

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН ОТ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ СКВОЗНОГО ТИПА С ПОДПРИЧАЛЬНЫМ ОТКОСОМ

Зуев Н.Д.¹, Шунько А.С.², Шунько Н.В.³

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: nd43zuev@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: andreji.shunk@rambler.ru

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: natshunko@rambler.ru

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенные на основе физического моделирования с применением новейшей измерительной аппаратуры и лабораторного оборудования фирмы Wallingford (Великобритания). Нагрузки от силового воздействия ветровых волн являются определяющими при выборе типов и конструктивных особенностей морских сооружений, проектируемых с учетом природно-климатических условий каждого конкретного района строительства. По этой причине отсутствие точных методов расчета волновых нагрузок на морские гидротехнические сооружения, не позволяет обеспечить их надежность в процессе проектирования и эксплуатации. Цель представленных экспериментальных исследований состоит в уточнении и внесении дополнений в раздел СП 38.13330.2018 [1] «Элементы волн на огражденной акватории», посвященный определению значений коэффициента отражения волн у конструкций сквозных гидротехнических сооружений, при воздействии на них расчетного ветрового волнения. Данная тема в нормативном документе [1] рассмотрена недостаточно широко и развернуто. Но, в то же время, обладая информацией о точных значениях коэффициента отражения волн, можно обоснованно понижать высотную отметку гидротехнических сооружений и выполнять ряд конструктивных мероприятий, приводящих, в конечном итоге к удешевлению строительства с одновременным повышением его качества. Довольно часто применение сквозных конструкций рассматривается при проектировании свайных грузовых причальных сооружений с подпричальным откосом. Результаты данных научных исследований обеспечат реализацию возведения новейших проектов морских портов, терминалов и грузовых комплексов, возводимых в сложных природных условиях, в том числе и в суровых арктических широтах, в регионах с интенсивной добычей углеводородного сырья и сжиженного природного газа.

Ключевые слова: сооружение сквозного типа, подпричальный откос, коэффициент отражения волн, параметры волнения, волнограф, физическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения сквозного типа получили большое распространение в нашей стране. Примером сооружений сквозного типа являются нефтяные платформы и опоры эстакад сквозного типа для добычи углеводородов в незамерзающих морях при относительно больших глубинах ($d/\lambda \geq 0,5$, где d – глубина воды, а λ – длина волны), а также высокие свайные ростверки причальных сооружений, часто проектируемые в северных широтах.

В данной работе, рассматривается свайное причальное гидротехническое сооружение с подпричальным откосом. В инженерной практике покрытие подпричального откоса обычно, осуществляется послойной укладкой несортированным или сортированным камнем, а также, искусственными бетонными фигурными блоками, например: тетраподами или гексабитами (рисунок 1). Наиболее часто встречающийся уклон откосной конструкции составляет отношение: 1:1,5.



Рис. 1. Конструктивные формы бетонных фасонных блоков:
а – тетрапод; б – гексабит

В морской и речной гидротехнике, для решения целого ряда задач, необходимо владеть информацией о значениях коэффициента отражения волн, при их воздействии на набросное откосное сооружение, в зависимости, от шероховатости его верхнего защитного слоя. В СП 38.13330.2018 [1], в разделе «Элементы волн на огражденной акватории», данные, по наиболее часто встречающемуся в конструкциях уклону – отсутствуют. Поэтому, результаты исследования коэффициентов отражения волн от набросного откоса, с уклоном 1:1,5 (наиболее часто встречающимся в набросных конструкциях), в зависимости от различной шероховатости его поверхности и параметров волнения являются, в настоящее время, востребованными данными.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Экспериментальные исследования по данной теме, с применением современной измерительной аппаратуры проводились впервые в научной практике. Целью представленных экспериментальных исследований являлось уточнение и внесение дополнений в раздел СП 38.13330.2018 [1] «Элементы волн на огражденной акватории», посвященный определению значений коэффициента отражения волн у конструкций сквозных гидротехнических сооружений, при воздействии на них расчетного ветрового волнения. Все экспериментальные исследования проводились на основе метода физического моделирования. Исследования с применением метода физического моделирования являются неотъемлемой частью научного сопровождения всех проектируемых современных морских гидротехнических комплексов. Метод физического моделирования, применительно к портовым сооружениям, позволяет не только исследовать волновую картину, но и непосредственно изучать взаимодействие волн с проектируемыми гидротехническими сооружениями. Поскольку практически все, без исключения, гидротехнические сооружения являются уникальными, то их проектирование не может осуществляться без соответствующего научного сопровождения. В каждом конкретном случае решаются в первую очередь те вопросы, на которых нет ответов в действующих нормативных документах. Получить такие ответы возможно лишь на основании анализа результатов правильно поставленных экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Результаты натурных исследований имеют безусловно большую ценность, но их проведение связано со значительными затратами и зависимостью от погодных условий. При этом, часто отсутствует возможность варьирования исходными параметрами. Лабораторные эксперименты лишены этих недостатков и поэтому являются предпочтительными.

При проведении исследований на основе физического моделирования, требуется последовательно решить следующие задачи:

- определить критерии подобия;
- определить состав экспериментов и технологию измерений;
- выбрать масштаб моделирования;
- изготовить физическую модель;
- выполнить пересчет модельных результатов на натуру, с оценкой погрешности измерений с учетом возможного масштабного эффекта.

Обеспечение подобия натурального объекта и его прототипа, при моделировании, требует выполнения геометрического, кинематического и динамического подобия, что обеспечивает возможность производить пересчет экспериментальных данных на натуру. Согласно теории подобия, модель будет соответствовать натурному аналогу по своему составу и происходящим процессам, при условии соблюдения трех условий: геометрического подобия; кинематического подобия; и динамического подобия. Линейный масштаб физической модели выбирается, прежде всего, исходя из размеров гидравлической установки и вспомогательного оборудования, в общем случае по имеющимся возможностям. Два других масштаба (динамический и кинематический) выбираются в зависимости от вида моделируемых процессов.

При моделировании взаимодействия волн с откосными сооружениями из наброски рваного камня и наброски из бетонных фигурных блоков основными действующими силами являются силы тяжести и инерции. В связи с этим, моделирование должно проводиться по критерию Фруда (Fr). Таким образом, поставленные в настоящей работе задачи, вполне могут решаться экспериментальным путем, поскольку результаты опытов, полученные в лабораторных условиях, без существенных погрешностей могут быть пересчитаны на натуру.

Физическое моделирование воздействия волн на причальное сооружение с подпричальным откосом проводилось в гидравлическом лотке НИУ МГСУ (рисунок 2). Волновой лоток представляет собой канал прямоугольного сечения, верхняя часть которого, открыта. Ширина лотка: 1,1 м; длина 30,0 м. Вблизи одной из торцевых стенок установлен волнопродуктор с собственным волногасителем, а вблизи другой – основной волногаситель, защищающий от набегающих волн. Щит волнопродуктора установлен в прямке, с целью обеспечения генерирования волн с относительно большой высотой при малой глубине воды в основной части лотка. Волногаситель волнопродуктора предназначен для гашения потока энергии волн, распространяющегося от щита волнопродуктора в тыловую часть лотка. Испытуемая модель располагается в середине лотка.

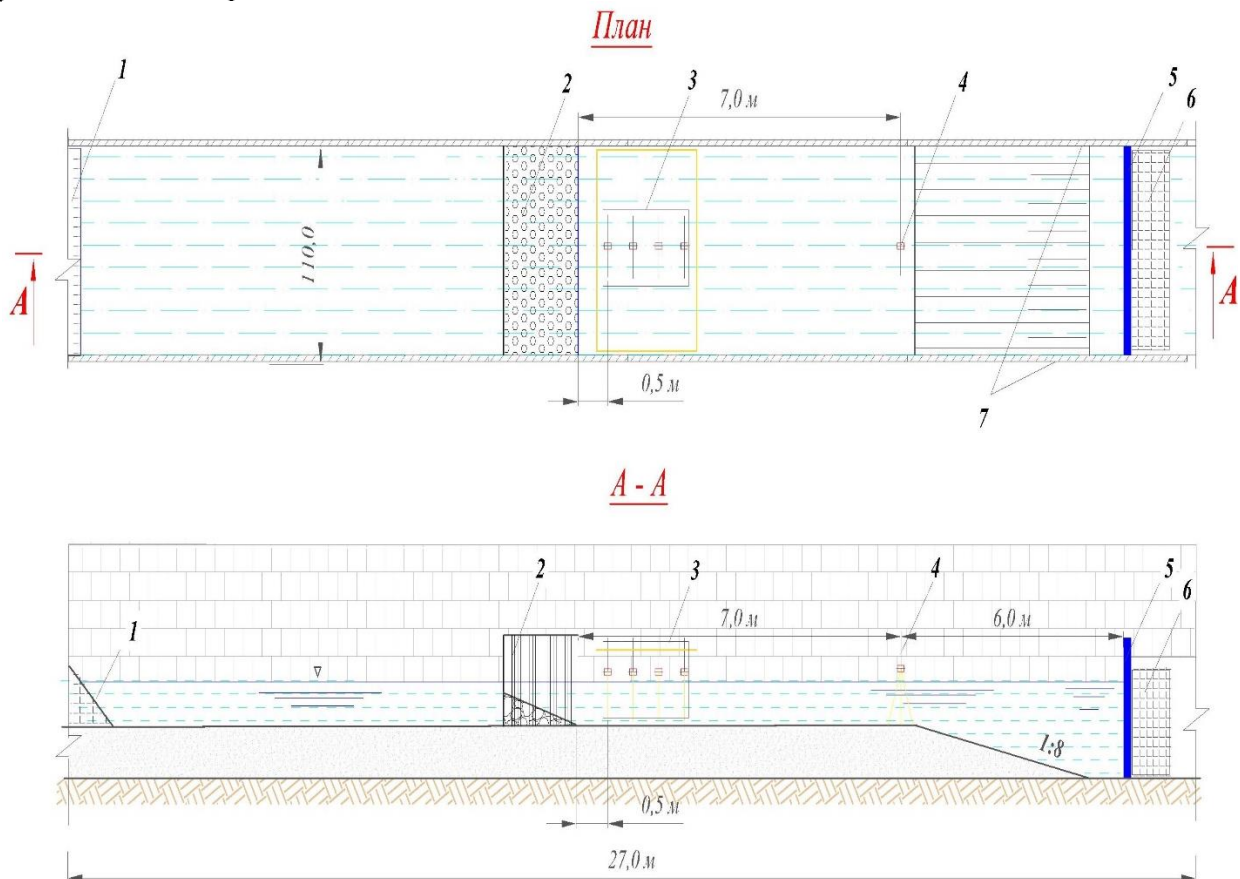


Рис. 2. Схематическое изображение экспериментов.

- 1 – волногаситель; 2 – модель сквозного сооружения причала с подпричальным откосом;
 3 – датчики-волнографы № В2-В5; 4 – датчик-волнограф № 1; 5 – волнопродуктор;
 6 – волногаситель; 7 – кафельные стенки волнового лотка

Для создания волн в данной работе применялся щитовой волнопродуктор, генерирующий регулярные волны. В процессе создания регулярных волн, обеспечивается постоянство частоты и амплитуды движения волновой поверхности, осуществляющегося посредством электромеханического привода. С целью гашения волн, применялись гасители реечного типа, в виде проволочной корзины с металлической стружкой, устанавливаемые за волнопродуктором и в противоположном конце лотка.

В экспериментальных исследованиях было использовано измерительное оборудование фирмы HR Wallingford (Великобритания). В опытах применялась автоматизированная система сбора и обработки экспериментальной информации в режиме реального времени, включающая: волнографы (резистивные измерители уровня взволнованной поверхности); электронный блок обработки данных на 8 каналов; пакет комплексных программ для сбора, анализа и визуализации данных экспериментов, с обработкой статистической информации, отображаемой на экране компьютера.

Тарировка волнографов проводилась в начале каждой серии экспериментальных исследований. Она проводилась на спокойной воде и состояла в установке волнографов на определенную глубину с выбранным количеством шагов, снятии с них показаний и расчете калибровочных коэффициентов с помощью специальной программы, входящей в комплект измерительной аппаратуры. Программы анализа в комплексе HR DAQ исходят из линейной зависимости между измеряемым параметром и выходным сигналом прибора [2-4]. Тарировочная программа применяет к данным два коэффициента и масштаб модели, что позволяет перевести их в приемлемый формат, который требуется для программы анализа. Для большинства приборов, зависимость сигнала на выходе от сигнала на входе, отличается от идеально линейной. Кроме того, приборы для измерения характеристик волн могут характеризоваться тарировочным коэффициентом, который изменяется с температурой или проводимостью, поэтому крайне важно регулярно производить калибровку всех приборов. Эта процедура осуществляется при помощи записи некоторого количества сигнальных напряжений на выходе (x) для различных модельных значений на входе (y). Программа тарировки, собирает эти N ($N > 3$) записей, вычисляет тарировочный коэффициент и точность приближения с помощью линейно-регрессионного анализа. В таблице 1 приведены результаты тарировки волновых датчиков, применяемых в исследованиях. Методика проведения исследований в работе – стандартная для подобного вида работ, полагающаяся на положениях теории подобия натурального и модельного объекта с применением критерия Фруда [5-7]. Средняя квадратичная погрешность измерения высоты волны в экспериментах, составляла не более $\pm 2\%$, а доверительный интервал – не менее 90%.

Таблица 1.
Таблица тарировки волнографов в экспериментах

№ волнографа п/п	Калибровочный коэффициент K , м/В	R^2 , %
1	0,0102411	0,9962
2	0,0123172	0,9930
3	0,0114235	0,9955
4	0,0121453	0,9961
5	0,0112011	0,9942

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе проектирования конфигурации новых портовых комплексов, состоящих из гидротехнических сооружений различного типа, решается вопрос об оптимальном плановом положении оградительных сооружений и соответствующем расположении ворот порта с применением информации о розе ветров в каждом конкретном районе строительства. Для любого порта неблагоприятными являются несколько штормов. Поэтому, один из аспектов научного сопровождения предусматривает обязательное физическое моделирование акватории будущего порта с целью изучения изменения параметров дифрагированных волн по мере их распространения от ворот. Программы таких экспериментальных исследований должны предусматривать опыты с дифрагированными волнами от штормов различных направлений, представляющих наибольшую опасность для каждого из проектируемых портов. Основной задачей таких исследований является получение опытных значений коэффициентов дифракции у причальных сооружений проектируемого порта, а также в тех точках акватории, которые представляют наибольшую важность. Коэффициент дифракции характеризует степень изменения параметров волн по мере их удаления от ворот порта вглубь акватории. На основании анализа результатов таких исследований составляется паспорт порта, который отражает состояние взволнованной поверхности акватории в период действия расчетного шторма, а значит и степень защищенности от проникающего волнения.

Таким образом, в процессе экспериментальных исследований на физических моделях фиксируются параметры исходных волн на подходе к воротам проектируемого порта, а также параметры волн в тех точках акватории, которые представляют интерес для каждого конкретного проекта. Поставленная цель достигается тем, что в мелководных волновых бассейнах строится модель проектируемого порта с учетом топографии дна, плановых положений, размеров и конструкций оградительных сооружений, конфигурации подходного канала и типов конструкций всех гидротехнических сооружений на акватории. Учет конструктивных особенностей сооружений при этом играет важную роль. Так, например, от причальных сооружений в виде вертикальной стенки будет происходить полное отражение дифрагированных волн, а причалы свайных конструкций с подпричальными откосами, будут способствовать их интенсивному гашению. Следует отметить, что рекомендации основного нормативного документа [1] по расчету коэффициентов дифракции в проектируемых портах, не учитывают конструктивных особенностей гидротехнических сооружений на проектируемых акваториях, включая и конструкции оградительных сооружений. По этой причине они могут использоваться только на предварительных стадиях проектирования.

Таким образом, наиболее достоверная информация по данному вопросу может быть получена только на основании анализа результатов экспериментальных исследований, полученных на соответствующей пространственной модели с учетом всех, перечисленных выше, факторов.

На проведение крупномасштабного физического моделирования по изучению распространения ветрового волнения на акватории порта затрачиваются значительные средства и время, поэтому, в данной работе, предлагается провести предварительные экспериментальные исследования по определению ряда необходимых в инженерной практике расчетных параметров для проектирования портов с получением широкого спектра значений для их расширенного прикладного применения. Соответственно, будет обеспечена наибольшая точность в предварительных расчетах гидротехнических сооружений, даже без проведения обязательных экспериментальных исследований. В данной работе предлагается применение для подобных расчетов экспериментально определенные значения коэффициента отражения волн ($k_{ref,i}$), который входит в формулу (А.12) из Приложения А [1] для определения высоты дифрагированной волны на огражденной акватории с учетом отражения ее от сооружений и преград на акватории порта. Коэффициент отражения волн в инженерных расчетах принимается по таблице А.4 [1]. В данной таблице отсутствует наиболее часто применяемый в современных проектах набросных гидротехнических сооружений уклон отражающей поверхности 1:1,5. Таким образом, необходимо экспериментально получить значения коэффициента отражения волн для этого уклона на трех типах верхней защитной наброски подпричального откоса.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Масштаб, в представленных экспериментальных исследованиях, был выбран наиболее возможно крупный: М 1:25. При проведении исследований в лабораторных условиях проектный камень нижнего слоя подпричального откоса, моделировался камнем, весом: от 1 г до 10 г. В качестве примера сквозного сооружения причала с подпричальным откосом, на рисунке 3 приведено подобное сооружение. Для укладки вышележащего слоя подпричального откоса применялся камень с весом: от 30 г до 60 г. В верхнем защитном слое конструкции модели применялись камень, гексабиты и тетраподы (поочередно) с массой 100 г. Значения коэффициентов отражения ($k_{ref,i}$) зависят от относительной величины пологости волны – λ/h_{dif} , относительной шероховатости – d_{cp}/h и не зависят от масштаба. Здесь λ , h_{dif} – длина и высота волны, d_{cp} – средний диаметр камня в слое подпричального откоса. Параметры волнения в исследованиях выбирались в диапазоне: высота волны (h) – от 0,03 м до 0,07 м; период волны (T) – от 0,5 с до 1,5 с.

Уклон откосной конструкции причального сооружения в опытах – 1:1,5. Глубина воды (H) в волновом лотке перед сооружением – 0,36 м. Относительная величина параметра (λ/h_{dif}) изменялась в диапазоне: от 10,0 до 64,0. Относительная шероховатость поверхности защитного слоя (d_{cp}/h) составляла значения: 0,68; 0,85.

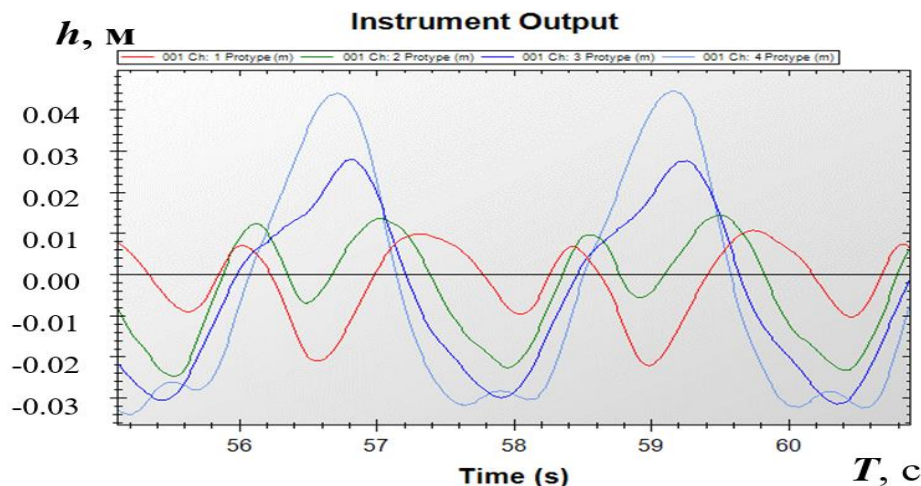


Рис. 6. Колебания волновой поверхности в экспериментах (показания волнографов В2-В5)

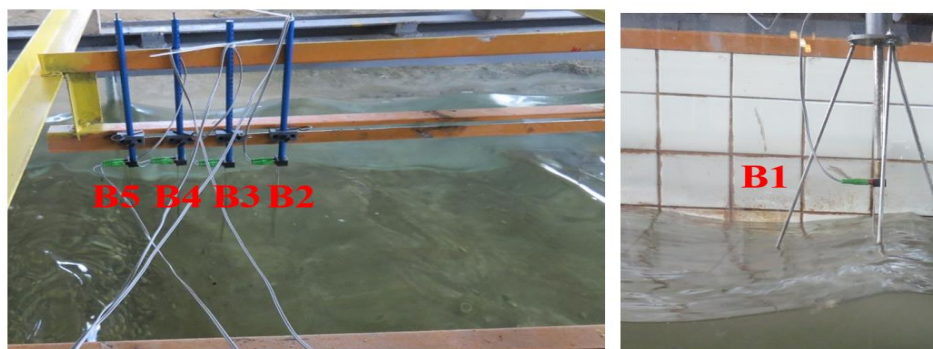


Рис. 7. Датчики-волнографы в рабочем положении

На основании анализа проведенных экспериментов, было определено, что небольшое препятствие на пути волн в виде свай причального сооружения не оказывает существенного влияния на движение волны, из-за относительно небольшого их диаметра. Основное взаимодействие волн и причального сооружения происходило на поверхности конструкции подпричального откоса. В экспериментах было проведено измерение коэффициентов отражения волн от различных защитных покрытий откоса причального сооружения.

Апробация работы программы измерения коэффициентов отражения волн, проведена на откосе с нулевой шероховатостью (гладкая поверхность) и уклоном 1:2. Данные нормативного документа [1] представлены в таблице 2 в сравнении с данными, полученными в экспериментальных исследованиях.

Таблица 2.

Экспериментальные значения коэффициента отражения волн от подпричального откоса с уклоном 1:2, в сравнении с данными норматива [1]

λ/h_{dif}	$d_{cp}/h = 0, i = 1:2$ $k_{ref,i}$ по СП 38 [1]	$d_{cp}/h = 0, i = 1:2$ $k_{ref,i}$ полученный в эксперименте
10	0,02	0,024
15	0,15	0,154
20	0,50	0,481
30	0,70	0,672
40	0,90	0,933

Значения коэффициентов отражения волн, автоматически рассчитывались по программе HR DAQ, с использованием преобразования Фурье, с выполнением задачи нахождения коэффициентов Фурье падающей и отраженной волны. Для примера, на рисунке 8 приведен скриншот с экрана монитора в процессе эксперимента, в случае, когда коэффициент отражения волны ($k_{ref,i}$) от наброски, представленной фигурными блоками – тетраподами, уложенными на откосную конструкцию подпричального откоса с уклоном 1:1,5 причального сооружения, равен значению 0,24.

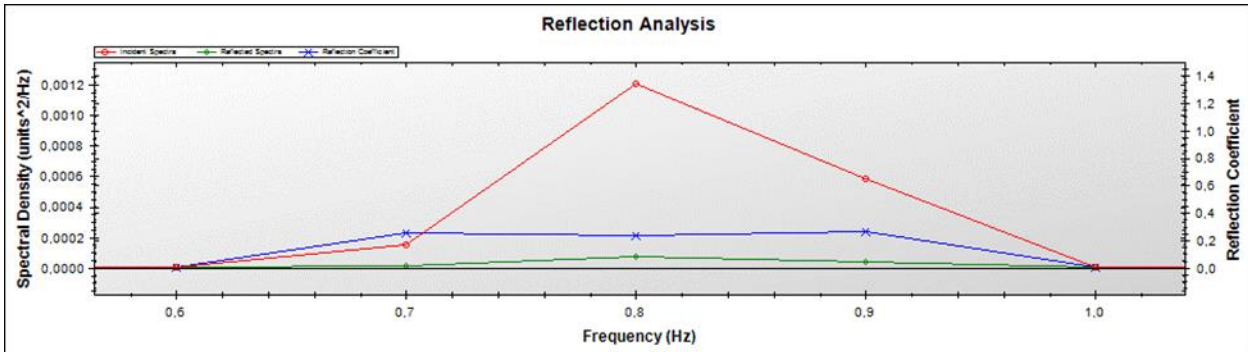


Рис. 8. Показания с экрана монитора при определении коэффициента отражения волн:
 красная линия – спектральная энергия падающей волны;
 зеленая линия – спектральная энергия отраженной волны;
 синяя линия – показания коэффициента отражения, распределенного по диапазону доступных частот

Экспериментальные значения коэффициентов отражения волн ($k_{ref,i}$) от подпричального откоса причального сооружения, приведены на рисунке 9 и в таблице 3.

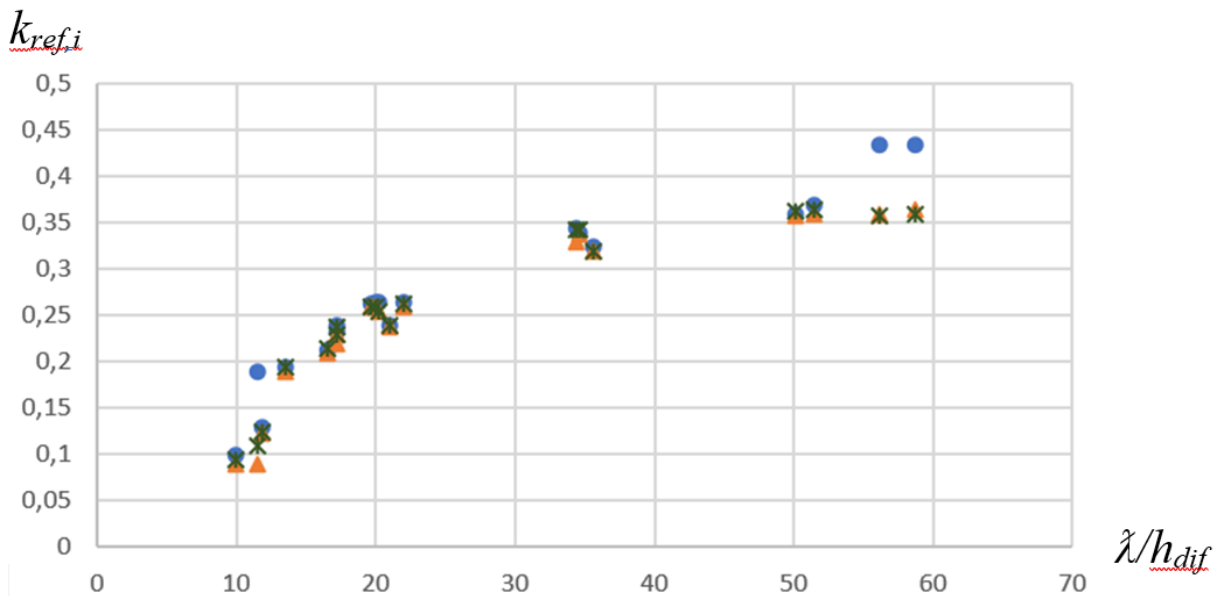


Рис. 9. Графическое изображение значений коэффициентов отражения волн, измеренных на подпричальном откосе с уклоном 1:1,5 и шероховатостью $d_{cp}/h = 0,68$ и $0,85$.
 Наполнитель верхнего слоя в защитной наброске подпричального откоса:
 ● - камень, ▲ - тетраподы, Ж – гексабиты

Таблица 3.
Экспериментальные значения коэффициента отражения волн от подпричального откоса с уклоном 1:1,5

λ/h_{dif}	$d_{cp}/h = 0,68$, камень	$d_{cp}/h = 0,85$, тетрапод	$d_{cp}/h = 0,85$, гексабит
10	0,099	0,090	0,094
11,4	0,190	0,089	0,110
11,8	0,130	0,123	0,125
13,5	0,195	0,189	0,194
16,4	0,212	0,209	0,214
17,1	0,233	0,219	0,230
17,2	0,240	0,229	0,238
19,7	0,262	0,259	0,261
20,0	0,264	0,261	0,260
20,2	0,264	0,256	0,255
21	0,240	0,238	0,241
22	0,265	0,261	0,263
34,4	0,344	0,331	0,343
34,5	0,341	0,338	0,342
35,6	0,324	0,319	0,321
50,1	0,359	0,358	0,362
51,5	0,369	0,361	0,366
56,2	0,436	0,360	0,358
58,6	0,435	0,365	0,361

ВЫВОДЫ

1. Из анализа полученных результатов значений коэффициентов отражения волн причальным сооружением с подпричальным откосом, представленных на рисунке 10, следует, что во всем диапазоне пологости волн (λ/h_{dif}) от 10 до 60, поглощающая способность энергии волн верхним защитным слоем откоса из камня, тетраподов или гексабитов одинаковой массы и, примерно, одинаковой шероховатости, сопоставима в пределах погрешности эксперимента.

2. Применение откосных конструкций с верхним защитным слоем из камня и бетонных фасонных блоков, имеющих шероховатость (d_{cp}/h) в пределах диапазона значений от 0,7 до 0,9, позволяет усилить поглощающую волновую энергию способность защитных покрытий, снизить значения волновой нагрузки, и в конечном итоге, оптимизировать стоимость возведения портовых гидротехнических сооружений.

3. Получены экспериментальные данные значений коэффициента отражения волн ($k_{ref,i}$), необходимые для определения высоты дифрагированной волны на огражденной акватории с учетом отражения ее от сооружений и преград на акватории порта, для наиболее часто применяемого в современных проектах набросных гидротехнических сооружений уклона отражающей поверхности 1:1,5. Эти данные отсутствуют в основном нормативном документе СП 38.13330.2018 [1] и, соответственно, предлагаются авторами работы для применения в проектной практике для предварительных расчетов откосных конструкций гидротехнических сооружений, в качестве дополнения к рекомендациям норматива [1].

4. Следует отметить хорошую работу компьютерной программы HR DAQ по измерению коэффициентов отражения волн от гидротехнических сооружений и достаточную точность результатов, регистрируемых измерительной аппаратурой фирмы Wallingford (Великобритания), апробированную, в том числе, с применением данных нормативного документа [1].

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения достаточно сложен и, поэтому, у проектировщиков имеется целый ряд вопросов, не решаемых в полной мере теоретическим путем. В первую очередь, это связано с многообразием исходных данных, подлежащих учету на различных стадиях выполнения проекта. В основных нормативных

документах, в частности СП 38.13330.2018 [1], могут отсутствовать те или иные расчетные сценарии взаимодействия волн и сооружений, которые не встречались ранее в проектной практике. Особенно актуально это для северных районов нашей страны, где в последнее время идет оживленное строительство грузовых причальных линий в составе морских перегрузочных комплексов [8] и проектируются морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения [9, 10] в очень сложных условиях. НИУ МГСУ регулярно осуществляет научное сопровождение подобных объектов, в том числе и с применением обширной экспериментальной базы для выполнения физического моделирования. Сложность проектирования гидротехнических сооружений связана, так же, с необходимостью учета взаимовлияния различных факторов на работу таких сооружений, которые в каждом новом районе строительства существенно отличаются друг от друга. Следует отметить уникальность и неповторимость, по ряду признаков, самих конструкций гидротехнических сооружений. Данное обстоятельство, так же, вносит свои сложности в проектные расчеты. Кроме всего вышесказанного, следует добавить, что и многие расчетные зависимости в действующих нормативах выводились, преимущественно, эмпирическим путем и необходимо их дополнительное уточнение с проведением крупномасштабных экспериментальных исследований.

Таким образом, перспективы применения метода физического моделирования, с задействованием в экспериментах новейшей измерительной аппаратуры для разработки уточнений и дополнений в рекомендации нормативных документов Российской Федерации, довольно значительны.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М: Минрегионразвития РФ, 2018. –111 с.
2. Beresford P.J., HR Wave Maker. Wave generation control program. Software manual. HR Report IT 453 (Issue 5), August, - 2003. – P. 203.
3. Kajima R. Estimation of an incident wave spectrum under the influence of reflection. Coastal Engineering in Japan 12. – 1969. – P. 9-16.
4. Users Guide to Physical Modelling and Experimentation [Электронный ресурс]. IAHR. – HYDRALAB, - 2011. – P. 245.
5. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости. Пер. с англ. – М : «Энергия», 1971. –480 с.
6. Кононкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. – М : Изд-во МГУ, 1985.- 298 с.
7. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях . Пер. с англ. – М : «Мир», 1981. –598 с.
8. Шунько, А.С. Физическое моделирование грузового причала Терминала Утренний [Текст] / А.С. Шунько, Н.В. Шунько //Промышленное и гражданское строительство. – 2021. - № 9. – С. 47-50.
9. Мирзоев, Д.А. Морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения — актуальные проблемы и перспективы развития. [Текст] / Д.А. Мирзоев // Гидротехника. – 2021. - № 4 (65). – С. 5-9.
10. Мирзоев, Д.А. Техничко-технологические особенности освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа. [Текст] / Д.А. Мирзоев, И.Э. Ибрагимов, О.Л. Архипова, Н.А. Дмитриенко, И.П. Караев //Гидротехника. – 2021. - №4 (65). – С. 10-14.

RESEARCH OF THE REFLECTION COEFFICIENT OF WAVES FROM THROUGH-TYPE HYDRAULIC STRUCTURE WITH SUB-BERTH SLOPE

¹Zuev N.D., ²Shunko A.S., ³Shunko N.V.

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, Russian Federation, e-mail: nd43zuev@yandex.ru

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, Russian Federation, e-mail: andrej.shunk@rambler.ru

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, Russian Federation, e-mail: natshunko@rambler.ru

Annotation. The paper presents the results of experimental studies carried out on the basis of physical modelling using the latest measuring equipment and laboratory equipment from Wallingford (Great Britain). Loads from the force effect of wind waves are decisive when choosing the types and design features of offshore structures designed taking into account the natural and climatic conditions of each specific construction area. For this reason, the lack of accurate methods for calculating wave loads on offshore hydraulic structures does not allow ensuring their reliability during design and operation. The purpose of the presented experimental studies is to clarify and make additions to the section SP 38.13330.2018 [1] “Wave elements in a fenced water area”, dedicated to determining the values of the wave reflection coefficient for structures of through hydraulic structures, when exposed to the calculated wind waves. This topic in the regulatory document [1] is not considered broadly and extensively enough. But, at the same time, having information about the exact values of the reflection coefficient of waves, it is possible to reasonably lower the elevation of hydraulic structures and carry out a number of constructive measures, which ultimately lead to a reduction in the cost of construction with a simultaneous increase in its quality.

Keywords: through-type structure, sub-horizontal slope, wave reflection coefficient, wave parameters, wave graph, physical modeling.