

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Синиця Роман Валерійович



УДК 627.24:624:041

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

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Рогачко Станіслав Іванович**,  
Одеській національний морський університет  
«ОНМУ», м. Одеса,  
професор кафедри Морські та річні порти,  
водні шляхи та їх технічна експлуатація.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Пойзнер Михайл Борисович**,  
Державний науково-дослідний та проектно-  
вишукувальний інститут морського  
транспорту ДП «ЧорноморНДІпроект»,  
м. Одеса,  
завідувач лабораторією дослідження  
конструкцій гідротехнічних споруд;

доктор технічних наук, доцент  
**Мозговий Андрій Олексійович**,  
Харківський національний університет  
будівництва та архітектури,  
м. Харків,  
доцент кафедри Геотехніки, підземних та  
гідротехнічних споруд.

Захист відбудеться «13» січня 2021 року о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д41.085.01 в Одеській державній академії будівництва та архітектури (65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4), ауд. а.360.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури (65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4).

Автореферат розісланий «\_\_» грудня 2020 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., доцент

С.О. Кровяков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 будівництва нових глибоководних морських торгових портів, спроможних приймати та обслуговувати сучасні великотоннажні судна.

Метою підвищення економічної ефективності нових проєктів морських портів, а також проведення реконструкції існуючих, є створення інвестиційно - привабливих конструкцій огорожувальних гідротехнічних споруд (ОГТС). Як відомо основним завданням ОГТС є захист акваторій від руйнівного впливу вітрових хвиль і забезпечення умов швартування та обслуговування суден.

Проектування, будівництво нових об'єктів та реконструкція існуючих вимагає ретельного вивчення параметрів зовнішніх сил, які залежать від інтенсивності хвильового впливу. Споруди вертикального профілю в залежності від розмірів кам'яних постілів, розташованих в основі ОГТС, можуть піддаватися силовому впливу як стоячих хвиль, так і хвиль, що руйнуються. У відповідності до діючих у нашій країні нормативних документів, призначення позначок надводних будівель ОГТС видаються дещо завищеними, оскільки вони не допускають переливу розрахункових хвиль через верхні будови на акваторії, що захищаються.

Нормами допустимі висоти хвиль на акваторіях морських портів, що захищаються, регламентуються параметрами (водотоннажністю) розрахункових суден, а також способу їх постановок в порту по відношенню до фронту хвиль. Дані норми встановлюють вимоги, можливості здійснення швартовних операцій і забезпечують в момент контакту суден з відбійними пристроями причальних споруд, нормальних складових швидкостей підходу суден до причальних споруд. У випадках захисту елементів берегової інфраструктури морських міст та інших населених пунктів, допустимі висоти хвиль регламентуються параметрами збереження берегів і пляжного матеріалу, недопущенням затоплень прибережних територій внаслідок впливу штормів рідкісної забезпеченості.

Дана робота присвячена дослідженню питань з визначення величин гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються при переливі їх через верхні будови 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 зменшення відміток надводних будівель ОГТС, є актуальними для сучасної 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 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 через верхню будову на акваторії, що захищаються;
- визначити ступінь впливу факторів ОГТС неповного вертикального профілю, що впливають на величину гасіння хвиль;
- визначити ступінь впливу факторів кам'яних постілів, що розташовані в основі ОГТС;
- провести чисельне моделювання з визначення величини гасіння хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю;
- розробити метод для визначення величин гасіння хвиль, що руйнуються, конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторії, що захищаються;
- розробити метод для визначення величини трансформації хвиль на кам'яних постелях різних висот, розташованих в основі 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 багатфакторного математичного моделювання властивостей гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю, при переливі хвиль через верхню будову огорожувальних споруд на акваторіях, що захищаються. Експериментальні лабораторні дослідження були проведені на фізичних моделях конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, лабораторній установці, призначеній для визначення величини гасіння хвиль. Для теоретичних, експериментальних і лабораторних досліджень, а також обробки отриманих результатів використовувалися 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.

Розробка методів розрахунку величин гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю. Дані методи можуть бути використані в проєктних практиках при проєктуванні конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю для захисту акваторій морських портів і морських берегів, на яких розташовані населені пункти, пам'ятки архітектури та берегові 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;
- розроблено метод визначення величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторії, що захищаються через верхні будови споруд;
- розроблено метод визначення величини трансформації хвиль на високих кам'яних постелях різних висот.

**Апробація результатів дисертації.** 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. Федеральної державної бюджетної освітньої установи 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 об'єм роботи.** 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність, визначені об'єкт, предмет, мета і завдання дослідження, розкрита його наукова новизна і практичне значення, наведена інформація про апробацію і впровадження результатів дослідження.

**Перший розділ** присвячений сучасному стану питання захисту акваторій морських портів конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю.

Дослідженнями силових впливів регулярних хвиль на гідротехнічні споруди в плоскій постановці займалися вчені в позаминому і минулому століттях. Так, відповідно до огляду, виконаному професором М.М. Джунковським, в позаминому столітті перші дослідження були проведені Ф. Герстнером, який опублікував свою роботу в 1802 році. Подальшими дослідженнями цих питань були присвячені роботи: Стевенсона, Корналіа, д'Ор, Гайяра, Бенезієй, Лірра, Сенфлу та інших вчених світу. Істотно вплинули на розвиток методів розрахунку гідротехнічних споруд при впливі регулярних хвиль здійснили: 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, Л.Ф. Титов, В.В. Хаперський, А.І. Кузнецов, Г.Н. Смирнов; кандидати технічних наук, Н.Є. Кондратьєв, І.Б. Тішкін, М.М. Загрядська, N.W.H. Allsop, H. D. Armono, G. Bennett, S. K. Chakrabarti, R. J. Cox, J.E. McKenna, D. Vicinanza, W.N. Seelig, Takahashi, T.J.T. Whittaker, Z. Huang та інші. Вони значно розвинули основи теорії морських хвиль і розробили методи розрахунків хвильових навантажень на різні типи гідротехнічних споруд.

У нормативних документах України СНиП 2.06.04-82\* «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)», Російської Федерації СП 38.13330.2012, Республіки Білорусь ТКП 45-3.04-170 - 2009, Республіки Казахстан СНиП РК 3.04-40-2006, посібнику П 58-76 ВНИИГ, а також у відкритих літературних джерелах, відсутні досить обґрунтовані рекомендації щодо визначення величин гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх через верхні будови. Практичний інтерес представляють величини хвиль на акваторіях портів, а також елементах берегової інфраструктури морських міст, що захищаються.

Перелив хвиль через верхні будови ОГТС вертикального типу спостерігався в ряді портів на Чорному і Середземному морях. Дане явище може виявлятися у випадках, коли споруди знаходяться ще в процесі будівництва, а також при впливі сейсмічних хвиль (цунамі) на конструкції ОГТС повного вертикального профілю. До ОГТС неповного профілю відносяться ті споруди, які допускають частковий перелив гребнів хвиль через свої верхні будови, зі зміною своїх основних хвильових параметрів (висот, довжин та періодів).

На підставі аналізу методів розрахунку величин гасіння хвиль були сформульовані основні задачі досліджень. Перша з яких полягала у визначенні експериментальним шляхом величин гасіння хвиль конструкціями ОГТС

неповного вертикального профілю при впливі хвиль, що руйнуються. Друга задача полягала у вивченні впливу кам'яних постелів на величини трансформації хвиль при підході до верхніх будов конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, впливі стоячих хвиль на огорожувальні споруди.

У зв'язку з тим, що допустимі висоти хвиль на акваторіях морських портів встановлюються у відповідності до 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 розрахункових суден, а також від розташування суден по відношенню до фронту хвиль, то немає необхідності в повному гасінні.

Результати проведених досліджень дозволять в майбутньому розробити рекомендації для зниження висоти надводних частин ОГТС.

У **другому розділі**, на підставі проведеного аналізу, розроблена схема наукового дослідження, надано обґрунтування критеріїв моделювання, представлена методика дослідження, експериментальна установка та план експериментів.

Системний підхід при дослідженні величини гасіння хвиль конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю носить комплексний характер. Об'єкт дослідження був розглянутий як складна система з усіма необхідними ознаками, наявністю підсистем (елементів), об'єднаних зв'язками цілісності фізичних моделей конструкцій ОГТС.

Перевірка адекватності розроблених розрахункових моделей проводилась зіставленням даних експериментальних досліджень з результатами проведеного чисельного розрахунку. Математичне завдання перевірки адекватності розрахункової моделі реальному об'єкту можливо трактувати як перевірку сукупності статистичних гіпотез.

Застосування розробленого методу наукового дослідження передбачає наявність усіх отриманих результатів експериментів. З метою розробки методу моделювання з визначення величини гасіння хвиль спорудами неповного вертикального профілю при переливі їх через верхні будови на акваторії, що захищаються, необхідне підтвердження адекватності використаних для цих цілей моделей.

Моделі ОГТС були виготовлені з бетонних блоків, які були розташовані на кам'яних постелях різних висот. Вага та розміри каменів були підібрані виходячи з масштабу моделювання.

З метою реєстрації параметрів хвиль в лабораторних умовах, була створена сучасна вимірювальна апаратура, яка дозволила вимірювати висоти хвиль з високою точністю. Завдання створення сучасної високоточної апаратури полягала в забезпеченні можливості проведення експериментів з необхідною точністю.



Перетворювач коливань рівня поверхні води в експериментальному лотку є датчик ємнісного типу, що перетворює 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.

У відповідності з розмірів хвильового лотку були прийняті та обумовлені оптимальні розміри моделей. Експериментальний лоток представлено на рис. 1.

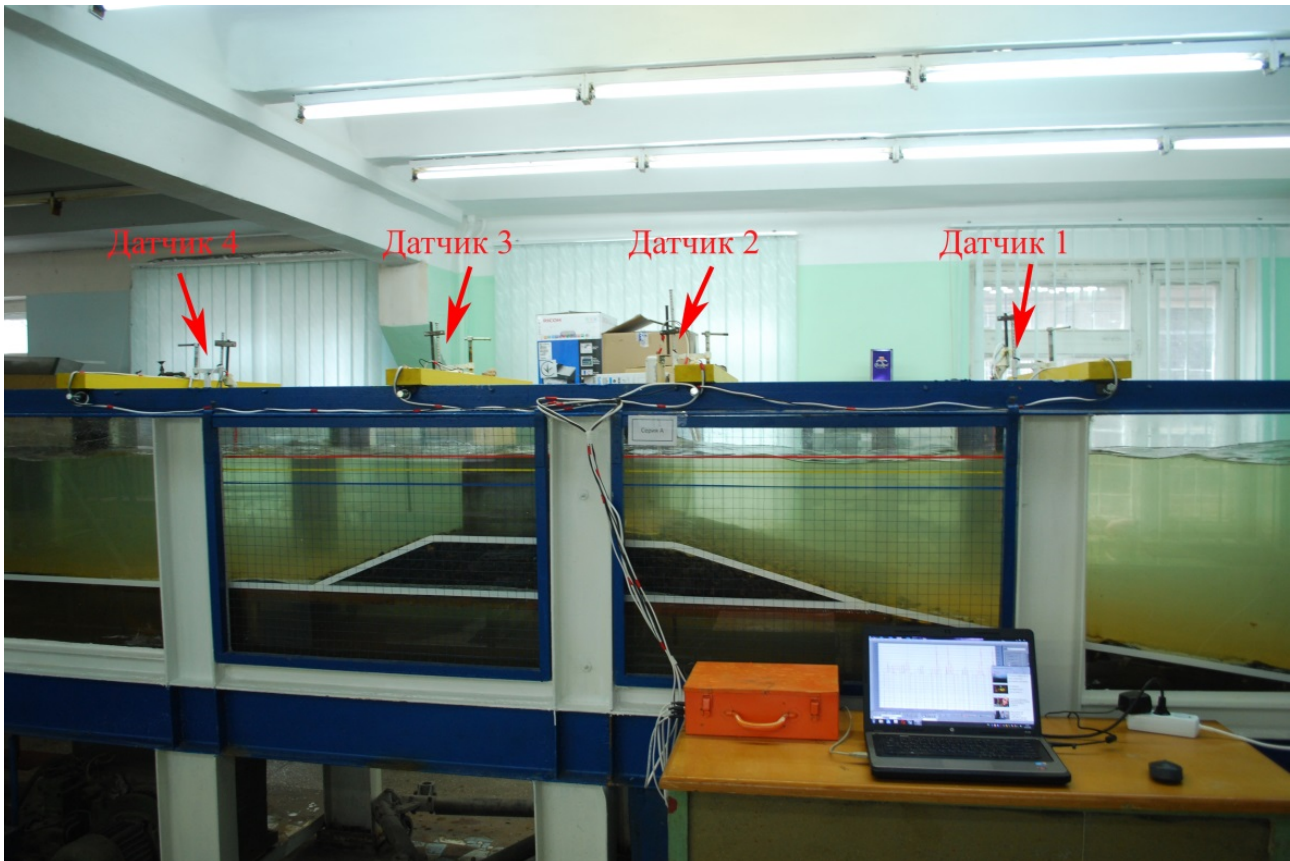


Рис. 1 Модель ОГТС у хвильовому лотку

Завдання проведених експериментальних досліджень полягали у визначенні величин хвиль перед конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю на відстані трьох довжин хвиль від хвилепродуктору (Датчик 1), вимірюванню величин хвиль, що формуються на кам'яних постелях, безпосередньо перед верхньою будовою ОГТС (Датчик 2), відразу за вертикальною стінкою споруди (Датчик 3), а також безпосередньо на самій акваторії, достовірних результатів досліджень. Градування здійснювалася послідовно, через кожні 10 мм, в діапазоні від +100 до -100 мм.

Представлені залежності були використані з метою обробки результатів експериментів. 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 хвильової залежності чотирьох експериментальних датчиків одночасно.

Наявність багатьох факторів досліджуваної конструкції ОГТС неповного вертикального профілю визначило кількість лабораторних досліджень, які необхідно було провести на фізичних моделях. Наукові дослідження були проведені з метою визначення висот хвиль, які пройдуть на акваторії, що захищаються, при переливі їх через верхні будови конструкції ОГТС неповного вертикального профілю.

Математична теорія планування експериментів (МТПЕ) дозволила скоротити кількість фізичних експериментів з отриманням найбільш повної інформаційної бази проведених досліджень. При цьому по кожній з проведених двох серій експериментів були спроектовані та побудовані по три фізичні моделі.

У першій серії проведених досліджень при визначенні впливу верхніх будов конструкції ОГТС неповного вертикального профілю (вплив хвиль, що руйнуються) не враховувався вплив кам'яних постілів. У даній постановці досліджуваного питання розглядалися лише фактори, що враховували вплив тільки самих конструкцій ОГТС неповного вертикального профілю, які представлені у табл. 1.

що захищається (Датчик 4).

Запис досліджуваних висот хвиль здійснювався з частотою 1 (кГц). Датчики були підключені до АЦП Е-14-140М (1Т189948), що в свою чергу, були з'єднані з ПК, в якому за допомогою програми LGraph 2 (версія 2.34.60) аналоговий сигнал перетворювався в цифровий.

Перед початком і після закінчення проведення серії експериментів проводилось градування вимірювальних датчиків з метою отримання

Таблиця 1

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

Код	Фактори що досліджуються	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X <sub>1</sub>	Висота вихідної хвилі $h_i$ , м	0,6	1,8	3,0	1,2
X <sub>2</sub>	Піднесення верхньої будови споруди відносно спокійного рівня води $\Delta H$ , м	0	0,5	1,0	0,5
X <sub>3</sub>	Ширина верхньої будови огорожувальної споруди $B$ , м	4,0	6,0	8,0	2,0

У другій серії запланованих експериментів, при впливі на конструкції ОГТС стоячих хвиль, необхідно в першу чергу врахувати вплив кам'яних постілів, що впливали на величину трансформації хвиль при підході до верхніх будов. Надалі необхідно провести розрахунки з визначення величин гасіння хвиль верхньою будовою ОГТС неповного вертикального профілю для того, щоб визначити висоти хвиль, які пройдуть на акваторії, що захищаються. У другій серії запланованих експериментів враховувалися фактори кам'яних постілів, представлені в табл. 2.

Відповідно до відомого набору синтезованих D-оптимальних планів з різним числом точок, вибір плану експериментів для вирішення описаних задач диктувався умовами наукових досліджень і вимогами до результатів їх рішення.

Таблиця 2

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

Код	Фактори, що досліджуються	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
X <sub>1</sub>	Висота вихідної хвилі $h_i$ , м	0,6	1,8	3,0	1,2
X <sub>2</sub>	Висота кам'яної постілі споруди $d_p$ , м	1,0	1,5	2,0	0,5
X <sub>3</sub>	Глибина води, на якій розташовується огорожувальної споруди $d$ , м	4,0	4,5	5,0	0,5

Чисельне моделювання процесу гасіння хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю було виконано при використанні чисельної моделі, яка була створена в програмному комплексі Ansys Fluent. Даний програмний комплекс в межах вирішення поставленого питання дозволив реалізувати широкий спектр досліджень, які були пов'язані з прогнозуванням поведінки хвильових процесів на акваторії, що захищається.

**Третій розділ** присвячений результатам проведених експериментів згідно з планами поставлених досліджень на моделях ОГТС неповного вертикального профілю, які були перераховані у відповідності до критеріїв подібності Фруда. За результатами проведених експериментів першої серії була отримана матриця значень погашених висот хвиль при переливі їх через верхні будови ОГТС неповного вертикального профілю на акваторії, що захищаються.

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 трифакторної експериментально-статистичної (ЕС) моделі, яка заснована на методі найменших квадратів.

Після створення 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.

Розрахунки, які були проведені в ПК «Statistica», надали можливість отримати набір необхідних коефіцієнтів для формування чисельної залежності між величинами гасіння хвиль та конструкціями ОГТС неповного вертикального профілю і вхідними факторами. Для знаходження поліному були використані коефіцієнти з урахуванням похибок експериментів з другого блоку результатів проведеного розрахунку. Відсутні в другому блоці коефіцієнти при змінних були прийняті рівними нулю. Величина значення коефіцієнту детермінації  $R\text{-кв}=0,94$  при першій серії досліджень, встановила адекватність ЕС-моделі. Модель взаємозв'язків досліджених факторів першої серії експериментів та залежних коефіцієнтів має вигляд:

$$h_r = 0,717 + 0,510 X_1 - 0,235 X_2 - 0,140 X_3 - 0,180 X_1 \cdot X_2 - 0,110 X_1 \cdot X_3 \quad (1)$$

Розрахунки з визначення величин трансформацій хвиль на кам'яних постелях різних висот були проведені в ПК «Statistica», яка надала набір необхідних коефіцієнтів для формування чисельної залежності між величинами трансформованих хвиль і вхідними факторами. Значення коефіцієнту детермінації для другої серії становила  $R\text{-кв}=0,98$ , що підтвердило адекватність ЕС-моделі. Модель взаємозв'язків факторів, що досліджувались та залежних коефіцієнтів другої серії має вигляд:

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

Вибіркові результати з визначення величини гасіння висот хвиль конструкцією ОГТС неповного вертикального профілю при переливі їх на акваторію, що захищається, були проведені в ПК Ansys Fluent. При проведеному чисельному моделюванні розрахункова висота хвилі була прийнята  $h=2,4$  (м), довжині  $\bar{\lambda}=24,5$  (м), піднесення верхньої будови відносно спокійного рівня води на величину, що становила  $\Delta H = 1,0$  (м) та ширині верхньої будови ОГТС  $B=4,0$  (м).

У відповідності з проведеними розрахунками чисельної моделі конструкції ОГТС неповного вертикального профілю при впливі стоячих хвиль, була встановлена висота погашеної хвилі на акваторії, що захищається, яка при прийнятих межових умовах складала  $h_{tr} = 0,60$  (м).

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

У **четвертому розділі** представлені отримані емпіричні розрахункові залежності, призначені для визначення висот хвиль на акваторіях, що захищаються при переливі хвиль через верхні будови ОГТС неповного вертикального профілю. Розроблені методи можуть бути використані в інженерній практиці при впливі на ОГТС неповного вертикального профілю стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються.

При проектуванні ОГТС розрахункові параметри вітрових хвиль визначаються з урахуванням трансформації і рефракції безпосередньо у місці розташування споруд, що проектуються. Забезпеченість розрахункового шторму встановлюється в залежності від класу відповідальності ОГТС з урахуванням вимог нормативного документу України ДБН В.2.4 - 3:2010 «Гідротехнічні споруди. Основні положення».

Для визначення висот хвиль, які будуть проникають на акваторії, що захищаються при переливі їх через верхні будови ОГТС неповного вертикального профілю хвиль, що руйнуються (Рис. 2) рекомендується використовувати до застосування емпіричну залежність (3).

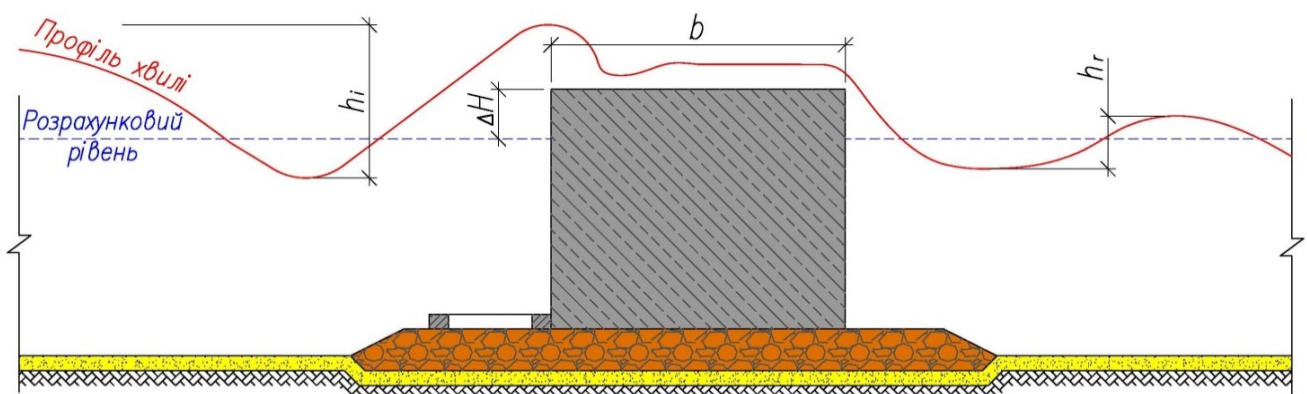


Рис. 2 Конструкція огорожувальної споруди неповного вертикального профілю

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

$$h_b = (0,3 - 0,1 \cdot \Delta H - 0,01 \cdot b) \quad (4)$$

де:  $h_r$  – висота хвилі на акваторії, що захищається, м;  
 $h_i$  – розрахункова висота хвилі в системі розрахункового шторму, м;  
 $\Delta H$  – піднесення верхньої будови огорожувальної споруди неповного вертикального профілю відносно розрахункового рівня води, м;  
 $b$  – ширина верхньої будови огорожувальної споруди, м;  
 $h_b$  – допоміжний коефіцієнт, який визначається відповідно до формули (4).

При впливі на ОГТС неповного вертикального профілю стоячих хвиль (Рис. 3), необхідно по-перше встановити величину трансформованої хвилі на кам'яній постілі за допомогою емпіричної залежності (5).

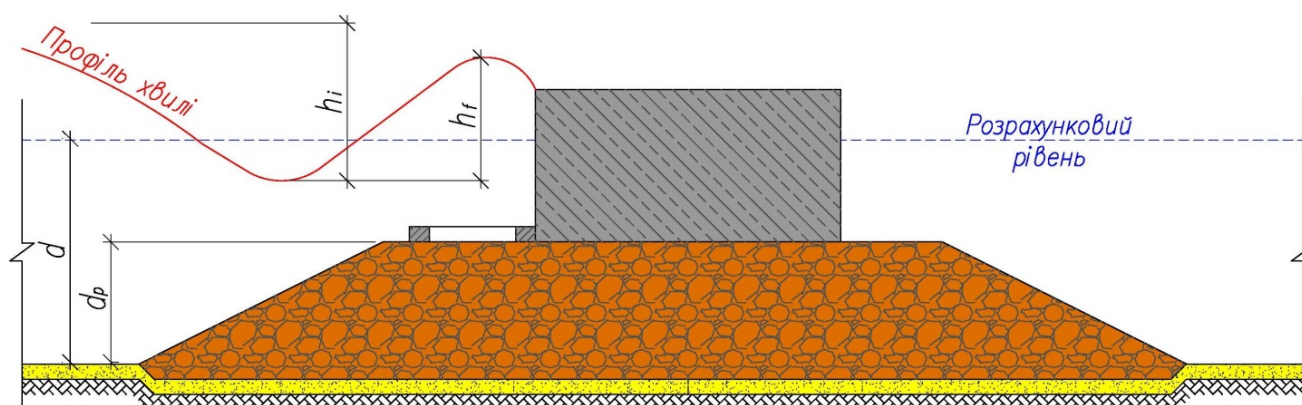


Рис. 3 Конструкція ОГТС з високою кам'яною постіллю

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

де:  $h_f$  – трансформована висота хвилі над кам'яною постіллю перед верхньою будовою огорожувальної споруди, м;  
 $h_i$  – розрахункова висота 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 конструкції ОГТС неповного вертикального профілю розташована висока кам'яна постіль (другій сценарій), по-перше, необхідно визначення висоти трансформованої хвилі відповідно до формули (5), яка буде формуватися на підході до верхньої будови ОГТС неповного вертикального профілю, а далі необхідно скористатися формулою (3) і визначити висоту хвилі на самій акваторії, що захищається.

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 здатністю.

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. У відповідності з цим, немає необхідності в повному гасінні хвиль, а лише доведенні їх висот до допустимих значень. Величини погашених висот хвиль при переливах через верхні будови ОГТС неповного вертикального профілю на акваторії, що захищається, можуть бути визначені у відповідності до запропонованих методів.

## 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  $\Delta H$ , а також в 3,65 рази перевищує величину впливу 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  $d_\phi$  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 опублікованих праць за темою дисертації**

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., Сеница Р. В. Исследование вопросов защиты городских территорий оградительными 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., Сеница Р. В. Определение параметров гашения волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля. Вісник Одеського національного морського університету. 2017. №2 (51). С. 108 - 117.

3. Столяров Л. С., Чернецкий А. В., Сеница 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. Сеница Р. В., Осадчий В.С., Столяров Л. С., Чернецкий А. В. Анализ существующих методик определения параметров гашения волн оградительными 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., Kolomic 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. Сениця, К.І. Анісімов. Заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2018 р.

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

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Сениця Р. В. Дослідження питань захисту морських акваторій огорожувальними спорудами неповного вертикального профілю / Р. В. Сениця, 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., Сениця 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., Сениця 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. Сениця Р.В., Осадчий В.С., Слободянюк В.П., Анісімов К.І. 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.

## АНОТАЦІЯ

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

Дисертація присвячена оцінці впливу параметрів конструкцій огороджувальних гідротехнічних споруд (ОГТС) неповного вертикального профілю, що впливають на величину гасіння стоячих хвиль, а також хвиль, що руйнуються при переливі їх на акваторію, що захищається. Проведені лабораторні експерименти і отримані теоретичні рішення, що дозволили встановити емпіричні залежності, які встановлюють значення погашених висот хвиль при переливі їх через верхню будову ОГТС неповного вертикального профілю.

В нормативному документі СНиП 2.06.04-82\*, посібнику П 58-76 ВНИИГ, а також у відкритих літературних джерелах, відсутні достатньо обґрунтовані рекомендації з впливу хвиль на огороджувальні споруди вертикального профілю, які переливаються через верхню будову. При цьому практичний інтерес представляють висоти хвиль на акваторіях портів, а також елементах берегової інфраструктури морських міст, що захищаються.

Перелив хвиль через верхню будову ОГТС вертикального типу спостерігався в ряді портів на Чорному і Середземному морях. До ОГТС неповного профілю відносяться ті споруди, які допускають перелив гребнів хвиль через свою верхню будову з подальшою зміною вихідних параметрів хвиль (висоти, довжини та періоду).

Результати проведених досліджень дозволять у майбутньому істотно знизити висоти надводної будови ОГТС, що проєктуються, як і тих, що реконструюються. Також це стосується огороджувальних споруд, які призначені для захисту елементів берегової інфраструктури морських міст.

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

## АННОТАЦИЯ

Синица Р.В. Экспериментально-теоретическое обоснование применения гидротехнических оградительных сооружений неполного вертикального профиля. - Рукопись.

Диссертация посвящена оценке влияния параметров конструкций оградительных гидротехнических сооружений (ОГТС) неполного вертикального профиля влияющих на величину гашения стоячих и разрушающихся волн при переливе их на защищаемую акваторию. Проведенные лабораторные эксперименты и получены теоретические решения, которые позволили установить эмпирические зависимости, которые позволяют определять значения погашенных высот волн при переливе их через верхнее строение ОГТС неполного вертикального профиля.

В нормативном документе СНиП 2.06.04-82\*, пособия П 58-76 ВНИИГ, а также в открытых литературных источниках отсутствуют достаточно обоснованные рекомендации, посвященные воздействию волн на оградительные сооружения вертикального профиля, которые переливаются через верхнее строение. Практический интерес представляют высоты волн на акваториях портов, а также защищаемых элементах береговых инфраструктур морских городов.

Перелив волн через верхние строения ОГТС вертикального профиля наблюдался в ряде портов на Черном и Средиземном морях.

Результаты проведенных исследований позволят существенно снизить отметки надводных строений конструкций ОГТС.

Ключевые слова: оградительное сооружение неполного вертикального профиля, степень гашения волн, каменная постель, защищаемая акватория порта.

## SUMMARY

**Synytzia R.V. The efficiency of the use of fence hydraulic 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 is devoted to the study of the effects of different parameters of structures of fence hydraulic structures of incomplete vertical profile on the properties of protection of marine waters when the waves overflow through the upper structure.

In the **introduction** of the work the substantiation of the choice of the research topic is given, the purpose and tasks, scientific novelty and practical value of the work are formulated, its general characteristic is presented.

The scientific novelty of the obtained results is that in the course of the research two empirical dependences were developed, which allow to determine the magnitude of waves in protected seaports under the influence of incomplete vertical profile, standing waves, and collapsing waves.

The **first section** of the dissertation presents a detailed overview and analysis of existing research on the issue of wave cancellation by fence structures of incomplete vertical profile.

In the course of the literary analysis, it was found that these issues have been studied in our country since the 1950 s., but at present, there are no practical recommendations in the normative documents of Ukraine and the CIS countries that allow establishing the wave heights that will be formed during the overflow through the upper structure fence structures of incomplete vertical profile. The solutions to these questions are presented by G.S. Bashkirov, V.V. Khapersky, O.J. Birskaya, N.W.H. Allsop, H. D. Armono, G. Bennett, S. K. Chakrabarti, R. J. Cox, J.E. McKenna, D. Vicinanza, W.N. Seelig, Takahashi, T.J.T. Whittaker, Z. Huang and others. However, today there is no unambiguous and reliable solution to the question studied in the dissertation work.

In the second section of the work, a plan of experimental research, the rationale and prerequisites for the choice of the factors under study, a detailed description of the methodology for testing experimental physical models of protective structures of an incomplete vertical profile located on a high stone base, and also in its absence, is given.

A description of the experimental setup is provided, as well as physical models of protective structures of an incomplete vertical profile on which the studies were carried out. The description of the measuring system, as well as the computer program, which were used in the dissertation work.

The **third section** of the thesis is devoted to the analysis of the results obtained from experimental data on the parameters of wave cancellation by protective structures of an incomplete vertical profile, as well as the parameters of wave transformation on a stone bed located at the base of the protective structures of an incomplete vertical profile. Experimental-statistical models of two series of experiments are presented. The results of a numerical experiment are described, which was carried out in the Ansys Fluent software package, which is based on the finite volume method used. When applied, the total volume of the model was divided into a finite number of control volumes in each of which the equations of conservation of mass, momentum, energy are solved.

In the **fourth section**, the obtained empirical relationships are presented, which are intended to establish the magnitude of the damping of waves during the overflow through the upper structure of protective structures to the protected harborage. In accordance with the results of the research, an empirical formula was also obtained that is intended to set the magnitude of the wave transformation on a high rubble bed located at the base of the upper structure of the enclosing structure, affecting the parameters of wave transformation when approaching the upper structure of levee.

The thesis presents the results of comparing the obtained empirical dependence, designed to determine the parameters of wave damping by the protective structures of an incomplete vertical profile with the existing methods proposed by other researchers.

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