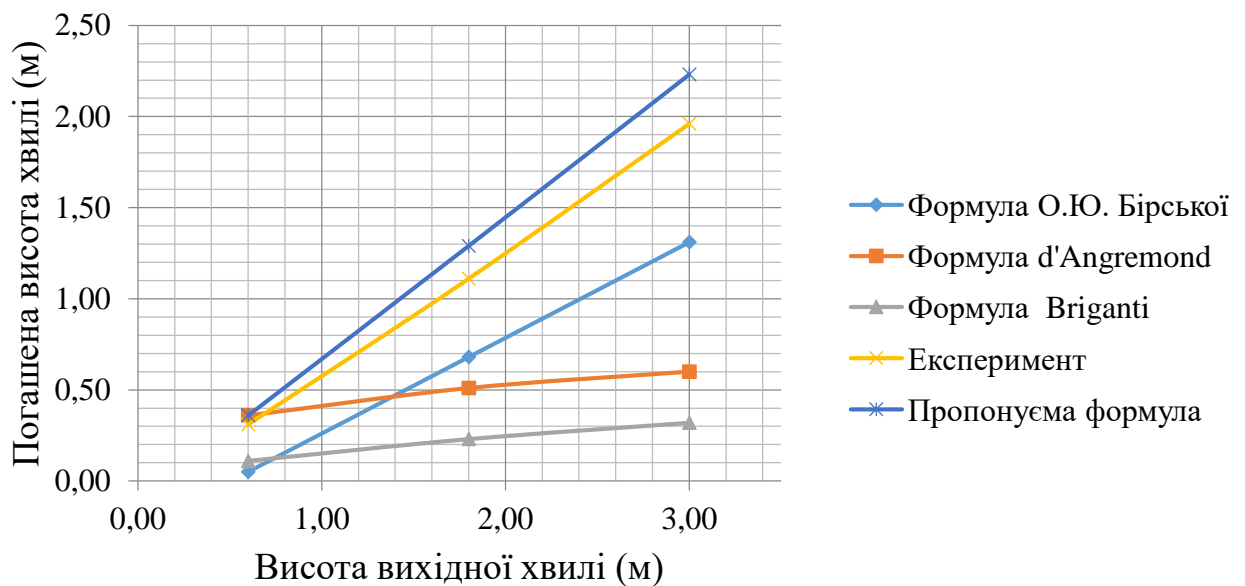


Рис. 4.4 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H=0(\text{м})$ та ширині $b=4,0(\text{м})$

Таблиця 4.4

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H=1,0(\text{м})$ та ширині $b=6,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,18	1,24	0,50	0,39	0,13
2	1,80	0,70	0,74	-0,13	0,23	-0,02
3	0,60	0,15	0,24	-0,77	-0,35	-0,50

Графічне зображення табл. 4.4 представлено на рис. 4.5.

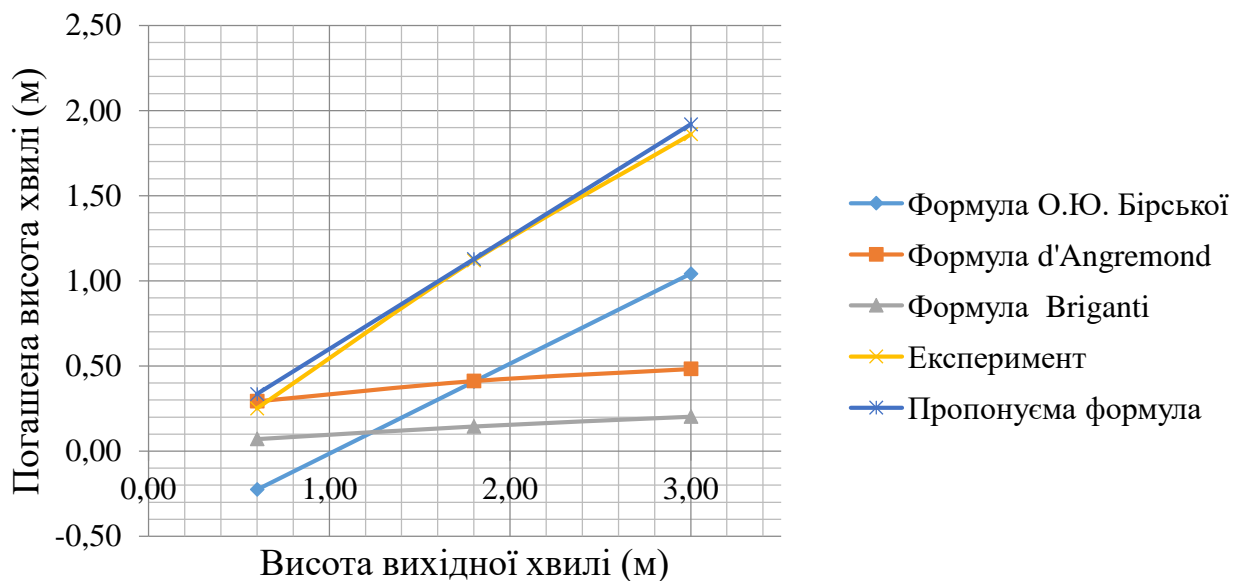


Рис. 4.5 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H=1,0(\text{м})$ та ширині $b=6,0(\text{м})$

Таблиця 4.5

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H = 0,5(\text{м})$ та ширині $b = 6,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,64	1,66	0,84	0,46	0,19
2	1,80	0,96	0,97	0,20	0,34	0,08
3	0,60	0,17	0,29	-0,43	-0,01	-0,21

Графічне зображення табл. 4.5 представлено на рис. 4.6.

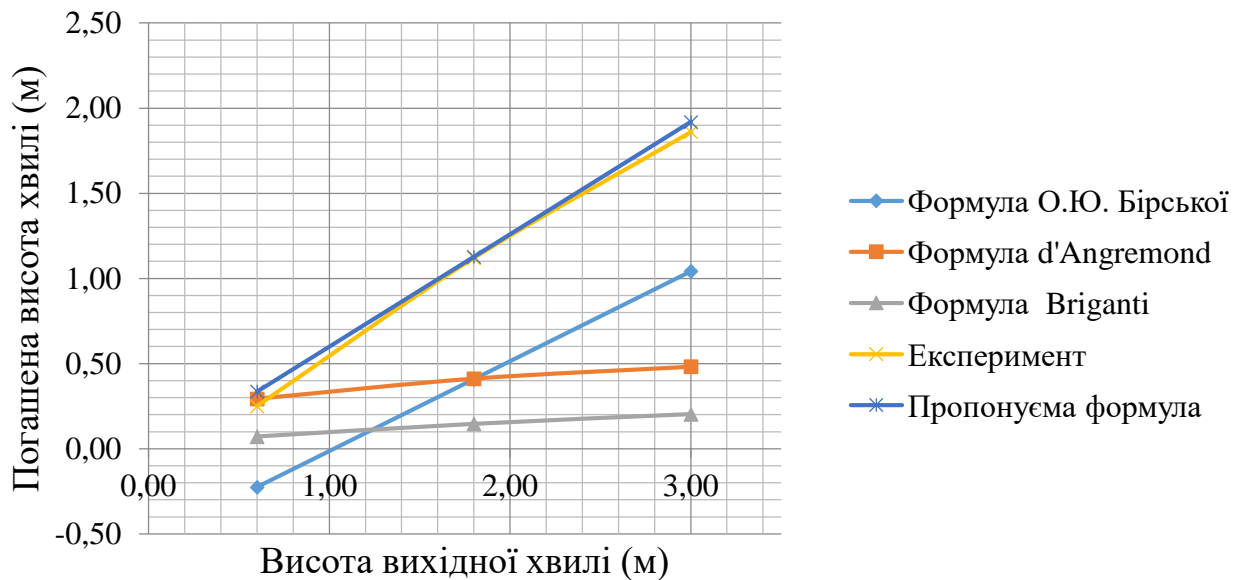


Рис. 4.6 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H = 0,5(\text{м})$ та ширині $b = 6,0(\text{м})$

Таблиця 4.6

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H=0(\text{м})$ та ширині $b=6,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	2,00	2,07	1,18	0,53	0,24
2	1,80	1,20	1,21	0,54	0,45	0,18
3	0,60	0,30	0,35	-0,09	0,32	0,09

Графічне зображення табл. 4.6 представлено на рис. 4.7.

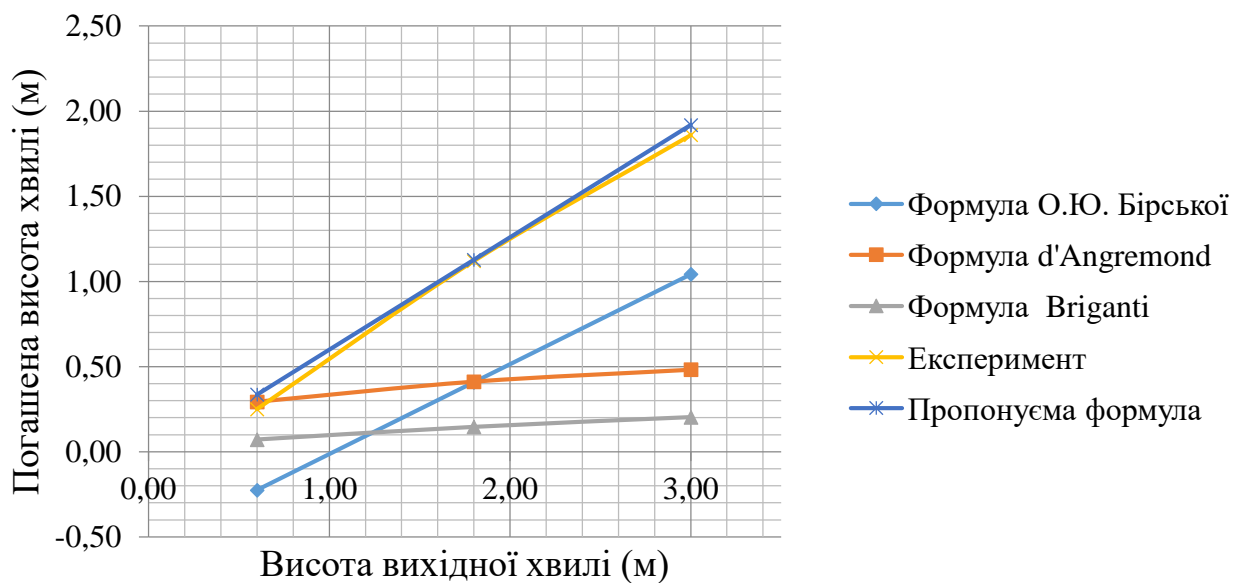


Рис. 4.7 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H=0(\text{м})$ та ширині $b=6,0(\text{м})$

Таблиця 4.7

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H=1,0(\text{м})$ та ширині $b=8,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,08	1,09	0,36	0,35	0,09
2	1,80	0,62	0,66	-0,27	0,19	-0,05
3	0,60	0,13	0,23	-0,90	-0,37	-0,51

Графічне зображення табл. 4.7 представлено на рис. 4.8.

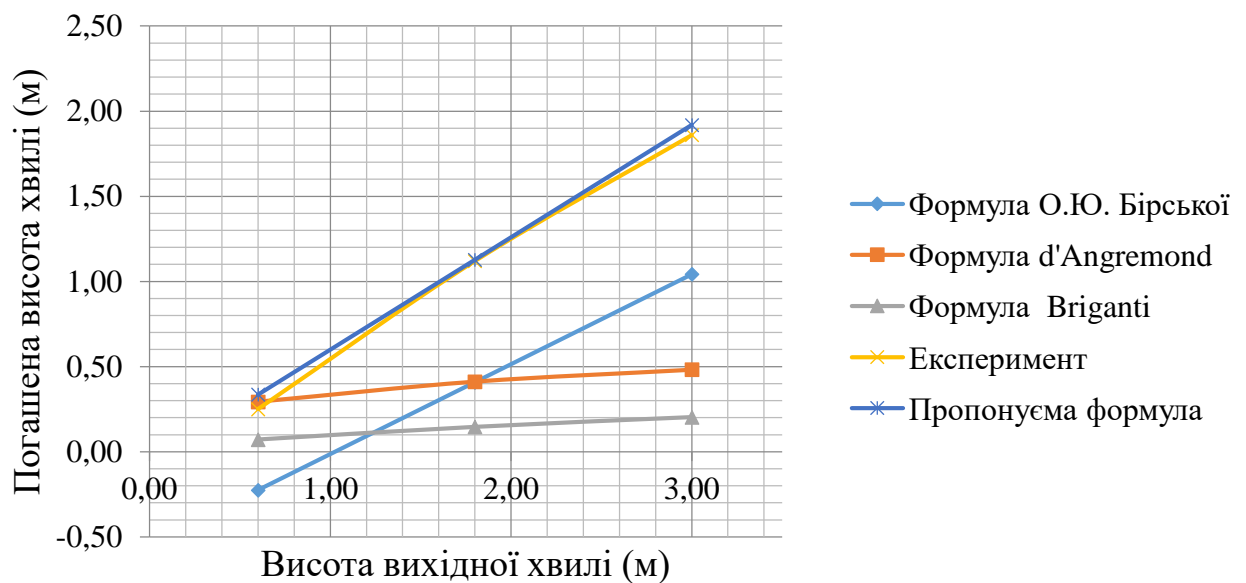


Рис. 4.8 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H=1,0(\text{м})$ та ширині $b=8,0(\text{м})$

Таблиця 4.8

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H=0,5(\text{м})$ та ширині $b=8,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,48	1,50	0,70	0,42	0,14
2	1,80	0,86	0,89	0,07	0,30	0,05
3	0,60	0,16	0,28	-0,56	-0,04	-0,22

Графічне зображення табл. 4.8 представлено на рис. 4.9.

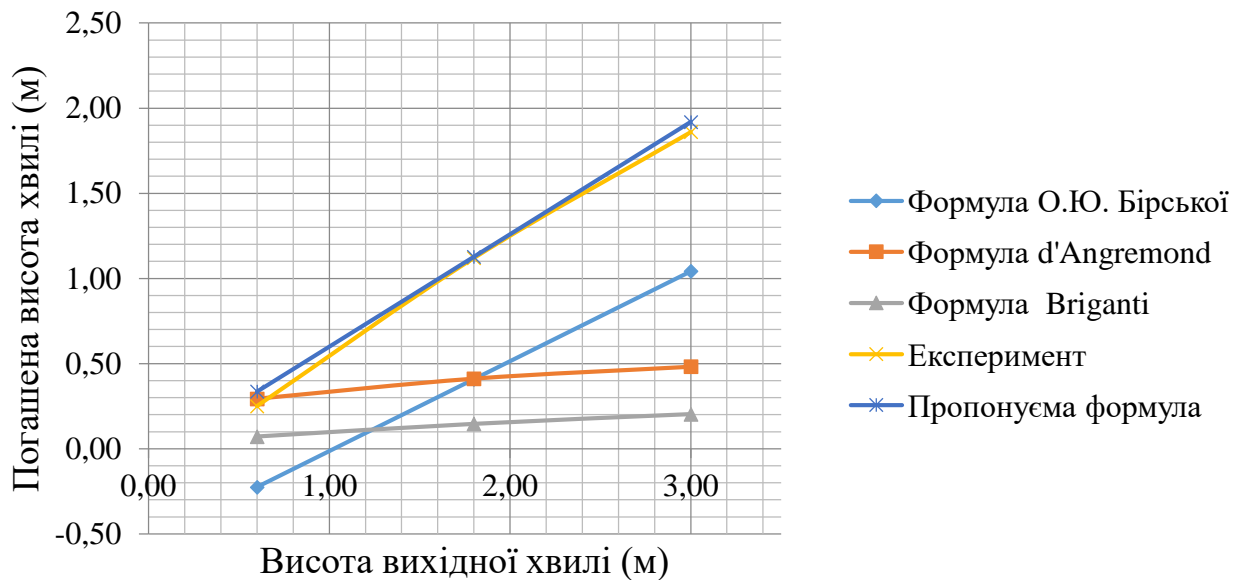


Рис. 4.9 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H = 0,5(\text{м})$ та ширині $b=8,0(\text{м})$

Таблиця 4.9

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при піднесенні верхньої будови $\Delta H = 0(\text{м})$ та ширині $b = 8,0(\text{м})$

№	Висота вихідної хвилі (м)	Погашена висота хвилі (м)				
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7
1	3,00	1,86	1,92	1,04	0,48	0,20
2	1,80	1,12	1,13	0,41	0,41	0,15
3	0,60	0,25	0,34	-0,23	0,29	0,07

Графічне зображення табл. 4.9 представлено на рис. 4.10.

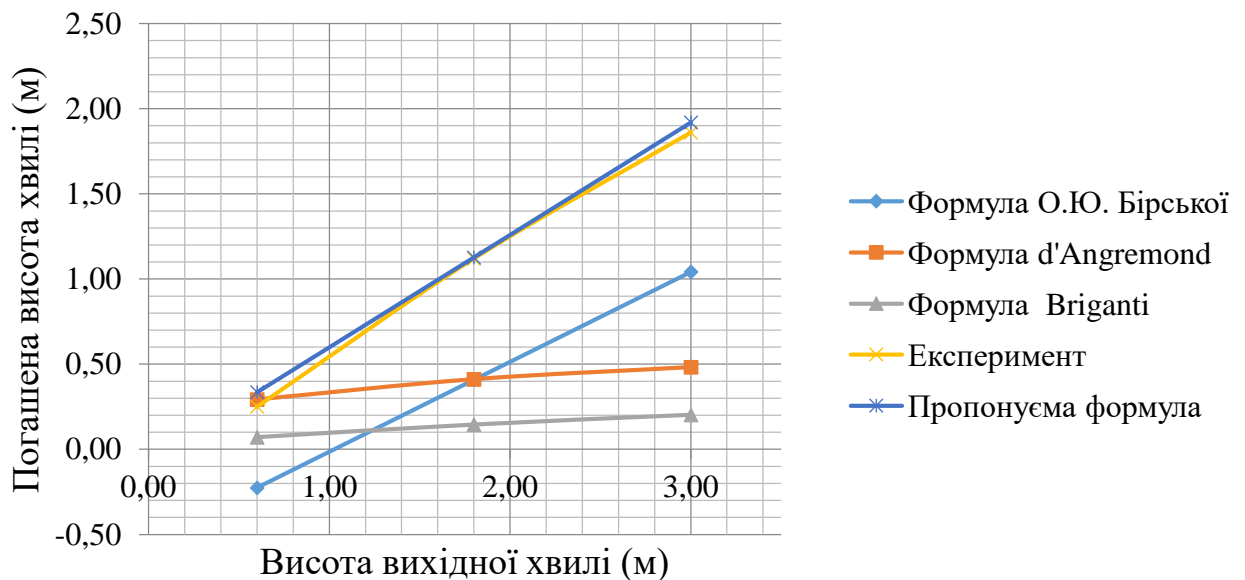


Рис. 4.10 Параметри гасіння хвиль при значенні піднесення верхньої будови $\Delta H = 0(\text{м})$ та ширині $b = 8,0(\text{м})$

В результаті зіставлення отриманого результату за розробленим методом, призначеного для визначення величини гасіння хвиль, що руйнуються

конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю (перший сценарій) з існуючими методами інших авторів [7, 148, 153], були встановлені суттєві відмінності. Різниця, вочевидь, обумовлена тим, що дослідження d'Angremond та Briganti [148, 153] були проведені на ОГТС, які були виконані з кам'яної начерки. Як відомо, такі споруди поглинають енергію хвиль і не відображають їх.

Що стосується досліджень О.Ю. Бірської [7], то аналіз зіставлень показав аналогічні розбіжності в параметрах гасіння хвиль, що досліджувались. Отримана різниця знаходилась в інтервалі від 80 до 300 %. Аналіз цих розбіжностей свідчить, що основною причиною є те, що у дослідженнях О.Ю. Бірської не враховувався вплив кам'яної постілі, яка була розташована в основі ОГТС неповного вертикального профілю.

4.2 Методика визначення величини трансформації хвиль кам'яною постіллю різних висот розташованою в основі огорожувальних споруд неповного вертикального профілю

При другому сценарії та впливі на вертикальну споруду стоячих хвиль (Рис. 4.11), необхідно встановити величину трансформованої хвилі на кам'яній постілі за допомогою емпіричної залежності (4.3):

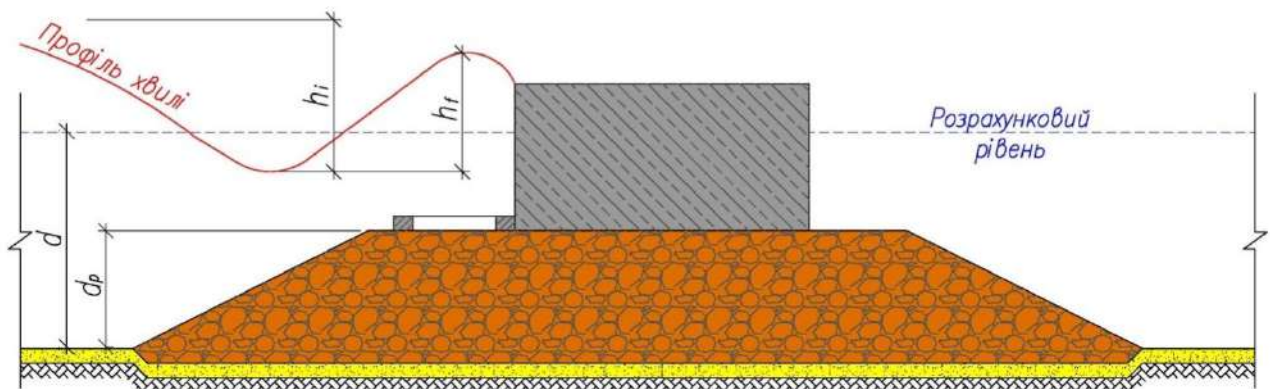


Рис. 4.11 Конструкція ОГТС з високою кам'яною постіллю

$$h_f = \left(\frac{h_i - 1,8}{1,2}\right) \cdot \left[0,89 - 0,225 \cdot (h_i - 1,8) - 0,21 \cdot (d_p - 1,5) + 0,134 \cdot (d - 4,5)\right] - 0,25 \cdot (d_p - 1,5) + 0,016 \cdot (d - 4,5) - 0,04 \cdot (d_p - 1,5) \cdot (d - 4,5) \quad (4.3)$$

де: h_f – трансформована висота хвилі над кам'яною постіллю перед верхньою будовою огорожувальної споруди, м;

h_i – висота вихідної хвилі в системі розрахункового шторму, м;

d – глибина води в місці розташування огорожувальної споруди, м;

d_p – висота кам'яної постілі, м.

У випадках, коли в основі ОГТС неповного вертикального профілю розташована висока кам'яна постіль (другій сценарій), по-перше необхідно визначення висоти трансформованої хвилі відповідно до формули (4.3), яка буде формуватися на підході до верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю, а далі необхідно скористатися формулою (4.1) і визначити висоти хвилі на самій акваторії, що захищається.

З метою зрівняння отриманої залежності (другій сценарій) з результатами значень трансформованих висот хвиль на кам'яній постілі розташованій в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю до методу розрахунку [75], були виконані розрахунки, результати яких представлені в табл. 4.10 - 4.12.

Таблиця 4.10

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=4,0$ (м)

№	Висота вихідної хвилі (м)	Трансформована висота хвилі над постіллю (м)		
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула СНиП 2.06.04-82*
1	2	3	4	5
1	3,00	1,80	1,98	1,95
2	1,80	1,56	1,53	1,37
3	0,60	0,56	0,54	0,60

Графічне зображення табл. 4.10 представлено на рис. 4.12.

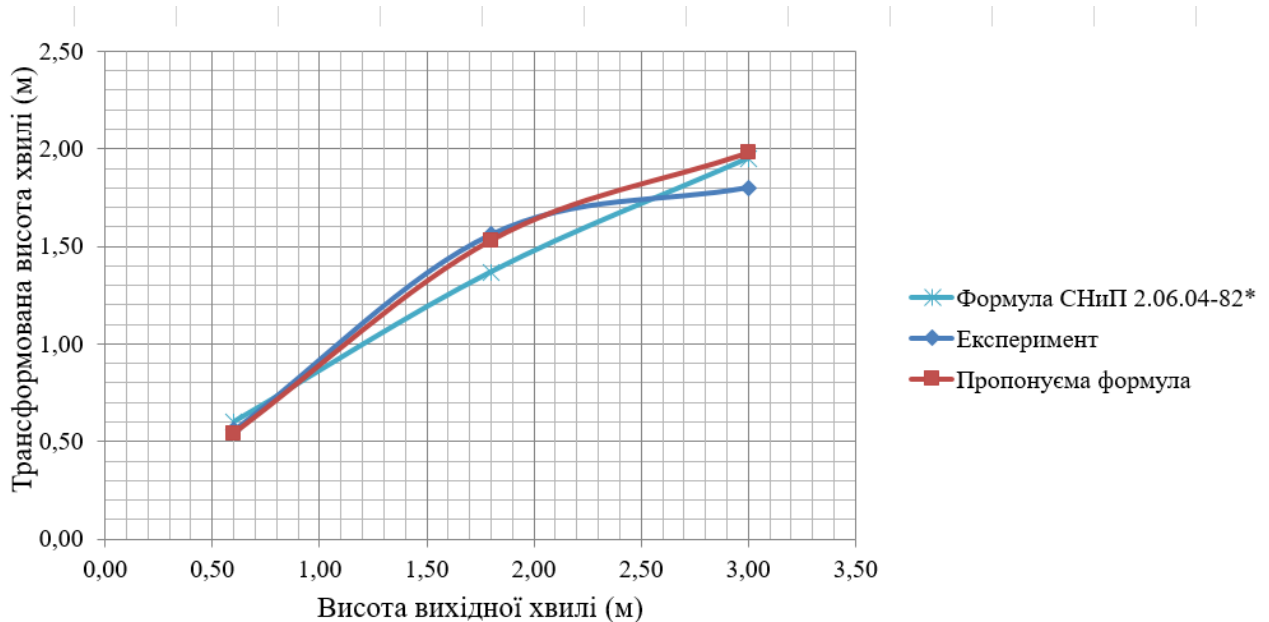


Рис. 4.12 Параметри трансформації хвиль при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=4,0$ (м)

Таблиця 4.11

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=4,5$ (м)

№	Висота вихідної хвилі (м)	Трансформована висота хвилі над постіллю (м)		
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула СНиП 2.06.04-82*
1	2	3	4	5
1	3,00	2,16	2,12	2,10
2	1,80	1,56	1,60	1,44
3	0,60	0,56	0,55	0,60

Графічне зображення табл. 4.11 представлено на рис. 4.13.

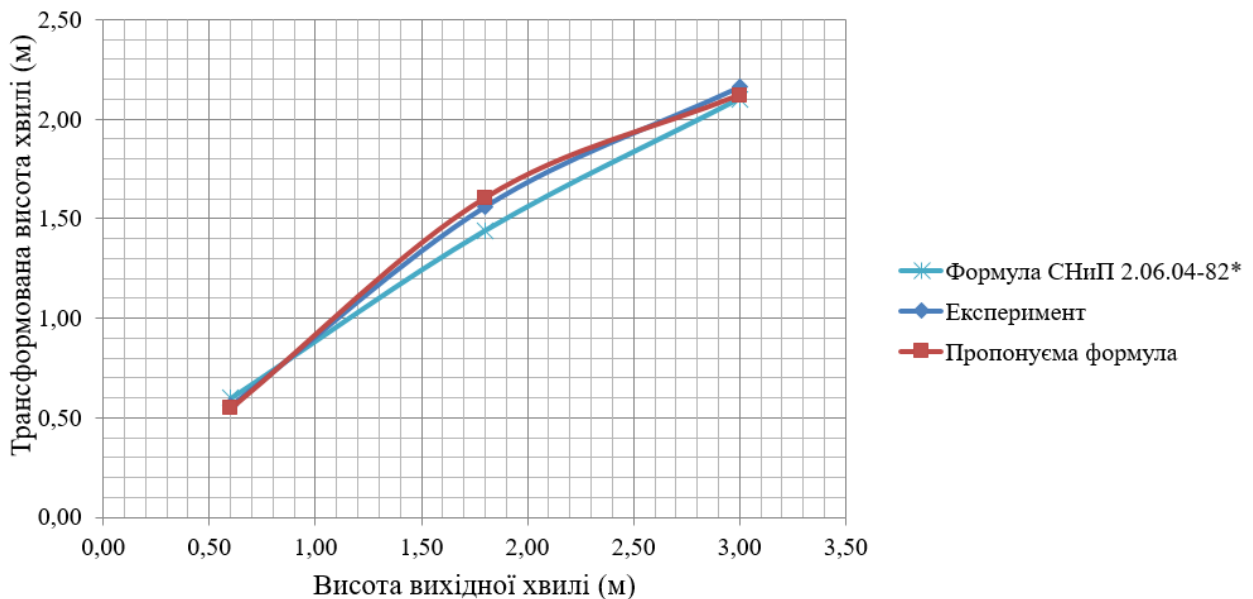


Рис. 4.13 Параметри трансформації хвиль при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=4,5$ (м)

Таблиця 4.12

Результати зрівняння експериментальних даних з існуючими методами розрахунку при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=5,0$ (м)

№	Висота вихідної хвилі (м)	Трансформована висота хвилі над постіллю (м)		
		Експеримент	Формула, що пропонується	Формула СНиП 2.06.04-82*
1	2	3	4	5
1	3,00	2,18	2,26	2,34
2	1,80	1,70	1,68	1,58
3	0,60	0,56	0,56	0,60

Графічне зображення табл. 4.12 представлено на рис. 4.14.

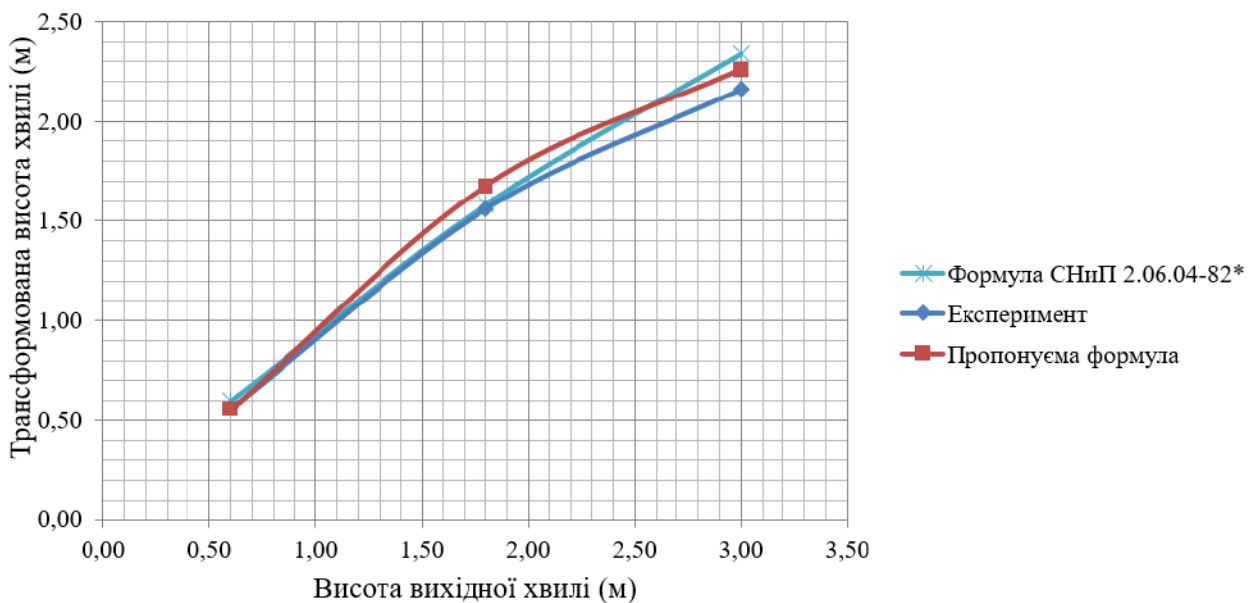


Рис. 4.14 Параметри трансформації хвиль при висоті кам'яної постілі $d_p=2,0$ (м) та глибина води $d=5,0$ (м)

Згідно до поставленої мети підвищення економічної привабливості нових проектів морських портів, а також проведення більш ефективної реконструкції існуючих ОГТС, була запропонована, інвестиційно - приваблива конструкція огорожувальної гідротехнічної споруди нового типу. Основним завданням якої є захист акваторій від руйнівного впливу вітровими хвилями і забезпечення умов швартування та обслуговування суден. Застосування конструкції ОГТС неповного вертикального профілю для захисту елементів берегової інфраструктури морських міст дозволить забезпечити збереження пляжного матеріалу у прибережній зоні, а також не сприятиме водообміну на акваторії, що захищається.

У відповідності з представленими результатами фізичного, а також чисельного експериментів, які були проведені на моделях конструкції ОГТС неповного вертикального профілю розташованих на кам'яній постілі були встановлені величини гасіння хвиль при переливі їх через верхню будову

При проведенню моделюванні розрахункова висота хвилі була прийнята $h=2,4$ м, і довжина хвилі $\lambda=24,5$ м, піднесення верхньої будови відносно спокійного рівня води складало величину $\Delta H=1,0$ м; і ширина верхньої будови $B=4,0$ м, графічне зображення конструкції ОГТС неповного вертикального профілю представлено на рис. 4.15.

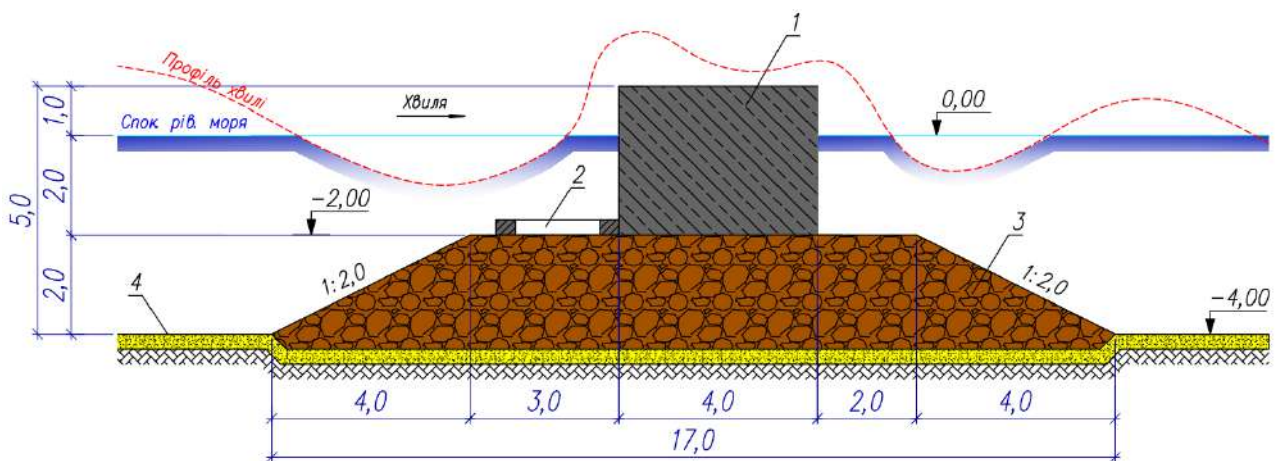


Рис. 4.15 Конструкція ОГТС неповного вертикального профілю

1 - бетонний масив; 2 - берменний масив (щільова плита);

3 - кам'яна постіль; 4 - морське дно

У відповідності до вимог нормативного документу [75] при впливі на конструкцію ОГТС розрахункових хвиль були отримані значення епюри хвильового навантаження, а також розрахункова позначка надводної будови огорожувальної споруди у відповідності до діючих вимог. Епюра хвильового навантаження від дії розрахункової хвилі на конструкцію ОГТС повного профілю представлена на рис. 4.16.

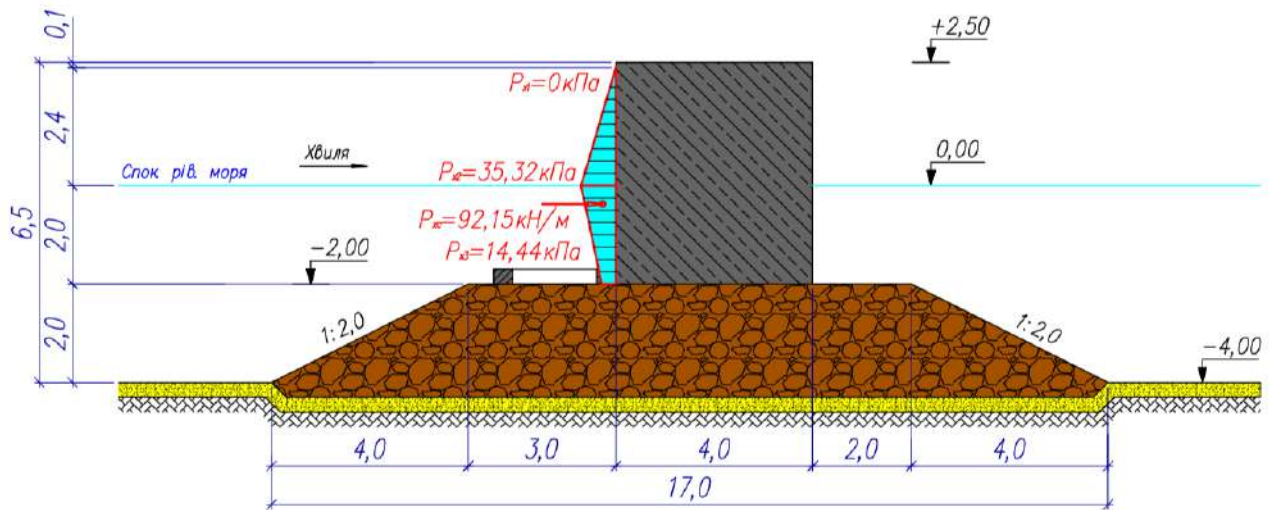


Рис. 4.16 Епюра хвильового навантаження на конструкцію ОГТС повного вертикального профілю

В результаті проведення подальших розрахунків була побудована очікувана епюра хвильового навантаження на конструкцію ОГТС неповного вертикального профілю, представлена на рис. 4.17.

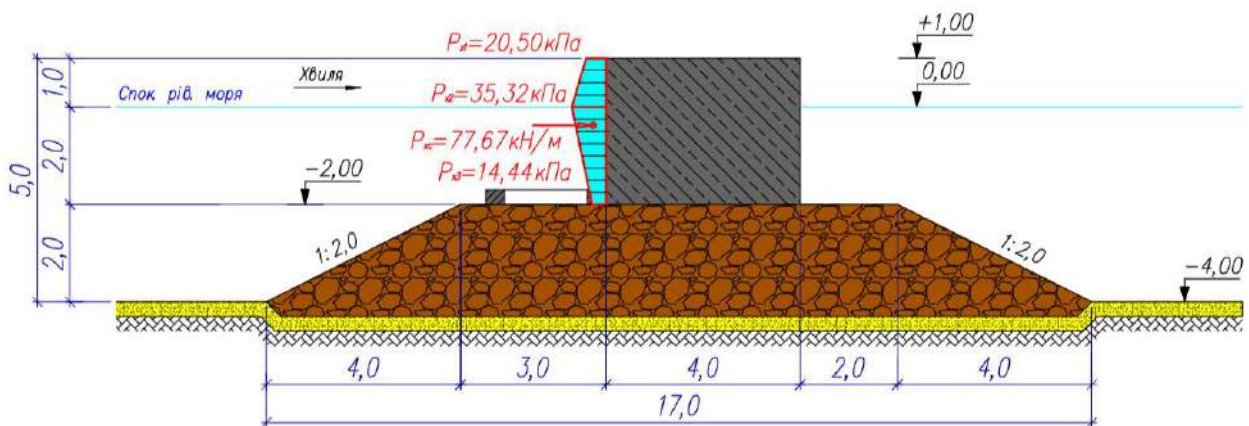


Рис. 4.17 Епюра хвильового навантаження на конструкцію ОГТС неповного вертикального профілю

В результаті проведення зіставлення отриманих значень епюр хвильових навантажень на конструкцію ОГТС повного та неповного вертикального профілів, було встановлено зменшення значення рівнодіючих хвильового навантаження на величину рівну 15,7%. У зв'язку з наданими порівняннями можливо встановити, що огорожувальна споруда неповного вертикального профілю буде потребувати значно меншу вагу для того щоб не втрачати стійкість. Зменшення ваги верхньої будови конструкції огорожувальної споруди, а в наслідок і об'ємів необхідних матеріалів для будівництва, призведе до зниження вартості.

Застосування в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю високої кам'яної постілі дозволить не тільки зменшити висоту вихідної хвилі при підході к верхній будові огорожувальної споруди, а також і приведе к зменшенню величини значень крайових напружень по контакту кам'яної постілі з ґрунтом основи. Це дозволить застосовувати конструкцію ОГТС неповного вертикального профілю на ґрунтах з невисокою несучою здатність.

Представлені в роботі емпіричні залежності можуть бути використані в інженерній практиці. Зменшення позначки надводної будови ОГТС призведе до того, що момент в впливу розрахункового шторму, буде виникати перелив гребнів хвиль одновідсоткової забезпеченості через верхню будову ОГТС на акваторію, що захищається. У зв'язку з тим, що допустимі висоти хвиль на акваторіях портів регламентуються РД 31.33.10-87 «Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищённых от волн причалов», та Р 31.3.07-01 «Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на гидротехнические сооружения», в залежності від водотоннажності розрахункового судна, а також від розташування судна по відношенню до фронту хвиль. Немає необхідності в повному гасінні, а лише доведенні їх висот до допустимих значень. Величини погашених висот хвиль при переливі через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю на акваторію, що захищається, можуть бути встановлені у відповідності до запропонованих методів.

Висновки до розділу 4

1. Отримана емпіричну залежність, яка призначена для визначення величини гасіння хвиль, що руйнуються конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю.
2. В результаті проведеного зіставлення отриманого методу, призначеного для визначення величини гасіння хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю з існуючими методами інших авторів, були встановлені суттєві відмінності. Різниця, вочевидь, обумовлена тим, що дослідження d'Angremond та Briganti були проведені на ОГТС неповного профілю виконаних з кам'яної начерки. Що стосується досліджень О.Ю. Бірської, то аналіз зіставлень показав, аналогічні розбіжності в величинах гасіння хвиль. Отримана різниця знаходилась в інтервалі від 80 до 300 %. Аналіз цих розбіжностей свідчить, що основною причиною є те, що у дослідженнях О.Ю. Бірської не враховувався вплив кам'яної постілі, яка була розташована в основі ОГТС неповного вертикального профілю.
3. Отримана емпірична залежність, яка призначена для визначення величини трансформації хвиль на кам'яній постілі різних висот.
4. В результаті проведеного зіставлення отриманого методу призначеного для визначення величини трансформації хвиль на кам'яній постілі різних висот розташованої в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю з методом СНиП 2.06.04-82* не були встановлені суттєві відмінності, отримана різниця становить 6%.
5. В результаті проведеного зіставлення отриманих значень епюр хвильових навантажень на конструкції ОГТС повного та неповного вертикального профілів, було встановлено зменшення значення рівнодіючих хвильового навантаження на величину рівну 15,7%. У зв'язку з наданими порівняннями можливо встановити, що огорожувальна споруда неповного вертикального профілю буде потребувати значно меншу вагу для того щоб не втрачати стійкість.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено зрівняння та аналіз існуючих методів призначених для визначення величини гасіння хвиль конструкціями огорожувальних споруд неповного профілю, встановлені суттєві відмінності в підходах вирішення цього питання, які пов'язані з невідповідністю форми поперечного перерізу ОГТС та висот вихідних хвиль. Так, при зіставленні отриманих результатів за різними методами, визначено, що висоти погашених хвиль конструкціями ОГТС відрізняються в окремих випадках майже на порядок. Це пов'язано з деякими невідповідностями існуючих методів параметрам конструкції ОГТС неповного вертикального профілю. Вочевидь, ці відмінності свідчать про неможливість застосування жодного з представлених методів без відповідного експериментального обґрунтування.

2. Отримані результати лабораторних експериментальних досліджень на фізичних моделях конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю при впливі стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються, при переливі їх через верхню будову огорожувальних споруд на акваторію, що захищається.

3. Отримано експериментально-статистичну модель конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, яка дозволяє встановлювати величину гасіння хвиль, що руйнуються, конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхню будову в залежності від висоти вихідної хвилі, піднесення верхньої будови конструкції ОГТС відносно спокійного рівня води, ширини верхньої будови та їх взаємозв'язків. Отримано експериментально-статистичну модель кам'яної постілі, розташованої в основі ОГТС неповного вертикального профілю, яка дозволяє встановлювати величину трансформації хвиль при підході до верхньої будови конструкції ОГТС в залежності від висоти вихідної хвилі, глибини води в місці розташування споруди, а також висоти кам'яної постілі та їх взаємозв'язків.

4. Встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 2,17 рази величину впливу фактору піднесення верхньої будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю відносно спокійного рівня води ΔH , а

також в 3,65 рази перевищує величину вплив фактору ширини верхньої будови на гасіння висот вихідних хвиль.

5. Встановлено, що вплив фактору висоти вихідної хвилі h_i перевищує в 7,06 рази вплив фактору висоти кам'яної постілі d_p розташованої в основі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю, а також в 10,64 рази вплив фактору глибини води в місці розташування конструкції огорожувальної споруди d .

6. Проведені експериментальні дослідження з чисельного моделювання щодо визначення величини гасіння хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю, які підтвердили достовірність отриманих результатів фізичного моделювання. Так, при прийнятих вихідних даних, різниця висоти погашеної хвилі конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю, отриманих при чисельному моделюванні та фізичному експерименті, не перевищує величини 3,3%.

7. Розроблений метод визначення величини гасіння хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхню будову конструкції споруди на акваторію, що захищається.

8. Розроблений метод визначення величини трансформації хвиль на кам'яній постілі різних висот, розташованих в основі верхньої будови конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю.

9. В результаті зіставлення отриманих значень епюр хвильових навантажень на конструкції ОГТС повного та неповного вертикального профілів, було встановлено зменшення значення рівнодіючих хвильового навантаження на величину рівну 15,7%. У зв'язку з наданими порівняннями можливо встановити, що огорожувальна споруда неповного вертикального профілю буде потребувати значно меншу вагу для того щоб не втрачати стійкість.

10. Розроблена і запропонована нова конструкція огорожувальної гідротехнічної споруди неповного вертикального профілю, яка має високі властивості гасіння хвиль при значно менших конструктивних розмірах і вазі

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алешков Ю.З. Дифракция гравитационных волн оградительными сооружениями // Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. №34 «Волновые воздействия на обтекаемые преграды» Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1967. 296 с.
2. Алешков Ю.З. Течение и волны в океане. С.- Петербург: издательство С.- Петербургского университета, 1996. 226 с.
3. Алешков Ю.З. Теория взаимодействия волн с преградами. Л.: Изд-во ЛГУ 1990. с. 246.
4. Альхименко А. И. и др. Гидротехнические сооружения морских портов: Учебное пособие / Под ред. А. И. Альхименко - СПб.: - Издательство «Лань», 2014. 427 с.
5. Башкиров Г.И. Расчет гашения волн сквозных волноломах типа экранов и решеток. / Г.И. Башкиров. Морской флот, Москва 1959, вып. №6. – Предм. указ.: С. 19 ÷ 21.
6. Беккер А.Т. Оградительные сооружения морских портов. Владивосток: издательство ДВГТУ, 1995. 330 с.
7. Бирская О.Ю. Исследование воздействия разбивающихся волн на сооружения неполного вертикального профиля. / О.Ю. Бирская, Г.Д. Натальчишин. Гидротехническое строительство, Москва 1982, вып. №6 . – Предм. указ.: С. 45 ÷ 47. – 5219 экз. – УДК 627.522.001.57.
8. Бреббиа К., Уокер С. Динамика морских сооружений Пер. с английского. - Л.: Судостроение, 1983. 229 с.
9. Бычков В.С., Стрекалов С.С. Морские нерегулярные волны. М.: Наука, 1971. 132 с.
10. Будівництво у сейсмічних районах України. ДБН В.1.1-12:2014. Мінрегіонбуд України, Київ 2014. 110 с.
11. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. Перевод с английского Соколовская Л.В. М.: Мир, 1986. 134 с.

12. Василевский Ю.И., Полухин В.А., Яковенко В.Г. Портовые береговые сооружения и их эксплуатация. М.: Транспорт, 1978. 304 с.
13. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976. 479 с.
14. Винокуров Б.Г. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких сред. Учебное пособие для академического бакалавриата / Б.Г. Винокуров. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 187 с.
15. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - М.: Статистика, 1974. 182 с.
16. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика. 1981. 263 с.
17. Волновые исследования гидротехнических сооружений». М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 188 с.
18. Вольцингер Н.Е. Длинные волны на мелкой воде. М.: Гидрометеиздат, 1985. 160 с.
19. Галенин Б.Г. Оценка потока энергии штормовых волн. – Труды Союзморниипроекта №52. М.: Транспорт, 1979. 132 с.
20. Гамаженко В.С. Опыт применения морских берегоукрепительных сооружений, Министерство строительства предприятий машиностроения, М.: 1950. 149 с.
21. Глуховский Б.Х. Исследование морского ветрового волнения. Гидрометиздат, Л, 1966. 284 с.
22. Гідротехнічні споруди. Основні положення. ДБН В.2.4 - 3:2010. Мінрегіонбуд України, Київ 2010. 39 с.
23. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. СНиП 2.06.01-86. Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. 28 с.

24. Горгуца Ю.В. Теория и практика принятия решений при проектировании и эксплуатации морских портов. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ, докт. техн. наук. С. - Петербург: СПГУВК, 2005. 254 с.
25. Горюнов Б.Ф. Морские порты. - М.: Транспорт, 1979. 368 с.
26. Гречищев Е.К. Волногасящие покрытия перед стенами. – Транспортное строительство, 1981, №7. 124 с.
27. Дорофеев В.С., Рогачко С.И. Воздействие ветровых волн на гидротехнические сооружения. Учебник для студентов высших учебных заведений. Одесса – 2012. 224 с.
28. Джунковский Н.Н. Действие ветровых волн на гидротехнические сооружения. Стройиздат Наркомстроя, 1940. 154 с.
29. Джунковский Н.Н., Каспарсон А.А., Курлович В.В. и др. Порты и портовые сооружения. М.: Стройиздат, 1967. 447 с.
30. Жданов А.М. Опыт строительства морских гидротехнических сооружений за рубежом. – Сообщение Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства №81, М., 1956. 271 с.
31. Жуковец А.М. О методике моделирования волнового режима на огражденных акваториях // Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. №50 «Волны и их воздействия на сооружения». Л.: Энергия, Ленинградское отделение, 1969. С. 693÷699.
32. Загрядская Н. Н. Результаты исследований расчетов воздействия стоячих волн на вертикальную стену. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 50. «Энергия», Л, 1969. С. 86÷97.
33. Загрядская Н. Н. Расчет с применением ЭВЦМ воздействия стоячих волн на вертикальную стену. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 50. «Энергия», Л, 1969. С. 339÷352.
34. Загрядская Н.Н. Расчёт нагрузок от волн на гидротехнические сооружения вертикального профиля (Рекомендации для проектирования).- Л., «Энергия», 1975.

35. Зуйков А.Л. Гидравлика: учебник: в 2 томах. Т. 2: Напорные и открытые потоки / А.Л. Зуйков, Л.В. Волгина. – М. Изд-во МИСИ – МГСУ, 2017. 424 с.
36. Зайцев Ю.П., Яценко В.А. Экологические аспекты гидротехнического строительства в прибрежной зоне моря. – Биология моря, №5, 1983. С.62.
37. Зеленский И.П. Противооползневые и берегозащитные мероприятия в Одессе. - В кн.: Инженерная защита берегов Черного моря и рациональное использование прибрежных территорий, К.: Будівельник, 1968.
38. Золотов В.П. Буна из блоков - косоугольных параллелепипедов. - Транспортное строительство, 1980, №10. С.86.
39. Иваненко Э.В. Расчетные характеристики волнения при моделировании морских берегозащитных сооружений. Сборник научных трудов. Защита морских берегов. М.: ЦНИИС, 1978. С. 104÷110.
40. Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов. Главное инженерное управление ВМФ ВСН 80 - 80. М.: 1981. 131 с.
41. Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов ВСП 33 – 03 – 2007.: ЦНИИС – М.: - 2008. 132 с.
42. Иордапишвили И.К. Реализация численного метода для прогноза волнового режима на огражденных акваториях в Колхидской зоне Черного моря // Труды VI конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». Москва, 2004. С. 223÷225.
43. Каваками Ё. Тенденции в развитии портовых оградительных сооружений. Пер. с японского. М.: Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации. Пер. № Б-40192, 1980. 22 с.
44. Калинин С.Г., Солдаткин А.В. Исследование волнового режима на огражденной акватории методом конечных элементов // Сб. «Гидротехнические сооружения». Владивосток, 1988. С. 31÷34.

45. Кирпичев М.В. Теория подобия. - Изд. АН СССР, 1953, 94 с.
46. Кожевников М.П. Гидравлика ветровых волн. – М. «Энергия», 1972. 263 с.
47. Кононкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. М.: Изд-во МГУ, 1985. 298 с.
48. Крылов Ю.М., Стрекалов С.С., Цыплухин В.Ф. Ветровые волны и их воздействие на сооружения. – Л. Гидрометеиздат, 1976. 256 с.
49. Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. – Л. Гидрометеиздат, 1966. 256 с.
50. Крылов Ю.М. К теории трехмерных морских волн. - Труды ГОИН, вып. 21 (33), ГИМИЗ, 1952. С. 7÷11.
51. Крылов Ю.М., Стрекалов С.С., Поляков Ю.П. и др. Ветер, волны и морские порты. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 264 с.
52. Кузнецов А.И. Взаимодействие стоячих волн с вертикальными стенками. Сборник трудов МИСИ им. В.В. Куйбышева, №20, М, 1957. С. 21÷32.
53. Кузнецов В.П., Мальцев В.П., Шульгин Я.С. Результаты моделирования подводного волнолома распластанного профиля для принудительной трансформации волн. Сборник научных трудов. Защита морских берегов. М.: ЦНИИС, 1978.
54. Кульмач П.П. Гидродинамика гидротехнических сооружений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 192 с.
55. Кульмач П.П., Филлипенко В.З., Заритовский Н.Г. Морские гидротехнические сооружения. Основы морской гидрологии и оградительные сооружения. Л.: Изд-во ЛВВИСУ, Ч.1. 1990.
56. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.Н. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. – Л. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, Л 1990. 432 с.
57. Лаппо Д.Д. Силовое воздействие гравитационных волн при обтекании гидротехнических сооружений. АН СССР, М., 1962.

58. Лаппо Д.Д. Силовое воздействие гравитационных волн на горизонтальные обтекаемые преграды. Сборник трудов № 6, ВМФ, Л, 1960. С. 188÷197.

59. Лаппо Д.Д., Соколов А.В., Мищенко С.С., Каплун В.В. Некоторые из основных положений корректировки раздела СН 92-60. Труды координационных совещаний по гидротехнике, выпуск 34 «Энергия», 1967.

60. Леонова А.Н. Экспериментальное определение коэффициентов гидравлических сопротивлений различных видов проницаемых набросок. Труды ЦНИИС. Вып. 208. - М.: ЦНИИ, 2002.

61. Ле Меоте Б. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 367 с.

62. Лызлов И.А. Исследование эффективной работы подводных волноломов различных типов. / И.А. Лызлов. Диссертация, Одесса 1963 г. ОИИМФ. 324 с.

63. Лятхнер В.М., Прудовский М. Гидравлическое моделирование. М.: Энергоатомиздат, 1984. 392 с.

64. Любченко Е.А. Планирование и организация эксперимента. Часть 1. / Е.А. Любченко, О.А. Чуднова. Изд-во ТГЭУ, Владивосток 2010, – УДК 519.242. 519.242.7. 156 с.

65. Мальцев В.П. Новые конструкции волногасящих биопозитивных сооружений из сквозных блоков. Сборник научных трудов. Защита морских берегов. М.: ЦНИИС, 1995. 134 с.

66. Мальцев В.П. Некоторые результаты крупномасштабного моделирования волнового нагона в заволноломной акватории // Труды всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства, вып. 21. М.- 1967. 186 с.

67. Мальцев В.П., Макаров К.Н. Новые конструкции портовых берегозащитных сооружений из сквозных блоков // Гидротехническое строительство. 1996. - №1.

68. Мелик-Бахьямян И.Я., Тевдоршвили А.Е. Технико-экономическое сравнение берегоукрепительных и защитных сооружений. - Транспортное строительство, 1977, №2.
69. Методические указания по определению ветровых и волновых условий при проектировании морских портов РД 31.33.02-81. М.: Союзморниипроект, 1981. 91 с.
70. Методические рекомендации по исследованию строительных конструкций с применением математического и физического моделирования. Киев, НИИСК, 1987. 85 с.
71. Миронов М.Е., Филлипенко В.З. Волны и их воздействия на морские гидротехнические сооружения. СПб.: Изд-во СПбВВИСУ, 1993.
72. Миронов М.Е. Нелинейные волны и их воздействие на плоские стенки. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2001.
73. Михаленко Е.Б., Мищенко С.М., Фролов А. Новые методы нормирования волновых нагрузок на морские гидротехнические сооружения. Гидротехнические сооружения, №11, 1998.
74. Михеев В.П. Датчики и детекторы. Учебное пособие / В.П. Михеев, А.В. Просандеев. – М.: МИФИ, 2007. 172 с.
75. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) СНиП 2.06.04-82* - М, Стройиздат, 1995. 44 с.
76. Налимом В.В. Теория эксперимен. Изд-во «Наука» М.: Главная редакция филико-математической литературы, 1971. 124 с.
77. Никеров П.С., Яковлев П.И. Морские порты. М.: Транспорт, 1987. 416 с.
78. Нормы технологического проектирования морских портов. РД 31.3.05-97. М.: Транспорт, 1998. 177 с.
79. Ньюмен Дж. Морская гидродинамика. Л.: Судостроение, 1985.
80. Офицеров А.С. Лабораторные гидравлические исследования морских портов // Труды гидравлической лаборатории ВНИИ ВОДГЕО, сб. №9

«Волновые исследования». М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. С. 141÷177.

81. Офицеров А.С. Гидравлические лабораторные исследования морского порта // Сб. статей ВНИИ ВОДГЕО «Волновые исследования гидротехнических сооружений». М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 563 с.

82. Порты и портовые сооружения. Учебник для ВУЗов под редакцией Г. Н. Смирнова, Москва - Стройиздат, 1993. 464 с.

83. Применение природного камня в морском гидротехническом строительстве ВСН 5-84. М.: Министерство морского флота, 1984.

84. Проектирование морских берегозащитных сооружений. СП 32-103-97. -М.: Трансстройиздат, 1998. 221 с.

85. Рогачко С. И. «Развитие методов расчёта волновых и ледовых воздействий на морские гидротехнические сооружения». Автореферат на соискание учёной степени доктора технических наук. МГСУ (МИСИ), М., 2003. 34 с.

86. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Л.: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1977. 315 с.

87. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. С.-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 525 с.

88. Руководство по расчету простоев судов в порту из-за неблагоприятных волновых условий. РД 31.33-06-86. М.: СМІ ШИП, 1986 г. 34 с.

89. Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищенных от волнения причалов РД 31.33.10 – 87- М.: 1987. 54 с.

90. Руководство по определению волновых нагрузок и воздействий на вертикальные и крутонаклонные стены, имеющие в основании высокую каменную постель РД 31.31.53 - 90 М.: 1990. 26 с.

91. Самсонов Б.Б. Теория информации и кодирование / Б.Б. Самсонов, Е.М. Плохов, А.И. Филоненков. – Ростов-на-Дону: Изд. Феникс, 2002. 288 с.
92. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - 10-е изд., доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит., 1987 г. 432 с.
93. Секерж-Зенькович Я. И. К теории стоячих волн конечной амплитуды на поверхности тяжёлой жидкости конечной глубины. - М., Известия АН СССР. Т. XV, №1. Серия географическая и геофизическая. 1951. С. 57÷73.
94. Селезов И.Т. Моделирование волновых и дифракционных процессов в сплошных средах. Киев: Наукова думка, 1989. 204 с.
95. Сеница Р.В. Анализ существующих методик определения параметров гашения волн ограждающими гидротехническими сооружениями неполного вертикально профиля /Р.В. Сеница, В.С. Осадчий, Л. С. Столяров, А.В. Чернецкий. Вестник гражданских инженеров, вып. 1(72) – Санкт-Петербург 2019. С. 43÷55.
96. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 143 с.
97. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. Издание 2-е. - М. Наука, 1977. 816 с.
98. Смирнова Т.Г., Правдивец Ю.П., Смирнов Г.Н. Берегозащитные сооружения. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2002. 302 с.
99. Степанов И.А. Обобщение масштабов при гидравлическом моделировании портов на водохранилищах. - Материалы научно-технической конференции ЛИВТа, Л., 1970.
100. Степанов И.А. Поправки математических искажений волн на моделях. - Труды ЛИВТа, вып. 88, Л.: Транспорт, 1967.
101. Степанов И.А. Энергетическое моделирование при исследовании волновых процессов в портах. Тр. Координационных совещаний по г/т. Вып. 50, Л.: Энергия, 1969. 46 с.
102. Столяров Л.С. Определение параметров волн в лабораторных

условиях при помощи современной измерительной аппаратуры /Л.С. Столяров, А.В. Чернецкий, Р.В. Сеница. Вестник ОГАСА, вып. 73 – Одесса 2018. С. 127÷134.

103. Технические условия определения волновых воздействий на морские и речные сооружения и берега. СН 92-60 Госстройиздат, М, 1960.

104. Тишкин И.Б. Воздействие длиннопериодных волн на акватории портов и пришвартованные суда. //Труды Союзморниипроекта, 1964, вып. 4. С. 90÷98.

105. Тишкин И.Б. Исследование длиннопериодных колебаний портов и пришвартованных судов // Труды ЦНИИМФ, вып. 26, 1960 г. С. 26÷34.

106. Тлявлин Р.М. Портовые укрытия нового типа // Материалы конференции «Проблемы устойчивого развития регионов рекреационной специализации», Сочи, СНИЦ РАН, 2003. С. 63÷65.

107. Тлявлина Г.В. Резонанс длиннопериодных волн в огражденных акваториях // Материалы научно-технического совещания «Проблемы инженерной защиты берегов Черного и Азовского морей и пути их решения», Ялта, ЦНТУ «Инжзащита», 2003. С. 65÷67.

108. Тлявлина Г.В. Резонанс длиннопериодных волн на акваториях прямоугольной формы // Научные труды ОАО ЦНИИС, вып. №220 «Транспортные сооружения. Расчеты, испытания, строительство». М.: ОАО ЦНИИС 2004. С. 106÷110.

109. Тлявлина Г.В., Шахин В.М. Резонанс длинных волн в огражденных акваториях в прибрежной зоне моря // Труды VI конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». Москва, 2004. С. 257÷260.

110. Уилдер К., Коллер И. Сборные бетонные элементы для строительства берегоукрепительных волнозащитных сооружений. - Гражданское строительство, 1971, №10.

111. Указания по волновым расчётам гидротехнических сооружений. УВРГС - 67, МО СССР, М., 1968.

112. Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения Р 31.3.07-01. Дополнение и уточнение СНиП 2.06.04-82*. М.: Изд-во Союзморниипроект, 2001. 75 с.

113. Указания по проектированию гидротехнических сооружений, подверженных волновым воздействиям. СН 288-64. М.: Стройиздат, 1965. 134 с.

114. Хаперский В.В. Исследование воздействия волн на оградительные сооружения неполного вертикального профиля. / В.В. Хаперский. Труды высшего инженерно-технического краснознаменного училища ВМФ, Ленинград 1959, вып 56. 90 с.

115. Харкевич А.А. Борьба с помехами / А.А. Харкевич. – М.: Физ.-мат. лит-ра, 1963. 275 с.

116. Хаскинд М. Д. Дифракция бегущих волн вокруг вертикальной преграды в тяжёлой жидкости. Известия АН СССР, ОТН, М., 1957. 232 с.

117. Черкесов Л.В., Иванов В.А., Хартиев С.М. Введение в гидродинамику и теорию волн. СПб.: Гидрометеиздат. 1992. 264 с.

118. Чудинов В.Н. Воспроизведение нерегулярного волнения с управляемым спектром. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 50. «Энергия», Л, 1969. 214 с.

119. Чужмир А.А. Теория и практика комплексного укрепления берегов Крыма и Одессы. - В кн.: Инженерная защита берегов Черного моря. К.: Будівельник, 1968.

120. Шарпов М.В. Датчики. Справочное пособие / М.В. Шарпов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Савлуков. – М.: Изд-во Техносфера, 2012. 624 с.

121. Шахин В.М., Шахина Т.В. Метод расчета дифракции и рефракции волн // Океанология, 2001. Т.41, № 5. С. 674÷679.

122. Шахин В.М., Шахина Т.В., Тлявлинка Г.В. Резонанс инфрагравитационных волн в огражденных акваториях // Проблемы устойчивого развития регионов юга России. Сочи: СИИЦ РАН, 2004г. С. 208÷214.

123. Шуляк Б.А Об основах теории подобия и моделирования // Труды Союзморниипроекта, №4. М.: Транспорт, 1964 г. 154 с.
124. Штенцель В. К. Определение воздействия неразбитой стоячей волны на вертикальную стенку. Труды ЛИВТ, 1967. Вып. 88, С. 131÷139.
125. Шуляк Б.А. Физика волн на поверхности сыпучей среды и жидкости. – М., Наука, 1971, 400 с.
126. Яковенко В.Г. Строительство молов и волноломов. М.: Транспорт, 1983. 192 с.
127. Allsop N.W.H.; McKenna J.E.; Vicinanza D.; and Whittaker T.J.T. (1996), New design formulae for wave loadings on vertical breakwaters and seawalls, Proc 25th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, New York (1996), pp. 2508÷2521.
128. Allsop N.W.H.; Vicinanza D.; Calabrese M.; Centurioni, L., (1996c), Breaking Wave Impact Loads on Vertical Faces», ISOPEInternational Offshore and Polar Engineering-Conference, pp. 180÷185, Los Angeles, California.
129. Allsop N.W.H.; Vicinanza D.; McKenna J.E., (1996), «Wave forces on vertical and composite breakwaters», Strategic Research Report SR 443, HR Wallingford, Wallingford (1996), pp. 1÷94 March 1996.
130. Berg D.V., Watts B.M. Variations of groins design. Waterways and harbors division // Proc. of the ASCE, 1967. pp. 79÷100.
131. Blackmore P.A.; Hewson P.J., (1984), «Experiments on full-scale wave impact pressures», Coastal Engineering Volume: 08 Issues:4, pp: 331÷346.
132. Blondeaux P. Failure of damping effect of permeable breakwaters due to a resonance phenomenon // Proc. XX Congress Int. Association for Hydraulic Research, Moscow, 1983. V.7. - pp. 256÷266.
133. Bonet Ruperto P. Numerical computations of surface waves in a coastal zone with multiple harbors ECCOMAS 2004 // Proc. European Congress on Computations Methods in Applied Sciences and Engineering. July 2004.
134. Bruun P., Gunbak A.R. Hydraulic and friction parameters affecting the stability of rubble mounds // Permanent international Association of navigation congress. Bulletin, 1976. Vol.50. - pp. 33÷34.

135. Bullock G; Obhrai C.; Muller G.; Wolters G.; Peregrine, H.; Bredmose, H., (2004), «Characteristics and design implications of breaking wave impacts» - Coastal Engineering Conference, pp: 39÷66.
136. CERC (US Army Coastal Engineering Research Centre). Shore Protection Manual, Washington, 1984.
137. Cuomo G.; Tirindelli M.; and William Allsop W., 2007, «Wave-in-deck loads on exposed jetties», Coastal Engineering Volume 54, Issues-9, 2007, pp: 657÷ 679.
138. Cuomo, G; Allsop, W; Bruce, T; Pearson, J, (2009), Breaking wave loads at vertical seawalls and breakwaters, Coastal Engineering, In Press, Corrected Proof, available online 20 January 2010.
139. D'Angremond, K. «Wave Transmission at Lowcrested Structures». / K. D'Angremond, J. Van der Meer and R. de Jong, (1996). Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Kobe, Japan.
140. Goda Y. A review on statistical interpretation of wave data // Report of the port and harbour research institute. March 1979. - Vol. 18, No 1.
141. Golshani A., Mizutani N., Igarashi D-S. Shimizu H. Three-dimensional analysis of nonlinear interaction between water waves and vertical permeable breakwater // Coastal engineering journal. March 2003. - №1, Vol. 45. pp. 1÷28.
142. Jarlan G. Perforated vertical wall breakwater // The dock and harbour authority. April, 1961. pp. 393÷398.
143. Hirt, C.W. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. / C.W. Hirt, B.D. Nichols // Journal of computational physics. - 1981. - Vol. 39. pp. 201÷226.
144. Ippen A.T. and Goda Y. Wave Induced Oscillations in Harbors: The Solution for a Rectangular Harbor Connected to the Open Sea. Report No. 59, Hydrodynamics Lab., M. I. T. July 1963.
145. Kamel M. Shock pressure on coastal structures. Waterways, harbors and coastal engineering division // Proc. ASCE, 1970, №3. pp. 24÷60.

146. Kobayashi, N., Wurjanto, A., 1989, Wave Transmission Over Submerged Breakwaters. *Journal of Waterway, Port Coastal and Ocean Engineering* 115, pp. 662÷680.

147. Korf I., Harten I., Smeulders 1. Sounding vessel and underwater inspection system // *Dredging and port construction*. Vol. 13, No 9, 1986. pp. 34÷35.

148. Koohestani, A. CRM-Change Management: The Role Of Training In Successful CRM Implementation. / A. Koohestani, (2006). Masters thesis, Multimedia University.

149. Launder B. E., Spalding D. B. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London: Academic Press, 1972.

150. Longuet-Higgins M.S. Resonant interactions between two trains of gravity waves // *Journal of fluid mechanics*. 1962. - Vol. 12, No 3. pp. 321÷332.

151. Mac Camy R. C. and Fuchs R. A. Wave forces on piles: a diffraction theory. - US Army Corps of Eng. Techn. Memorandum, Washington, Dec., 1954, No. 69, P.17.

152. McComb P., Gorman R., Goring D. Forecasting infragravity wave energy within a harbour // *Proc. Fifth Int. Symposium WAVES 2005 «Ocean Waves Measurement and Analysis»*, Spain, Madrid, 2005.

153. M. Sc. Thesis « Wave transmission at various types of low-crested structures using neural networks». / M. Sc. Thesis, R. P. van Oosten and J. Peixó Marco, 2005.

154. Minikin, R.: *Wind, Waves and Maritime Structures*. London: Charles Griffin & Co. Ltd., 1963.

155. Miles J. and Munk W. Harbor Paradox. *J. Waterways and Harbors Div.*, ASCE, August 1961, pp. 111÷130.

156. Morison J.R., Johnson J.W., O'Brien M.D. «Experimental studies on Forces on Piles». *Proceedings of the Fourth Conference on Wave Res.*, Berkeley. Calif ch. 25, 1953.

157. Okamura, M., (1993), «Impulsive pressure due to wave impact on an inclined plane wall», *Fluid Dynamics Research*, volume 12, issue 4, pp. 215÷228.

158. Oumeraci, H. (1994), «Review and analysis of vertical breakwater failures lessons learned Special Issue on Vertical Breakwaters», Coastal Eng. 22 (1994), pp. 3÷29.
159. Oumeraci, H; Kortenhaus, A; Allsop, W; de Groot, M; Crouch, R; Vrijling, H; Voortman, H, (2001). «Probabilistic Design Tools for Vertical Breakwaters», Balkema Publishers, New York.
160. Ouellet Y. Modelisation de la resonance dans les bassins portuaires // Canadian Journal of Civil Engineering. 1999. - No 1, Vol. 26. pp. 96÷106.
161. Praagman N. Harbour resonance problems: many mathematical aspects // Proc. VI International conference on finite elements in water resources. Lisboa, Portugal. 1986. pp. 609÷617.
162. Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways. EAU 1996, Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
163. Report of the PIANC Working Group I-4 (II-24), Guidelines of the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles in marine environment, Supplement to PIANC-Bulletin No.57, Brussels 1992.
164. Rojanakamthorn, S., Isobe, M., Watanabe, A., 1989, Design Equation for Transmission at Submerged Rubblemound Breakwaters. Coastal Engineering in Japan 32, pp. 209÷234.
165. Seeling W.N., 1980, Two-dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters, Tech. Rept. No. 80-1, US Army Coast. Engrg. Res. Ctr., Fort Belvoir, VA.
166. Silvester R. Wave reflection at sea walls and breakwaters // Proc. Instn. Civ. Engrs., Part II.- 1972, pp. 123÷131.
167. Sorensen T., Jensen O.J. Reliability of hydraulic models of rubble-mound breakwaters as proven by prototype measurements // The dock and harbour authority. March 1985. - Vol. LXV, No 767. pp. 155÷157.
168. Spataru A., Constantin R. Cherurl cu perefl perforatl si camere ainortizoare // I Hidrotehnica. 1989. - Vol. 34, No 3. pp. 82÷90.

169. Takahashi S., (1996), «Design of vertical breakwaters», Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Reference document - 34.

170. Thompson, E. Use of pseudo-concentrations to follow creeping viscous flows during transient analysis. / E. Thompson // International Journal for numerical methods in engineering. - 1986. - Vol. 6. pp. 749 ÷ 761.

171. Verhaeghe, H.; Cherlet, J.; Boone, C.; Troch, P.; De Rouck, J.; Awouters, M.; Ockier, M.; Devos, G., 2006, «Prototype monitoring of wave loads on concrete structure in intertidal zone», Proceedings of the First International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection COASTLAB06. pp. 117÷125.

172. Vilibic I., Mihanovic H. The appearance of proudman resonance and harbour seiches in the area of Split (Adriatic sea) // Proc. XXIII General Assembly of the Int. Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, 2003.

173. Woo S.B., Liu P. L.-F. Finite- element model for modified Boussinesq equations: applications to nonlinear harbor oscillations // J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg. Jan./Feb. 2004. - Vol. 130, Issue 1. pp. 17÷28.

174. Yoshida K., Belberov Z.K., Grudeva D.I. Extreme sea levels in Boorgas bay in connection with port of Bourgas and oil harbor exploitation // Journal of International Research Publication. 2002. - No 2. pp. 45÷54.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Осадчий В. С., Слободянюк В.П., Анисимов К. И., Синица Р. В. Исследование вопросов защиты городских территорий ограждающими гидротехническими сооружениями неполного профиля. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2016, №63. - С. 249 - 254. *(індексується наукометричною базою Index Copernicus).*

2. Осадчий В. С., Синица Р. В. Определение параметров гашения волн ограждающими гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля. Вісник Одеського національного морського університету. 2017. №2 (51). С. 108-117.

3. Столяров Л. С., Чернецкий А. В., Синица Р. В. Определение параметров волн в лабораторных условиях при помощи современной измерительной аппаратуры. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. №73. С. 127 - 134. *(індексується наукометричною базою Index Copernicus).*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

4. Синица Р. В., Осадчий В.С., Столяров Л. С., Чернецкий А. В. Анализ существующих методик определения параметров гашения волн ограждающими гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля. Вестник гражданских инженеров. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2019. №1(72). С. 43 - 55. *(індексується в наукометричній базі РИНЦ).*

5. Sinitsa R., Osadchiy V., Anisimov K., Kolomiec S. Ochrona akwenów portów morskich przez konstrukcje falochronu pionowego o niepełnym profilu. Inżynierii Morskiej i Geotechniki, nr 3/2020. 2020. St. 114 - 119.

Патенти на винахід

6. Патент на винахід № 116056, Україна, Морська огорожувальна гідротехнічна споруда / Р.В. Синиця, К.І. Анісімов. Заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2018 р.

7. Патент на винахід № 118519, Україна, Морська огорожувальна гідротехнічна споруда / Р.В. Синиця, К.І. Анісімов. Заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2019 р.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Синица Р. В. Исследование вопросов защиты морских акваторий оградительными сооружениями неполного вертикального профиля / Р. В.Синица, В. С. Осадчий, К.И. Анисимов //Федеральное агентство морского и речного транспорта Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования. Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург, 2019. Сборник научных трудов вып. 4. С. 238 - 247.

9. Рогачко С.И., Синица Р.В. Конструкция оградительного гидротехнического сооружения неполного вертикального профиля. Материалы международной конференции «Ferry Transport in Black Sea as Link of International Transport Corridors», Стамбул, 2018. С. 68 - 69.

10. Рогачко С.И., Синица Р.В. Конструкция оградительного гидротехнического сооружения неполного вертикального профиля. 74-тая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава Одесской государственной академии строительства и архитектуры. г. Одесса. 2018.

11. Синица Р.В., Осадчий В.С., Слободянюк В.П., Анисимов К.И. Анализ методик определение параметров гашения волн подводными волноломами различных конструкций Одесского побережья. 74-тая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава Одесской государственной академии строительства и архитектуры. г. Одесса. 2018.

12. Рогачко С.И., Синица Р.В. Оградительное сооружением неполного вертикального профиля. 75-тая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава Одесской государственной академии строительства и архитектуры. г. Одесса. 2019. С. 260.

13. Синица Р.В., Осадчий В.С., Анисимов К.И., Коломиец С.П. Влияние параметров оградительного сооружения на свойства защиты морских акваторий. 75-тая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава Одесской государственной академии строительства и архитектуры. г. Одесса. 2019. С. 258.

Відомості про апробацію результатів дисертації:

- 74-тя науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 18 – 19 травня 2018 р. – очна участь);

- міжнародній науково-технічній конференції «Ferry Transport in Black Sea as Link of International Transport Corridors» (Туреччина, м. Стамбул, 28 квітня – 2 травня 2018 р. – очна участь);

- 75-тя науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 18 – 19 травня 2019 р. – очна участь);

- международной научно-практической конференции Гришанинские чтения – «Водные пути и русловые процессы, гидротехнические сооружения водных путей» Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова под эгидой Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 30 мая – 1 июня 2019 г. – очное участие).

**ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ФІЗИЧНИХ
ЕКСПЕРИМЕНТІВ НА МОДЕЛЯХ КОНСТРУКЦІЙ ОГТС НЕПОВНОГО
ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ**

Табл. Б1 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=1,0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,82	1,68	0,82	0,71	74,82	32,4	23,0	0,88	0,44	0,18
2	2,58	1,62	0,74	0,67	74,03	29,7	21,2	0,75	0,42	0,15
3	2,53	1,44	0,53	0,69	72,73	29,1	21,0	0,73	0,41	0,15
4	2,47	1,46	0,40	0,62	74,90	28,4	20,1	0,69	0,40	0,14
5	2,45	1,40	0,51	0,60	75,51	28,2	19,8	0,68	0,40	0,14
6	2,26	1,28	0,53	0,54	76,11	26,0	18,2	0,58	0,37	0,11
7	2,26	1,30	0,53	0,58	74,34	26,0	18,5	0,58	0,37	0,11
8	2,21	1,12	0,53	0,54	75,57	25,4	17,9	0,56	0,36	0,10
9	2,07	1,24	0,53	0,48	76,81	23,8	16,5	0,48	0,34	0,08
10	2,05	1,06	0,40	0,50	75,61	23,6	16,6	0,47	0,34	0,08
11	1,65	0,93	0,27	0,36	78,18	19,0	13,0	0,26	0,25	0,00
12	1,52	0,80	0,32	0,32	78,95	17,5	11,8	0,19	0,22	-0,03
13	1,46	0,85	0,40	0,35	76,03	16,8	11,7	0,16	0,20	-0,04
14	1,17	0,69	0,40	0,29	75,21	13,5	9,5	0,01	0,10	-0,13
15	1,14	0,72	0,24	0,29	74,56	13,1	9,3	-0,01	0,09	-0,14
16	1,01	0,80	0,40	0,26	74,26	11,6	8,3	-0,08	0,03	-0,19
17	0,96	0,67	0,40	0,21	78,13	11,0	7,6	-0,10	0,00	-0,21
18	0,90	0,61	0,27	0,23	74,44	10,4	7,4	-0,14	-0,03	-0,24
19	0,80	0,56	0,40	0,19	76,25	9,2	6,4	-0,19	-0,10	-0,30
20	0,69	0,61	0,27	0,13	81,16	7,9	5,2	-0,25	-0,20	-0,38
					$C_v=0,03$					

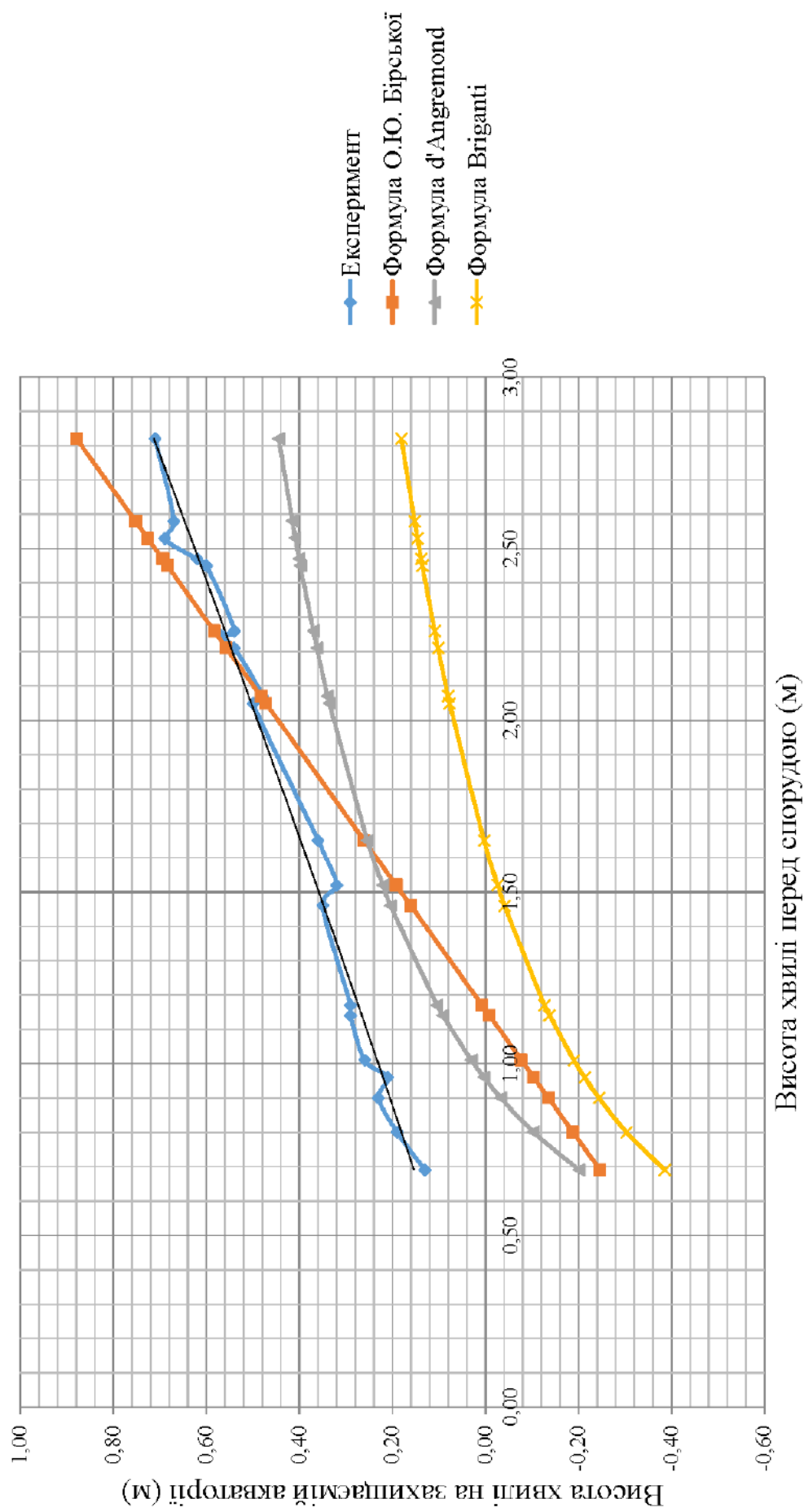


Рис. Б1 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b = 4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H = 1,0$ (м)

Табл. Б2 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0,5$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,40	2,85	1,06	1,32	61,18	39,1	30,9	1,19	0,56	0,29
2	3,06	2,34	0,67	1,14	62,75	35,2	27,5	1,01	0,54	0,26
3	2,74	2,61	0,67	1,04	62,04	31,5	24,7	0,84	0,51	0,24
4	2,69	2,47	0,90	1,10	59,11	30,9	24,7	0,81	0,50	0,23
5	2,61	2,39	0,80	0,94	63,98	30,0	23,3	0,77	0,50	0,22
6	2,53	2,26	0,67	0,92	63,64	29,1	22,6	0,73	0,49	0,22
7	2,50	2,39	0,80	0,94	62,40	28,8	22,5	0,71	0,48	0,21
8	2,45	2,37	0,90	0,90	63,27	28,2	21,9	0,68	0,48	0,21
9	2,26	2,21	0,80	0,80	64,60	26,0	20,0	0,58	0,46	0,19
10	2,23	2,07	0,80	0,82	63,23	25,6	20,0	0,57	0,46	0,18
11	2,15	2,10	0,80	0,80	62,79	24,7	19,3	0,53	0,45	0,17
12	2,13	2,00	0,80	0,76	64,32	24,5	18,9	0,51	0,44	0,17
13	2,10	1,94	0,53	0,80	61,90	24,2	19,0	0,50	0,44	0,17
14	2,05	1,92	0,90	0,74	63,90	23,6	18,3	0,47	0,43	0,16
15	1,78	1,73	0,67	0,68	61,80	20,5	16,1	0,33	0,40	0,13
16	1,73	1,65	0,53	0,64	63,01	19,9	15,5	0,30	0,39	0,12
17	1,49	1,33	0,21	0,56	62,42	17,1	13,4	0,18	0,35	0,08
18	1,09	0,98	0,27	0,44	59,63	12,5	10,0	-0,03	0,25	0,00
19	1,04	0,69	0,27	0,48	53,85	12,0	9,9	-0,06	0,24	-0,01
20	0,82	0,73	0,53	0,36	56,10	9,4	7,7	-0,18	0,16	-0,08
21	0,80	0,77	0,64	0,38	52,50	9,2	7,6	-0,19	0,15	-0,08
22	0,74	0,64	0,53	0,32	56,76	8,5	6,9	-0,22	0,12	-0,11
23	0,72	0,67	0,53	0,34	52,78	8,3	6,9	-0,23	0,11	-0,12
					$C_v=0,06$					

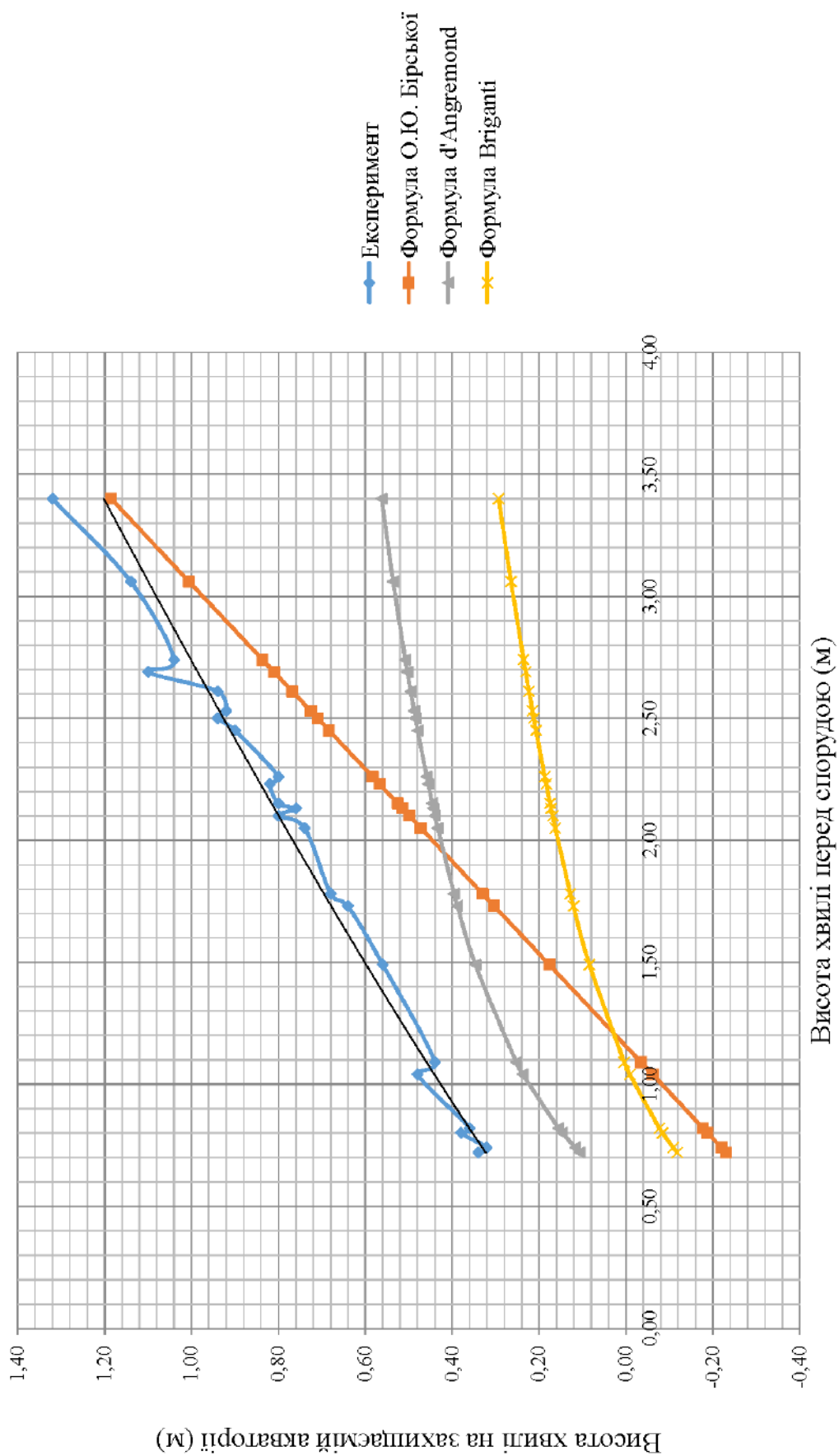


Рис. Б2 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b = 4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H = 0,5$ (м)

Табл. Б3 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	Датчик №5 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула $d'/\text{Angremond}$	Формула Briganti
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	2,34	1,48	1,33	1,06	54,70	26,9	22,1	0,96	0,55	0,09	
2	1,81	1,18	0,93	0,72	60,22	20,8	16,5	0,68	0,51	0,11	
3	1,65	1,08	0,90	0,72	56,36	19,0	15,4	0,60	0,50	0,11	
4	1,62	1,02	1,06	0,67	58,64	18,6	14,9	0,58	0,49	0,11	
5	1,52	1,00	0,80	0,59	61,18	17,5	13,8	0,53	0,48	0,12	
6	1,49	1,02	0,67	0,61	59,06	17,1	13,7	0,52	0,48	0,12	
7	1,46	0,98	0,67	0,64	56,16	16,8	13,7	0,50	0,48	0,12	
8	1,44	0,94	0,93	0,61	57,64	16,6	13,4	0,49	0,48	0,12	
9	1,36	0,92	0,67	0,51	62,50	15,6	12,2	0,45	0,47	0,13	
10	1,33	0,94	0,67	0,61	54,14	15,3	12,6	0,43	0,46	0,13	
11	1,30	0,90	0,67	0,56	56,92	15,0	12,1	0,42	0,46	0,13	
12	1,22	0,88	0,67	0,53	56,56	14,0	11,4	0,37	0,45	0,14	
13	1,20	0,90	0,53	0,48	60,00	13,8	11,0	0,36	0,45	0,14	
14	1,17	0,82	0,80	0,51	56,41	13,5	10,9	0,35	0,45	0,14	
15	1,06	0,80	0,53	0,45	57,55	12,2	9,8	0,29	0,43	0,15	
16	1,04	0,82	0,40	0,40	61,54	12,0	9,4	0,28	0,43	0,15	
17	1,01	0,78	0,53	0,43	57,43	11,6	9,4	0,26	0,43	0,15	
18	0,93	0,74	0,40	0,40	56,99	10,7	8,7	0,22	0,42	0,16	
19	0,88	0,76	0,35	0,40	54,55	10,1	8,3	0,19	0,41	0,17	
20	0,67	0,66	0,40	0,29	56,72	7,7	6,2	0,08	0,38	0,20	
21	0,45	0,43	0,20	0,19	57,78	5,2	4,2	-0,03	0,33	0,26	
22	0,35	0,35	0,27	0,16	54,29	4,0	3,3	-0,09	0,31	0,31	
23	0,32	0,29	0,27	0,09	71,88	3,7	2,7	-0,10	0,30	0,33	
					$C_V=0,06$						

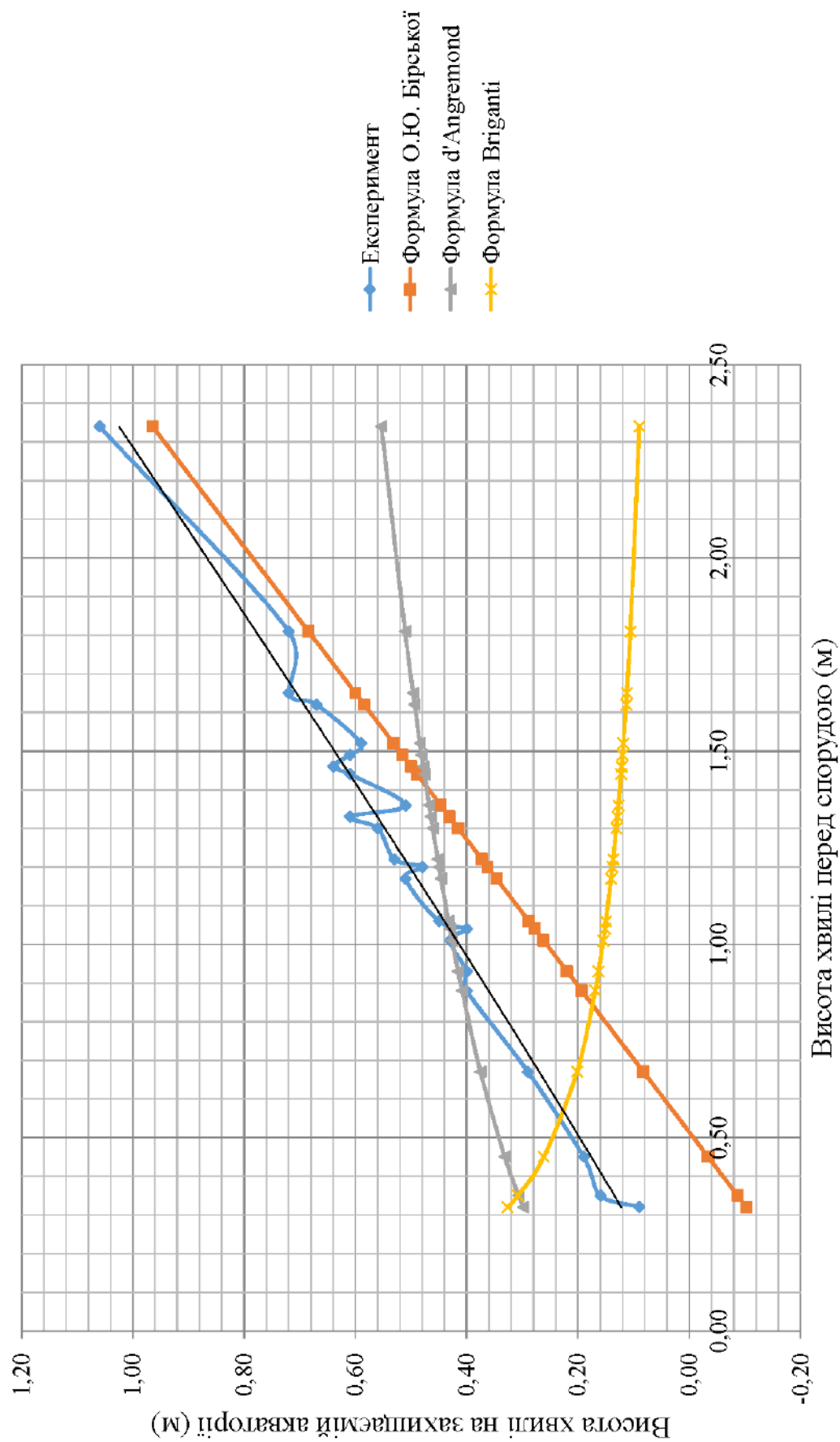


Рис. Б3 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=4,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

Табл. Б4 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=6,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=1,0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,82	1,64	0,67	0,67	76,24	32,4	22,2	0,40	0,38	0,11
2	2,71	1,54	0,40	0,40	85,1	31,2	21,6	0,35	0,36	0,10
3	2,66	1,52	0,40	0,40	84,96	30,6	20,9	0,32	0,36	0,09
4	2,55	1,50	0,53	0,53	79,22	29,3	19,9	0,26	0,34	0,08
5	2,53	1,44	0,53	0,53	79,05	29,1	19,8	0,25	0,34	0,08
6	2,23	1,30	0,53	0,53	76,23	25,6	17,3	0,09	0,30	0,04
7	2,07	1,20	0,40	0,40	80,68	23,8	16,2	0,01	0,28	0,02
8	1,86	1,06	0,53	0,53	71,51	21,4	15,1	-0,10	0,24	-0,01
9	1,62	0,96	0,27	0,27	83,33	18,6	12,4	-0,23	0,19	-0,05
10	1,60	0,90	0,27	0,27	83,13	18,4	12,3	-0,24	0,18	-0,06
11	1,49	0,92	0,67	0,46	69,3	17,1	11,5	-0,30	0,16	-0,08
12	1,46	0,92	0,27	0,27	81,51	16,8	11,5	-0,31	0,15	-0,09
13	1,44	0,90	0,27	0,27	81,25	16,6	11,2	-0,32	0,14	-0,09
14	1,38	0,82	0,27	0,27	80,43	15,9	10,7	-0,36	0,12	-0,11
15	1,28	0,80	0,27	0,27	78,91	14,7	9,9	-0,41	0,09	-0,13
16	1,17	0,78	0,40	0,40	65,81	13,5	9,1	-0,47	0,05	-0,17
17	1,09	0,74	0,27	0,27	75,23	12,5	8,4	-0,51	0,02	-0,19
18	1,06	0,70	0,53	0,29	72,4	12,2	8,4	-0,53	0,00	-0,21
19	0,85	0,64	0,27	0,27	68,24	9,8	6,8	-0,64	-0,11	-0,30
20	0,69	0,60	0,40	0,22	68,1	7,9	5,7	-0,72	-0,25	-0,41
					$C_V=0,08$					

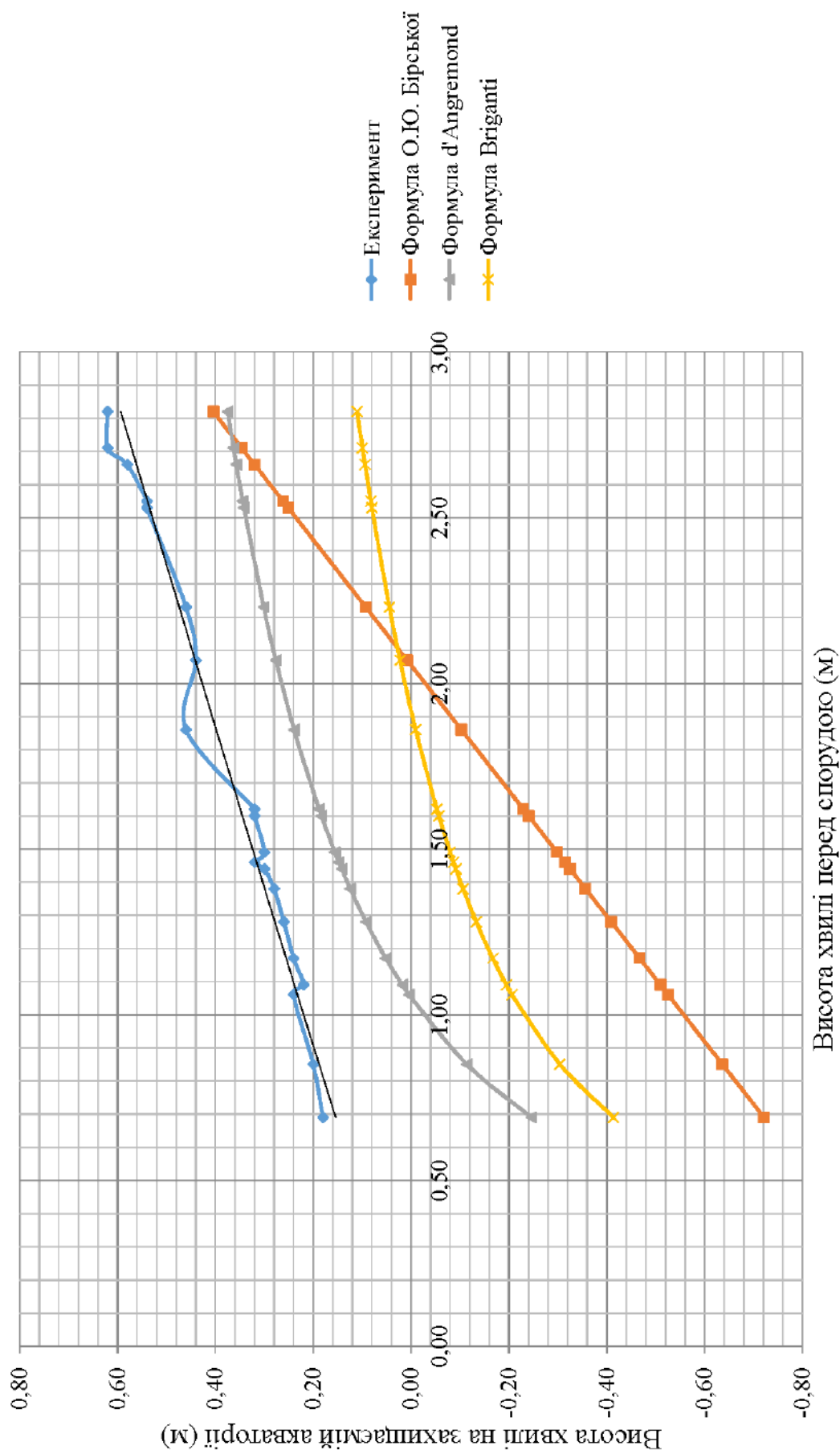


Рис. Б4 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=6,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=1,0$ (м)

Табл. Б5 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=6,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0,5$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,09	2,73	0,92	0,74	76,05	35,5	24,9	0,99	0,52	0,24
2	2,93	2,74	0,80	0,69	76,45	33,7	23,5	0,90	0,50	0,23
3	2,79	2,71	0,82	0,56	79,93	32,1	21,5	0,83	0,49	0,22
4	2,77	2,39	0,96	0,56	79,78	31,9	21,4	0,82	0,49	0,22
5	2,74	2,39	0,82	0,64	76,64	31,5	21,9	0,80	0,49	0,21
6	2,71	2,26	0,53	0,53	80,44	31,2	20,7	0,79	0,48	0,21
7	2,29	2,00	0,70	0,51	77,73	26,3	18,1	0,57	0,44	0,17
8	2,26	2,05	0,80	0,51	77,43	26,0	17,9	0,55	0,44	0,17
9	2,21	2,07	0,67	0,45	79,64	25,4	17,1	0,52	0,43	0,16
10	2,18	1,81	0,67	0,48	77,98	25,1	17,2	0,51	0,43	0,16
11	2,05	1,60	0,53	0,37	81,95	23,6	15,4	0,44	0,41	0,14
12	2,00	1,65	0,56	0,43	78,50	23,0	15,7	0,41	0,41	0,14
13	1,92	1,49	0,53	0,35	81,77	22,1	14,4	0,37	0,40	0,13
14	1,86	1,41	0,53	0,37	80,11	21,4	14,3	0,34	0,39	0,12
15	1,84	1,73	0,53	0,37	79,89	21,2	14,2	0,33	0,39	0,12
16	1,73	1,68	0,40	0,35	79,77	19,9	13,3	0,27	0,37	0,10
17	1,60	1,55	0,27	0,29	81,88	18,4	12,0	0,20	0,35	0,09
18	1,46	1,30	0,40	0,27	81,51	16,8	11,0	0,13	0,32	0,06
19	1,06	0,96	0,67	0,24	77,36	12,2	8,4	-0,08	0,23	-0,02
20	1,01	0,88	0,27	0,21	79,21	11,6	7,8	-0,11	0,21	-0,03
21	0,74	0,61	0,27	0,13	82,43	8,5	5,5	-0,25	0,10	-0,12
22	0,72	0,64	0,27	0,13	81,94	8,3	5,4	-0,26	0,09	-0,13
23	0,53	0,37	0,13	0,11	79,25	6,1	4,1	-0,36	-0,04	-0,23
					$C_v=0,02$					

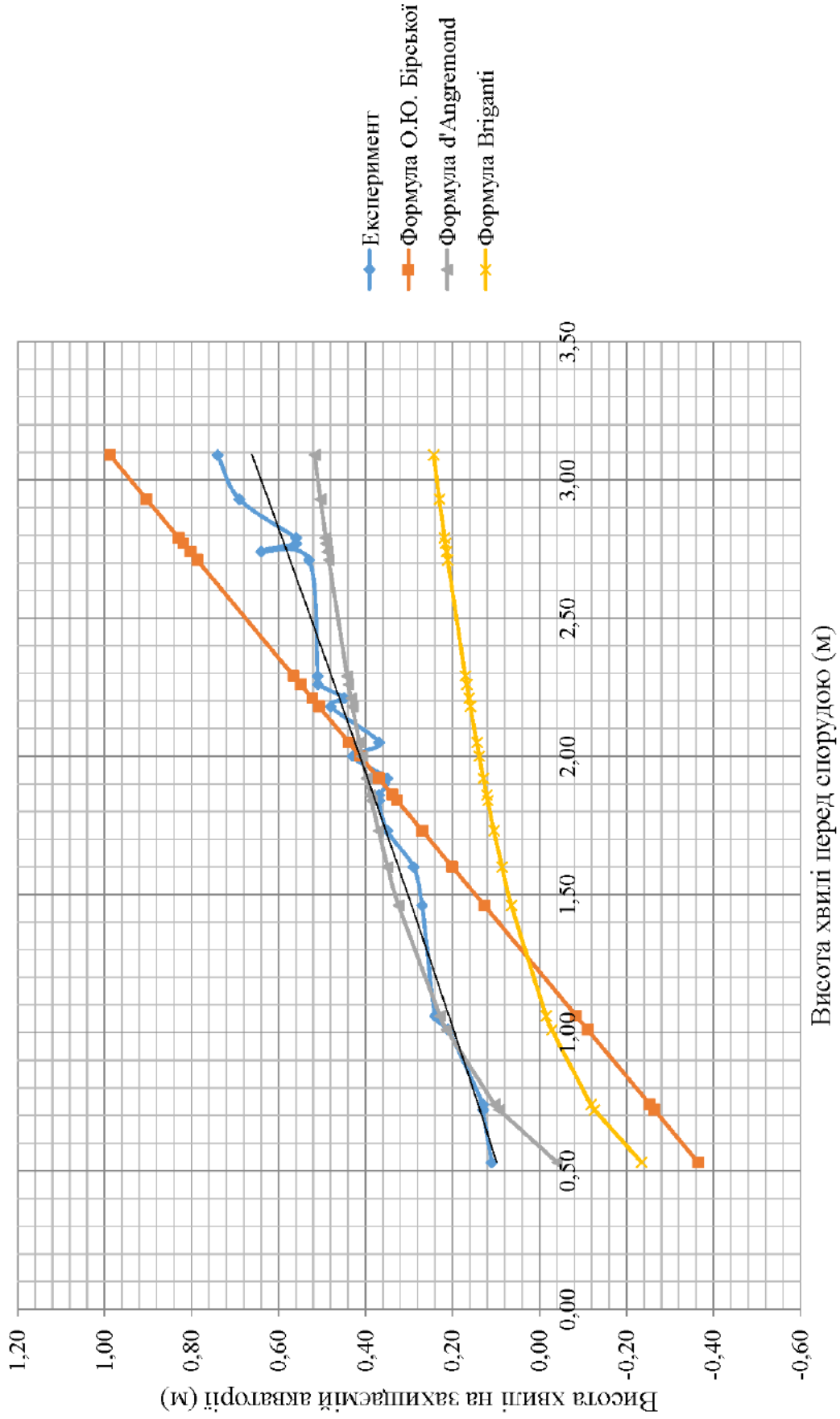


Рис. Б5 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=6,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0,5$ (м)

Табл. Б6 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=6,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на екваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,53	1,62	1,09	1,04	58,89	29,1	23,3	0,93	0,50	0,22
2	1,94	1,34	0,93	0,72	62,89	22,3	17,4	0,62	0,46	0,18
3	1,65	1,08	0,93	0,68	58,79	19,0	15,2	0,46	0,44	0,17
4	1,60	1,10	0,93	0,60	62,50	18,4	14,4	0,44	0,43	0,16
5	1,46	0,98	0,53	0,50	65,75	16,8	12,8	0,36	0,42	0,15
6	1,44	0,94	0,27	0,56	61,11	16,6	13,1	0,35	0,42	0,15
7	1,41	0,96	1,06	0,64	54,61	16,2	13,3	0,34	0,42	0,15
8	1,38	0,94	0,53	0,56	59,42	15,9	12,7	0,32	0,41	0,15
9	1,33	0,92	0,67	0,56	57,89	15,3	12,3	0,30	0,41	0,14
10	1,28	0,88	0,40	0,48	62,50	14,7	11,5	0,27	0,40	0,14
11	1,17	0,84	0,53	0,48	58,97	13,5	10,8	0,21	0,39	0,13
12	1,12	0,78	0,67	0,52	53,57	12,9	10,6	0,18	0,39	0,13
13	1,09	0,82	0,53	0,46	57,80	12,5	10,1	0,17	0,39	0,13
14	1,06	0,80	0,53	0,40	62,26	12,2	9,6	0,15	0,38	0,12
15	1,04	1,82	0,67	0,44	57,69	12,0	9,6	0,14	0,38	0,12
16	1,01	0,78	0,40	0,40	60,40	11,6	9,2	0,13	0,38	0,12
17	0,98	0,80	0,40	0,44	55,10	11,3	9,2	0,11	0,37	0,12
18	0,96	0,72	0,53	0,40	58,33	11,0	8,9	0,10	0,37	0,12
19	0,80	0,70	0,53	0,42	47,50	9,2	7,8	0,02	0,35	0,10
20	0,51	0,62	0,13	0,24	52,94	5,9	4,9	-0,14	0,30	0,08
21	0,45	0,40	0,27	0,20	55,56	5,2	4,2	-0,17	0,29	0,07
22	0,43	0,37	0,27	0,16	62,79	4,9	3,9	-0,18	0,29	0,07
23	0,37	0,37	0,27	0,16	56,76	4,3	3,5	-0,21	0,28	0,06
					$C_V=0,07$					

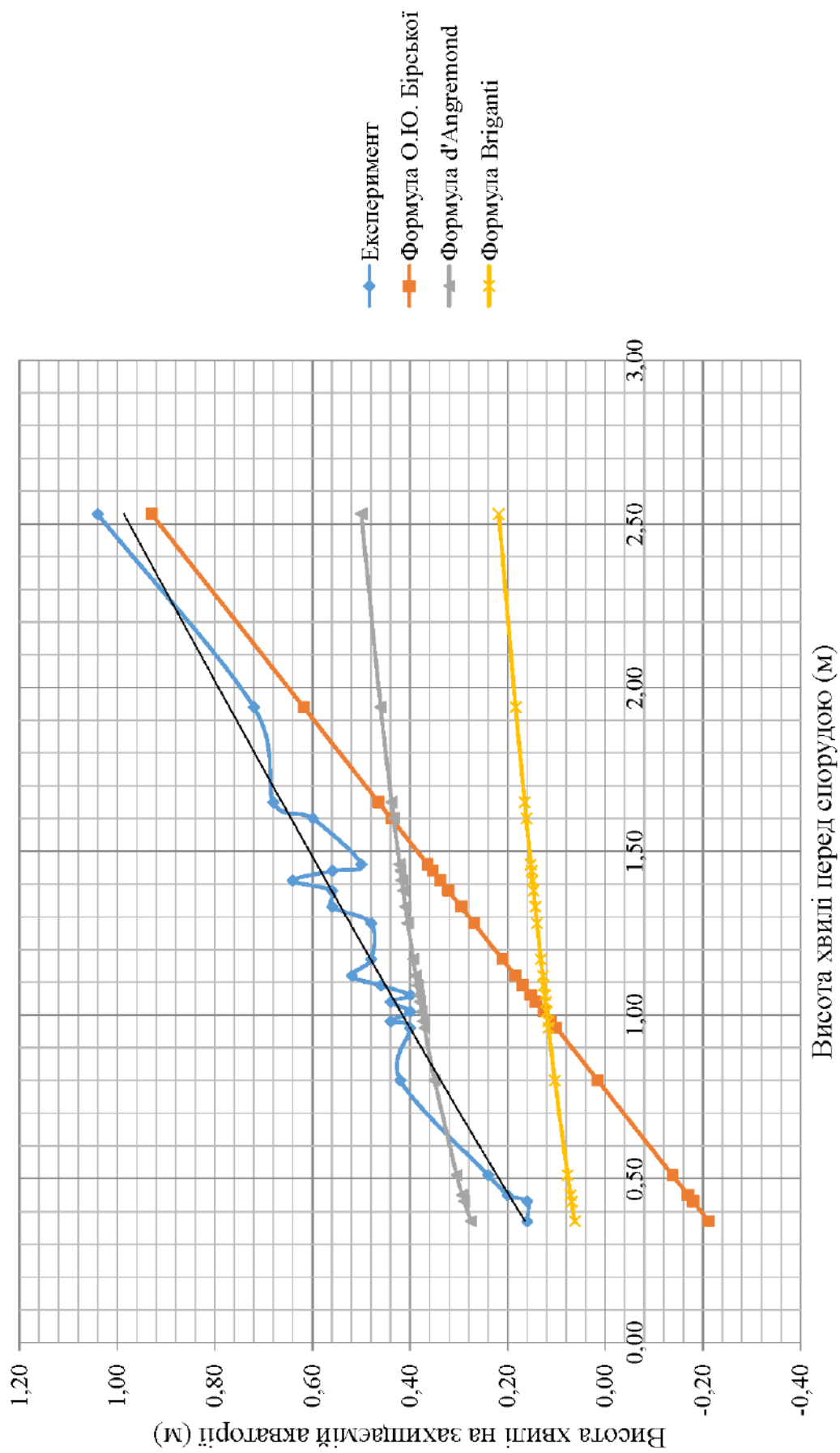


Рис. Б6 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=6, \theta$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

Табл. Б7 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=1,0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,77	1,58	0,53	0,70	74,73	31,9	22,6	0,24	0,33	0,07
2	2,71	1,56	0,53	0,58	78,60	31,2	21,2	0,21	0,32	0,06
3	2,69	1,56	0,67	0,54	79,93	30,9	20,7	0,20	0,32	0,06
4	2,61	1,50	0,53	0,52	80,08	30,0	20,1	0,16	0,31	0,05
5	2,55	1,44	0,53	0,56	78,04	29,3	20,1	0,13	0,30	0,04
6	2,47	1,38	0,59	0,54	78,14	28,4	19,4	0,08	0,29	0,04
7	2,45	1,40	0,53	0,54	77,96	28,2	19,3	0,07	0,29	0,03
8	2,42	1,38	0,67	0,50	79,34	27,8	18,8	0,06	0,29	0,03
9	2,39	1,36	0,53	0,52	78,24	27,5	18,8	0,04	0,28	0,03
10	2,05	1,16	0,40	0,44	78,54	23,6	16,0	-0,14	0,23	-0,01
11	1,49	0,90	0,53	0,32	78,52	17,1	11,7	-0,43	0,12	-0,11
12	1,44	0,88	0,53	0,34	76,39	16,6	11,5	-0,46	0,11	-0,12
13	1,41	0,86	0,27	0,32	77,30	16,2	11,2	-0,48	0,10	-0,12
14	1,38	0,84	0,27	0,32	76,81	15,9	11,0	-0,49	0,09	-0,13
15	1,33	0,86	0,27	0,30	77,44	15,3	10,5	-0,52	0,07	-0,14
16	1,20	0,76	0,34	0,28	76,67	13,8	9,6	-0,59	0,03	-0,18
17	1,09	0,70	0,27	0,24	77,98	12,5	8,6	-0,65	-0,01	-0,22
18	1,06	0,70	0,27	0,25	76,42	12,2	8,5	-0,66	-0,03	-0,23
19	1,04	0,68	0,40	0,24	76,92	12,0	8,3	-0,67	-0,04	-0,23
20	0,93	0,64	0,27	0,26	72,04	10,7	7,8	-0,73	-0,09	-0,28
					$C_V=0,02$					

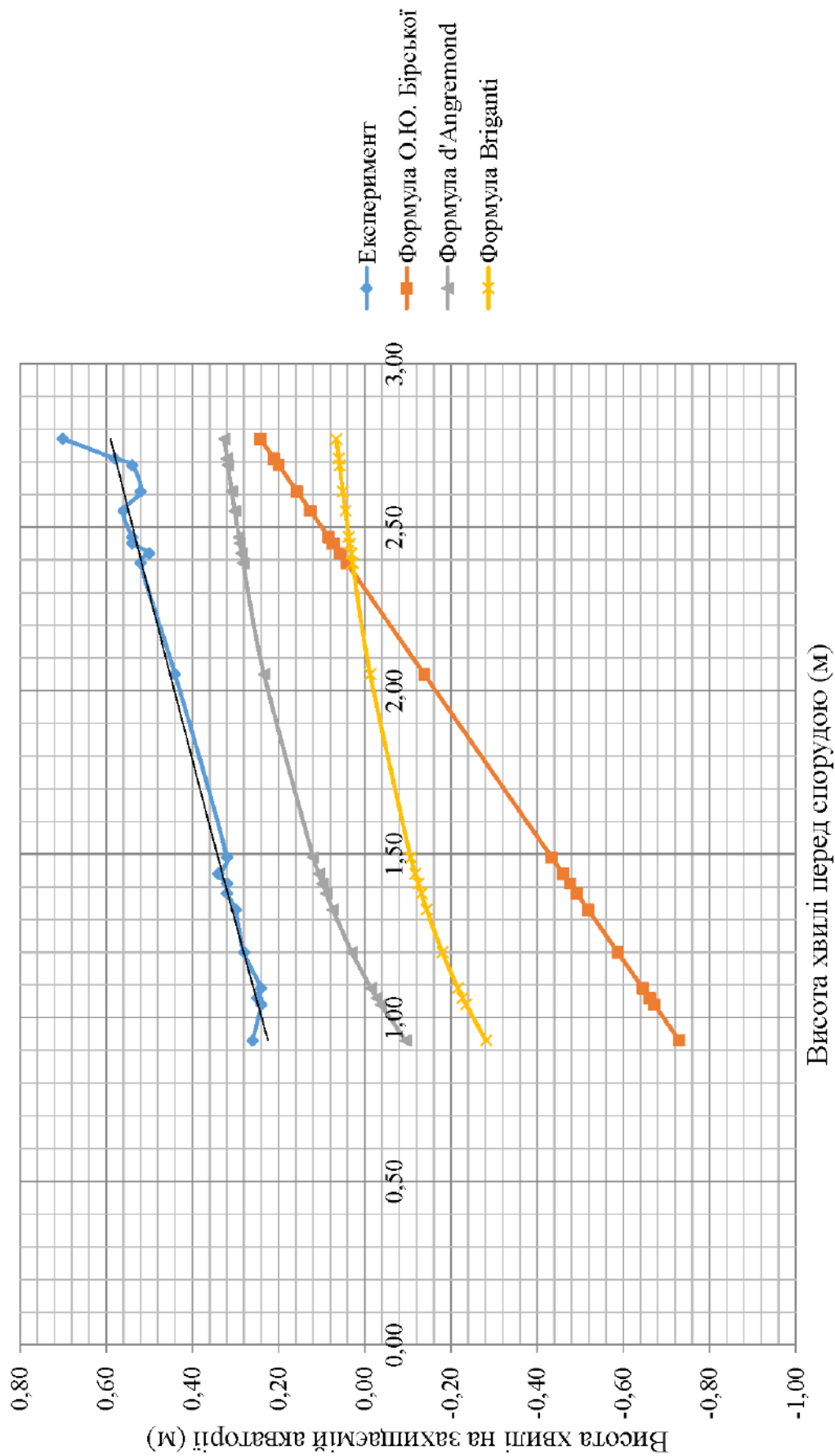


Рис. Б7 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=1,0$ (м)

Табл. Б8 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0,5$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,54	2,53	0,80	1,04	70,62	40,7	30,0	0,99	0,45	0,18
2	3,25	2,21	0,67	1,02	68,62	37,4	28,0	0,83	0,43	0,16
3	3,14	2,13	0,67	0,98	68,79	36,1	27,0	0,78	0,43	0,15
4	2,95	2,04	0,80	0,94	68,14	33,9	25,5	0,68	0,41	0,14
5	2,87	2,00	0,93	0,84	70,73	33,0	24,3	0,63	0,41	0,14
6	2,69	1,80	0,82	0,80	70,26	30,9	22,8	0,54	0,39	0,12
7	2,47	1,68	0,67	0,78	68,42	28,4	21,3	0,42	0,37	0,11
8	2,39	1,60	1,09	0,70	70,71	27,5	20,2	0,38	0,37	0,10
9	2,18	1,46	0,80	0,68	68,81	25,1	18,7	0,27	0,34	0,08
10	1,84	1,24	0,67	0,52	71,74	21,2	15,4	0,09	0,31	0,05
11	1,60	1,10	0,27	0,50	68,75	18,4	13,8	-0,04	0,27	0,03
12	1,44	1,10	0,80	0,40	72,22	16,6	12,0	-0,12	0,25	0,00
13	1,36	1,00	0,40	0,42	69,12	15,6	11,7	-0,16	0,23	-0,01
14	1,33	1,00	0,27	0,40	69,92	15,3	11,3	-0,18	0,22	-0,01
15	1,25	0,98	0,53	0,38	69,60	14,4	10,7	-0,22	0,21	-0,03
16	1,22	0,98	0,27	0,36	70,49	14,0	10,3	-0,24	0,20	-0,03
17	1,09	0,88	0,53	0,34	68,81	12,5	9,4	-0,31	0,17	-0,06
18	0,93	0,82	0,59	0,32	65,59	10,7	8,2	-0,39	0,12	-0,09
19	0,67	0,64	0,29	0,26	61,02	7,7	6,1	-0,53	0,00	-0,19
20	0,64	0,59	0,13	0,28	56,25	7,4	6,0	-0,54	-0,01	-0,20
21	0,61	0,53	0,27	0,26	57,38	7,0	5,7	-0,56	-0,03	-0,21
22	0,59	0,51	0,27	0,26	55,93	6,8	5,5	-0,57	-0,05	-0,23
23	0,53	0,48	0,13	0,22	58,72	6,1	4,9	-0,60	-0,10	-0,26
					$C_v=0,08$					

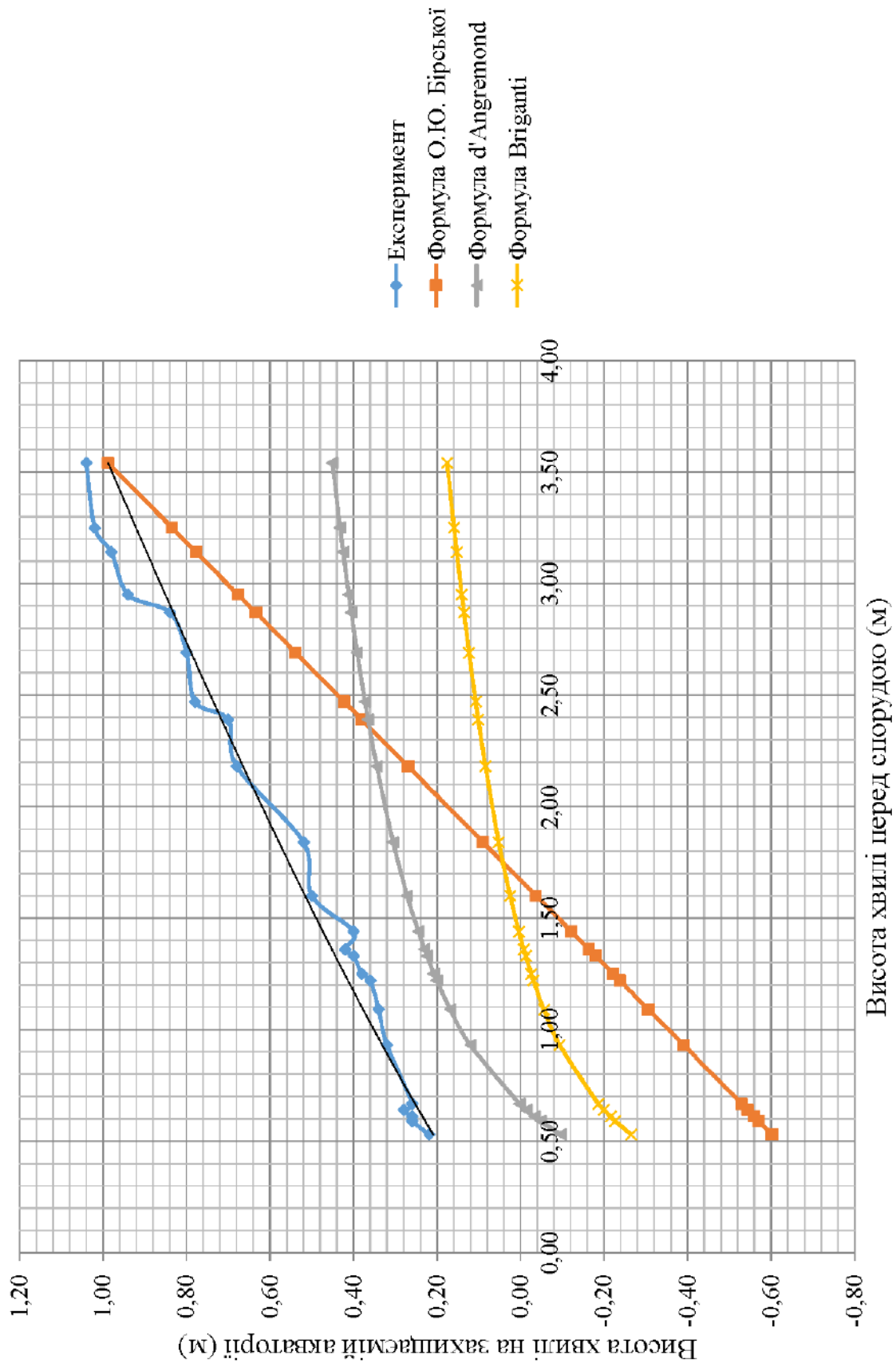


Рис. Б8 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0,5$ (м)

Табл. Б9 Результати експериментальних досліджень при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

№	Датчик №1 (м)	Датчик №2 (м)	Датчик №3 (м)	Датчик №4 (м)	К %	Довжина хвилі у морі (м)	Довжина хвилі на акваторії (м)	Формула О.Ю. Бірської	Формула d'Angremond	Формула Briganti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3,06	1,98	1,20	1,08	64,71	35,2	27,1	1,62	0,49	0,21
2	2,71	1,76	1,09	1,00	63,10	31,2	24,3	1,43	0,47	0,19
3	2,66	1,70	1,09	0,98	63,16	30,6	23,8	1,40	0,46	0,19
4	2,47	1,62	1,20	0,90	63,56	28,4	22,1	1,30	0,45	0,18
5	2,45	1,56	1,09	0,90	63,27	28,2	21,9	1,29	0,45	0,18
6	2,39	1,54	1,62	0,88	63,18	27,5	21,4	1,26	0,45	0,17
7	2,31	1,48	1,36	0,82	64,50	26,6	20,5	1,22	0,44	0,17
8	2,26	1,40	1,12	0,80	64,60	26,0	20,0	1,19	0,44	0,17
9	2,07	1,30	1,36	0,76	63,29	23,8	18,5	1,09	0,43	0,16
10	2,05	1,30	1,36	0,70	65,85	23,6	18,0	1,08	0,43	0,16
11	1,94	1,24	1,20	0,68	64,95	22,3	17,2	1,02	0,42	0,15
12	1,81	1,16	1,09	0,62	65,75	20,8	15,9	0,96	0,41	0,15
13	1,78	1,16	0,93	0,62	65,17	20,5	15,7	0,94	0,41	0,14
14	1,76	1,14	1,12	0,60	65,91	20,2	15,5	0,93	0,41	0,14
15	1,60	1,08	1,09	0,56	65,00	18,4	14,2	0,85	0,40	0,13
16	1,46	1,00	0,53	0,50	65,75	16,8	12,8	0,77	0,39	0,13
17	1,36	0,84	1,09	0,48	64,71	15,6	12,1	0,72	0,38	0,12
18	1,09	1,82	0,96	0,40	63,30	12,5	9,8	0,58	0,35	0,10
19	0,98	0,78	0,67	0,36	63,27	11,3	8,8	0,52	0,34	0,10
20	0,96	0,76	0,74	0,36	62,50	11,0	8,6	0,51	0,34	0,10
21	0,90	0,74	0,56	0,34	62,22	10,4	8,1	0,48	0,33	0,09
22	0,53	0,48	0,40	0,32	39,62	6,1	5,4	0,28	0,28	0,07
23	0,43	0,40	0,37	0,30	30,23	4,9	4,5	0,23	0,26	0,06
					$C_v=0,02$					

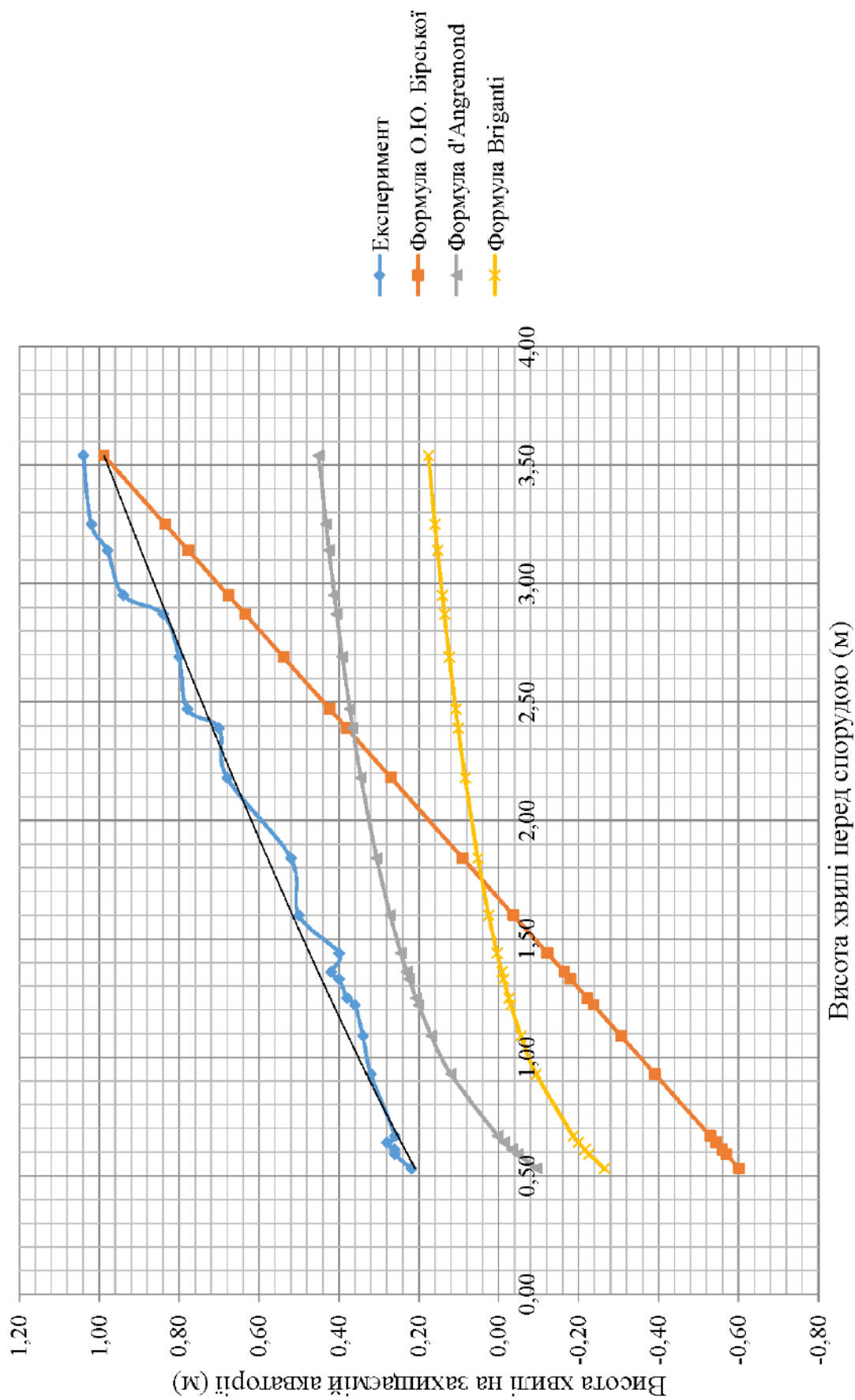


Рис. Б9 Параметри гасіння хвиль ОГТС при ширині верхньої будови $b=8,0$ (м) та підвищенні $\Delta H=0$ (м)

ДОВІДКА ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«ОДЕСЬКИЙ ЗАВОД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ»



ПрАТ «ОДЕССІЛЬМАШ»

65003, Україна, м. Одеса, вул. Чорноморського козацтва, 72
тел./факс: (048) 723-54-72, e-mail: odesselmash@gmail.com
код ЄДРПОУ 05786152 ПІН 057861515011
р/р 26001010037571 в АБ «ПІВДЕННИЙ», МФО 328209

№ 42 - 342 від 19.04.2017

на № _____ від _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Правління

ЧАО «ОДЕССІЛЬМАШ»

Мудрицкий Г. А.

«19» апр 2017



АКТ

об использовании результатов
кандидатской диссертационной работы
Синицы Романа Валерьевича

Комиссия в составе: Председатель Мудрицкий Г. А.,
члены комиссии: Бердник М. В., Магдесян Т. Е., Орлова И. В.,
составили настоящий акт о возможности применения результатов диссертационной работы «Влияние параметров оградительных гидротехнических сооружений на их свойства защиты морских акваторий». Результаты данной работы были использованы в проекте «Расчетного обоснования и проектирования конструкций гидротехнических сооружений для защиты от затопления морскими волнами территории завода по адресу: г. Одесса, ул. Черноморского Козачества, 72». В частности при разработке, методов расчета параметров трансформации ветровых волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля:

1. Методики проведения экспериментальных исследований по определению параметров трансформации волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля.
2. Экспериментальные данные по определению геометрических параметров оградительных сооружений неполного вертикального профиля.
3. Математические модели изменения основных параметров волн на защищаемой акватории.
4. Классификационные таблицы оградительного сооружения неполного вертикального профиля.
5. Рекомендаций по определению коэффициентов трансформации волн сооружениями неполного вертикального профиля.

Использование указанных результатов позволяет: использовать в инженерной практике новые конструкции оградительных гидротехнических сооружений обладающих высокими гасящими способностями; уменьшит капиталовложения в защиту акваторий портов и элементов городской инфраструктуры.

Председатель комиссии

Мудрицкий Григорий Анатольевич

Члены комиссии

Бердник Максим Викторович

Магдесян Тамара Ервандовна

Орлова Инга Викторовна





ООО «МЕГАЛАЙН ПРОЕКТ»
Код ЄРПОУ 37811138
Юридический адрес:
65005, Украина, г. Одесса, ул.Заньковецкой, 7

ТОВ «МЕГАЛАЙН ПРОЕКТ»
Код ЄРПОУ 37811138
Юридична адреса:
65020, м. Одеса, вул. Заньковецької, 7

ДОВІДКА

Про впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача Синиці Романа Валерійовича «Ефективність використання огорожувальних споруд неповного вертикального профілю».

Цим підтверджується, що результати дисертаційної роботи інженера Синиці Романа Валерійовича «Ефективність використання огорожувальних споруд неповного вертикального профілю» - застосовані при розробці робочого проекту «Реконструкція существующих берегозащитных сооружений для объекта: «Новое строительство яхт-клуба, со спасательной станцией, местами для отдыха, занятый спортом и заведением общественного питания, расположенного по адресу: г. Одесса, Французский бульвар, 1/5».

Довідка видана для пред'явлення в спеціалізовану Вчену раду по місцю захисту інженера Синиці Р. В. дисертації на здобування вченого ступеня кандидата технічних наук.

Директор ТОВ «Мегалайн Проект»



Ніколаєв В.В.