

Акционерное общество
**«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»**
(АО ЦНИИС)

Филиал АО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «Морские берега»
(Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега»)

УДК 627.5; 627.254; 711.558

№ государственной регистрации

Не фильмировался

ИНВ № _____.

УТВЕРЖДАЮ

Директор НИЦ «Морские берега»,
канд. техн. наук

Р.М. Тлявлин

«08» апреля 2019 г.



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме:

**«Оценка волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооруже-
ний методом гидравлического моделирования в волновом лотке»**
(заключительный)

МБ-19-02-01 от 07 февраля 2019 г.

Ответственный исполнитель,
зав. лабораторией ПИ, канд. техн. наук

Е.С. Волкова

Сочи 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственный исполни-
тель, зав. лабораторией ПИ,
канд.техн. наук



Е.С. Волкова (составление отчета)

Старший научный сотруд-
ник лаборатории ПИ,
канд.техн. наук



А.Ю. Ивасюк (разработка методики мо-
делирования, обработка
результатов эксперимен-
тов)

Зав. экспериментальным
участком



В.М. Лактионов (строительство модели,
проведение эксперимен-
тов)

Ведущий инженер



Ю.П. Грабчилев (разработка проекта мо-
дели, проведение и обра-
ботка результатов экспе-
риментов)

Нормоконтролер,
Вед. инженер



А.П. Кириленко

РЕФЕРАТ

Отчет 39 с., 21 рис., 3 источника, 2 прил.

АКВАТОРИЯ, ВОЛНОВОЙ РЕЖИМ, ГАШЕНИЕ ВОЛН, ВОЛНОГАСЯЩЕЕ СООРУЖЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ ВОЛН.

Объектом исследований являлись разрабатываемые волногасящие гидротехнические сооружения.

Цель исследований – оценка волногасящей способности гидротехнических сооружений.

Работа направляется Заказчику ООО «ТД «Базальтовые трубы».

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 Исходные данные для моделирования в волновом лотке	7
1.1 Краткое описание объектов исследований.....	7
2 Методика моделирования.....	7
2.1 Критерии подобия и масштаб моделирования.....	7
2.2 Измерительная система и точность измерений.....	11
3 Экспериментальные исследования в волновом лотке	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	29
ПРИЛОЖЕНИЕ: А Техническое задание.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ: Б Программа проведения экспериментальных исследований.....	31

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

h – высота волн;

h_m – высота волн на модели;

h_n – высота волн в натуральных условиях;

g – ускорение свободного падения;

m_G – масштаб массы элементов наброски (фасонных массивов, камня);

m_ℓ – геометрический масштаб;

m_t – масштаб времени (периода);

D_m – крупность элементов наброски на модели;

G_m – масса элемента (камня или массива) на модели;

G_n – масса элемента (камня или массива) в натуральных условиях;

V_m – характерная скорость на модели;

L_m – характерный размер обтекаемого тела;

T – период волн;

$\bar{T}_m$ – средний период волн на модели;

$\bar{T}_n$ – средний период волн в натуральных условиях;

Fr – число Фруда;

Re – число Рейнольдса;

δ_m – характерный размер отверстия на модели;

λ_n – длина волн в натуральных условиях;

λ_m – длина волн на модели;

ν – кинематическая вязкость жидкости.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-исследовательская работа «Оценка волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооружений методом гидравлического моделирования в волновом лотке» выполнена по договору № МБ-19-02-01 от 07.02.2019 г. с ООО «Торговый дом «Базальтовые трубы».

Работа выполнялась в соответствии с Техническим заданием к договору (Приложение 1), поэтапно:

1. Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований.
2. Сборка и установка модели сооружения в волновом лотке в принятом масштабе моделирования.
3. Проведение испытаний модели сооружения на воздействие ветровых волн.
4. Обработка результатов испытаний модели гидротехнического сооружения, обработка фотоматериалов процесса испытаний.
5. Составление отчета.

Исследования по взаимодействию волнения с разрабатываемыми сооружениями выполнены методом гидравлического моделирования в волновом лотке. Гидравлическое моделирование проведено на базе современных и апробированных методик, позволивших оценить степень волногашения предлагаемых конструкций.

1 Исходные данные для моделирования в волновом лотке

Раздел составлен по материалам, представленным Заказчиком и в соответствии с программой проведения экспериментальных исследований (Приложение Б).

1.1 Краткое описание объекта исследований

Объектом исследований в настоящей работе являлись волногасящие сооружения (разрабатываемые) трёх типов:

1. Сооружение представляло собой объемную конструкцию¹, состоящую из труб базы-обрешетки и труб гребенки, при этом первая часть труб базы-обрешетки размещена параллельно друг другу и выполнена с рядом сквозных отверстий, а вторая часть труб базы-обрешетки размещена перекрестно и проходит через сквозные отверстия первой части труб базы-обрешетки, трубы гребенки размещены вертикально в отверстиях, выполненных вдоль оси в теле первой части труб базы-обрешетки, трубы гребенки без заполнителя, а трубы базы-обрешетки заполнены бетоном (рисунок 1.1).

2. Плавучий волнолом состоит также из труб базы-обрешетки размещенных параллельно друг другу и труб гребенки направленных вниз (ко дну). Трубы базы обрешетки заполнены материалом, обеспечивающим плавучесть конструкции (рисунок 1.2).

3. Сооружение представляло собой совмещенную конструкцию подводной части волнолома-гребенки и плавучего волнолома.

2 Методика моделирования

2.1 Критерии подобия и масштаб моделирования

Одним из основных методов решения практических (инженерных) задач является метод физического моделирования. Особенно эффективно этот метод применяется в гидротехнике, когда, ввиду сложности протекающих процессов, получение достоверных теоретических результатов связано со значительными трудностями.

¹ Описание конструкций и названия конструктивных элементов приняты по данным Заказчика.

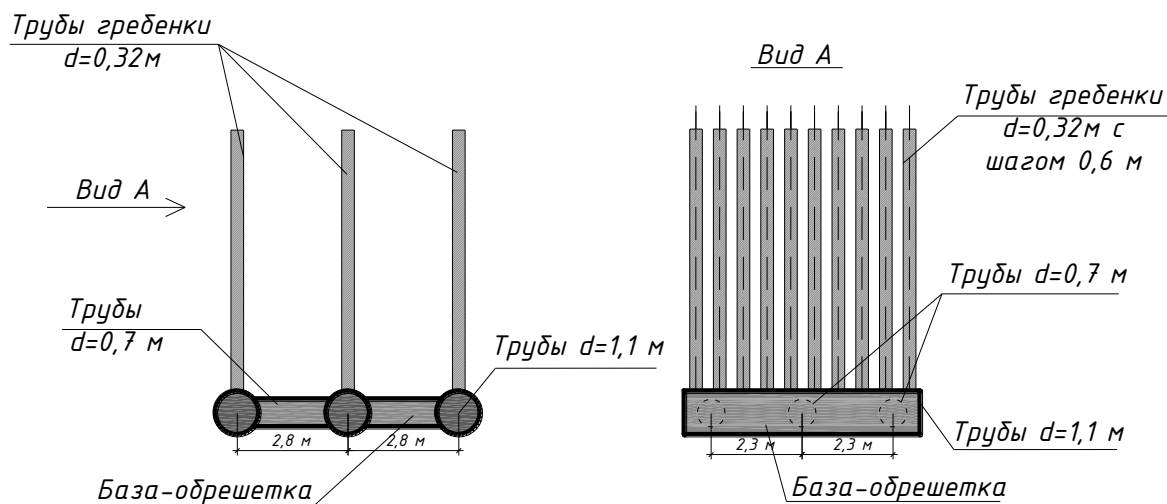


Рисунок 1.1 - Схема разрабатываемого волногасящего сооружения (волнолом-гребенка)

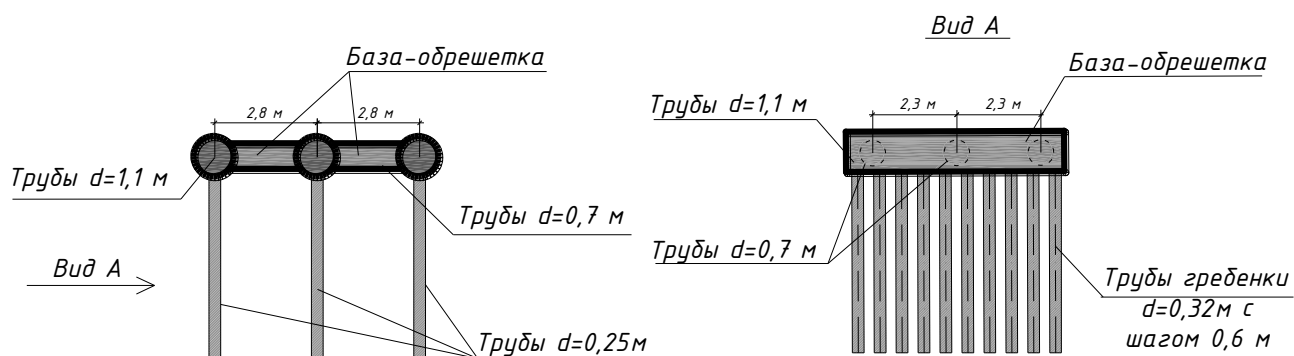


Рисунок 1.2 - Схема разрабатываемого плавучего волногасящего сооружения

Согласно теории подобия, изучать на гидравлической модели процесс волнового воздействия на сооружения следует при обеспечении геометрического подобия модели натурному объекту, подобия волнового режима, подобия поверхностных и объемных сил, т.е. необходимо обеспечить равенство всех определяющих критериев. В общем случае выполнить все эти условия практически невозможно. В частности, если на модели используется та же жидкость, что и в натуральных условиях, то нельзя одновременно обеспечить подобие по числам Фруда (Fr) и Рейнольдса (Re). Однако для целого ряда задач, имеющих важное практическое значение, не требуется подобие по обоим параметрам [2].

Так, при чисто волновом движении или воздействии не обрушающихся волн на гидротехнические сооружения, когда влияние вязкости мало, динамическое подобие модельных и натуральных процессов определяется равенством чисел Фруда. При исследовании волн на поверхности несжимаемой жидкости критерий Фруда может быть записан в виде:

$$Fr = \frac{h}{gT^2}, \quad (2.1)$$

где h – высота волн; g – ускорение свободного падения; T – период волн.

Ограничения по параметрам волн обусловлены необходимостью исключения заметного влияния молекулярной вязкости и капиллярных эффектов. Капиллярность (или поверхностное натяжение) можно не учитывать, если длина волн на модели λ_m больше 20 см [3]

$$\lambda_m > 20 \text{ см}. \quad (2.2)$$

Чтобы пренебречь внутренней диссипацией энергии волн за счет вязкости, должно быть выполнено условие [4]

$$\lambda_m > 400 \sqrt{\nu * T}, \quad (2.3)$$

где ν - кинематическая вязкость жидкости.

Другой класс задач о движении жидкости со свободной поверхностью включает случаи, когда трение в жидкости существенно, но влиянием молекулярной вязкости можно пренебречь. Примерами такого рода являются течения с сильно развитой турбулентностью при больших числах Рейнольдса. К их числу можно отнести задачи о взаимодействии волн с обтекаемыми преградами или проницаемыми сооружениями. Вопрос о моделировании сил сопротивления или сил гидродинамического воздействия в этих случаях сводится к вопросу моделирования формы и массы конструктивных элементов сооружений. Конечно, при этом следует иметь в виду, что существует нижний предел размеров модели, который определяется из условий: течение на модели должно быть турбулентным и автомодельным по числу Рейнольдса

[2]. При обтекании тел различной формы эти требования будут выполнены, если:

$$\text{Re} = \frac{V_m * L_m}{\nu} \geq 500 \div 1000, \quad (2.4)$$

где V_m – характерная скорость на модели;

L_m – характерный размер обтекаемого тела.

При истечении жидкости через отверстия в проницаемых экранах (струи) автомодельность по числу Рейнольдса будет иметь место, если:

$$\text{Re} = \frac{V_m \delta_m}{\nu} \geq 100, \quad (2.5)$$

где δ_m – характерный размер отверстия.

Взаимодействие волн с проницаемой наброской становится независимым от числа Рейнольдса при:

$$\text{Re} = \frac{V_m D_m}{\nu} \geq 1000, \quad (2.6)$$

где D_m – крупность элементов наброски.

Поскольку на гидравлической модели в волновом бассейне длина волн была более 0,7 м, влияние поверхностного натяжения и молекулярной вязкости жидкости на результаты исследований было несущественным (см. зависимости 2.2÷2.6). Поэтому можно сделать вывод, что исследуемые процессы на моделях были динамически подобны натурным. С учетом размеров бассейна и моделируемого участка берега геометрический масштаб модели принят равным:

$$m_\ell = 1:10 \quad (2.7)$$

Чтобы обеспечить на модели и в натуральных условиях равенство чисел Фруда (2.1) масштаб периода волны будет равен:

$$m_t = \frac{\bar{T}_m}{\bar{T}_n} = \sqrt{m_l} \quad (2.8)$$

где индекс «м» относится к модели, а «н» – к натурным величинам.

Масштаб массы конструктивных элементов сооружений принят равным:

$$m_G = \frac{G_M}{G_H} = m_l^3 \quad (2.9)$$

Масштаб скоростей принят равным:

$$m_v = \frac{\bar{V}_M}{\bar{V}_H} = \sqrt{m_l} \quad (2.10)$$

2.2 Измерительная система и точность измерений

Измерения параметров волн выполнялись с помощью измерительной системы, состоящей из персональной ЭВМ, соединенной с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) по каналу USB, платы фильтров, пассивной кабельной системы, измерительных датчиков, преобразователей, приспособлений к ним и вспомогательного оборудования.

АЦП применяется типа Е-140 фирмы L-card, имеющий до 32-х аналоговых каналов сбора данных. Для измерения параметров волн использовались емкостные волнографы ДУЕ-1, а для измерения нагрузок – кольцевые тензометрические датчики силы.

Систематические погрешности измерений периодов, длин и высот волн практически исключались путем независимого контроля с помощью секундомера и методом цифрового фотографирования и видеосъемки. После необходимого увеличения кадров цифровой видеосъемки длину и высоту волн определяли по шкалам дальности и высот, нанесенных на стенки ограждения модели. Период волн определяли по секундомеру путем отсчета n-го количества волн, проходящих через определенную отметку шкалы дальности в течение времени t.

3 Экспериментальные исследования в волновом лотке

Экспериментальные исследования проводились в волновом лотке, длина которого 20 м при ширине 0,6 м и высоте стенок 1,0 м. Волны генерировались щитовым волнопродуктором, установленным в прямке у одной из торцевых стенок. Для чистоты экспериментов исходный волновой режим в лотке подбирался без сооружений. С целью исключения отражения волн в торцевой

части лотка отсыпалась волногасящая берма. Каждый опыт повторялся не менее трех раз.

Модель строилась в соответствии с выбранным масштабом $m_\ell = 1:10$, сборка модельных образцов исследуемых конструкций гидротехнических сооружений производилась представителем Заказчика.

С целью оценки эффективности разрабатываемых волногасящих гидротехнических сооружений было проведено семь экспериментов в волновом лотке.

Для оценки волногасящей способности исследуемых конструкций во всех опытах определялся коэффициент волногашения

$$k_{\text{вг}} = 1 - k_{\text{ref}}^2 - k_{\text{tr}}^2, \quad (3.1)$$

где: $k_{\text{tr}} = \frac{h_{\text{tr}}}{h}$ - коэффициент прохождения волн,

h_{tr} – высота волн за сооружением.

Для оценки волноотражающей способности исследуемых конструкций определялся коэффициент отражения по формуле:

$$k_{\text{ref}} = \frac{h_{\text{ref}} - h}{h} \quad (3.2)$$

где: k_{ref} – коэффициент отражения волн,

h_{ref} – высота волн в пучности,

h – исходная высота волн.

В каждом опыте сооружения исследовались при воздействии волнения: высота волн $h = 20,0$ см $(2,0\text{ м})^2$, средний период волн $T = 2,1$ с $(6,64$ с)

Глубина воды в зоне расположения сооружения во всех опытах равнялась 65 см $(6,5$ м).

Опыт №1. В опыте №1 исследовалось взаимодействие исходного волнения с разрабатываемым волногасящим гидротехническим сооружением – волнолом-гребенка. Сооружение представляло собой объемную конструк-

²Здесь и далее по тексту в скобках приводятся величины, соответствующие натурным данным

цию, состоящую из труб базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) и Ø70 мм (0,7 м) и труб гребенки Ø32 мм (0,32 м), при этом первая часть труб базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) размещена параллельно друг другу и выполнена с рядом сквозных отверстий, а вторая часть труб базы-обрешетки Ø70 мм (0,7 м) размещена перекрестно и проходит через сквозные отверстия первой части труб базы-обрешетки, трубы гребенки размещены вертикально в отверстиях, выполненных вдоль оси в теле первой части труб базы-обрешетки, трубы базы-обрешетки Ø70 мм (0,7 м) и трубы гребенки, без заполнителя, а трубы базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) заполнены бетоном.

Схема сооружения представлена на рисунке 1.1, а вид перед проведением опыта - на рисунке 3.1.

Ввиду того, что основной задачей проведения физического моделирования в волновом лотке являлась оценка степени волногашения разрабатываемых конструкций, в опыте №1 исследовалась конструкция без дополнительного крепления. При воздействии исходного волнения сооружение было неустойчиво и перемещалось в направлении распространения волн.

В последующих опытах. для оценки волногашения, конструкция закреплялась в лотке и рассматривалась как устойчивая.

Дополнительные мероприятия по обеспечению устойчивости на сдвиг и опрокидывание принимаются проектировщиками в соответствии с геоморфологическими и гидрометеорологическими особенностями месторасположения исследуемых конструкций и в данной работе не исследовались.

Взаимодействие исследуемого сооружения с исходным волнением показано на рисунках 3.2÷3.3.



Рисунок 3.1 - Сооружение перед проведением опыта №1



Рисунок 3.2 - Воздействие исходного волнения на сооружение



Рисунок 3.3 – Перемещение сооружения под воздействием волнения

По результатам проведения опыта с закрепленной конструкцией получено:

- при воздействии волн на волногасящее гидротехническое сооружение его волногасящая способность незначительная – $k_{\text{вг}} = 0,12$;
- высота волн за сооружением - 18 см (1,8м);
- коэффициент прохождения волн $k_{\text{п}} = 0,9$.

Воздействие исходного волнения на сооружение показано на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Воздействие исходных волн на сооружение

Опыт №2. По результатам проведенного опыта №1, с целью оптимизации конструкции было принято решение об уменьшении сквозности рядов гребенки. Для этого на фронтальный ряд труб гребенки были установлены горизонтальные пруты диаметром 2 мм (0,02 м) с шагом 2 мм (0,02 м). Модель конструкции с дополнительными элементами показана на рисунке 3.5.

Во избежание сдвига сооружения при волновом воздействии, оно было жестко закреплено ко дну.

Волногасящая эффективность оценивались методом физического моделирования, для чего был проведен эксперимент с такими же волновыми параметрами, как и в предыдущем опыте.

Результаты эксперимента показали, что:

- коэффициент волногашения несколько увеличился по сравнению с опытом №1;
- при воздействии волн на волногасящее гидротехническое сооружение его волногасящая эффективность составила $k_{\text{вз}} = 0,38$;
- высота волн за сооружением составила 15 см (1,5м);
- коэффициент отражения волн составил $k_{\text{ref}} = 0,25$;
- коэффициент прохождения волн $k_{\text{тр}} = 0,75$.

Воздействие исходного волнения на сооружение показано на рисунке 3.6.



Рисунок 3.5 – Сооружение перед проведением опыта №2



Рисунок 3.6 - Воздействие исходных волн на сооружение в опыте №2

Опыт №3. Для увеличения волногасящей способности в опыте №3 в отличие от опыта №2, горизонтальные пруты с шагом 2 мм (0,02 м) были установлены на 1-й и 3-й ряды свай гребенки. Сооружение перед проведением опыта представлено на рисунке 3.7.

Опыт №3 был проведен с такими же волновыми параметрами, как и в предыдущих опытах.

В результате проведения опыта №3 получено, что:

- волногасящая эффективность незначительно улучшилась по сравнению с опытом №2 – $k_{вг} = 0,39$;
- высота волн за сооружением составила 14 см (1,4м);
- коэффициент прохождения волн - $k_{тр}=0,70$;
- коэффициент отражения волн составил $k_{ref} = 0,35$.

Воздействие исходного волнения на сооружение показано на рисунках 3.8÷3.10.



Рисунок 3.7 - Общий вид сооружения перед экспериментом №3



Рисунок 3.8 – Воздействие волнения на сооружение в опыте №3



Рисунок 3.9 – Прохождение волн через сооружение



Рисунок 3.10 – Исходное волнение после прохождения через сооружение в опыте №3

Опыт №4. В опыте №4 оценивалась волногасящая способность волнолома-гребенки, между рядами которого была выполнена отсыпка гексабитов, соответствующих марке ГБ 1 (масса 1 т в натуральных условиях). Отсыпка гексабитов выполнена до отметки превышающей уровень воды на 10,0 см (0,1 м). Для предотвращения расхождения рядов труб гребенки в верхней части волнолома они были закреплены между собой по периметру.

Устойчивость и волногасящая эффективность оценивались методом физического моделирования, для чего был проведен опыт с такими же вол-

новыми параметрами, как и в предыдущих опытах. Конструкция исследуемого сооружения в данном опыте в лотке не закреплялась.

Результаты эксперимента показали, что:

- предлагаемая конструкции устойчива без дополнительного закрепления;

- коэффициент волногашения составил $k_{\text{вг}} = 0,87$;

- высота волн за сооружением - 7 см (0,7 м);

- коэффициент прохождения волн - $k_{\text{п}} = 0,35$;

- коэффициент отражения волн составил $k_{\text{ref}} = 0,1$.

Заплесков и переливов через сооружение зафиксировано не было.

Взаимодействие сооружения с волнением показано на рисунках 2.11÷2.12.



Рисунок 3.11 - Общий вид сооружения перед началом опыта №4



Рисунок 3.12 - Воздействие волн на сооружение в опыте №4

В опыте №5 для повышения волногасящей способности гидротехнического сооружения без использования фигурных блоков, специалистами НИЦ «Морские берега» было предложено изменить сквозность рядов труб гребенки. Сквозность составляла 29% для первого (фронтального ряда) свай гребенки, 17% - для среднего и 9% - для тыльного ряда. В связи с невозможностью установки на представленной опытной модели волнолома вертикальных труб, для обеспечения вышеуказанной сквозности установлены горизонтальные трубы $\varnothing 20$ мм (0,2 м) с шагом 28 мм (0,28 м), 24 мм (0,24 м) и 22 мм (0,22 м) соответственно. Ранее выполненные экспериментальные исследования в НИЦ «Морские берега» показали, что при обеспечении одинаковой сквозности, разница в волногашении между вертикальной и горизонтальной установкой труб незначительна.

Сооружение перед проведением опыта представлено на рисунке 3.13.

По результатам проведения опыта получено:

- коэффициент волногашения исследуемой конструкции - $k_{вг} = 0,89$;
- высота волн за сооружением составила 5 см (0,5 м);
- коэффициент прохождения волн $k_{тг}=0,25$;

- коэффициент отражения составил $k_{\text{ref}} = 0,2$;
- заплесков и переливов через сооружение зафиксировано не было.

Взаимодействие сооружения с волнением показано на рисунках 3.14÷3.15



Рисунок 3.13 - Общий вид сооружения перед проведением опыта №5



Рисунок 3.14 – Взаимодействие исходного волнения с разрабатываемым сооружением в опыте №5



Рисунок 3.15 – Исходное волнение после прохождения через сооружение в опыте №5

В опыте №6 оценивалась волногасящая способность плавучего волнолома представляющего собой объемную конструкцию, из труб состоящую из труб базы-обрешетки $\varnothing$ 80 мм (0,8 м) и труб гребенки направленных вниз $\varnothing$ 25 мм (0,25 м) с шагом 55 мм (0,55 м). Сквозность рядов труб гребенки составляла 55%. Трубы базы-обрешетки заполнены пористым материалом, позволяющим конструкции находиться на поверхности воды (плавучий волнолом). Схема плавучего волногасящего сооружения показана на рисунке 1.2.

Общий вид сооружения перед проведением опыта представлен на рисунке 3.16.

Результаты эксперимента показали, что плавучая конструкция не обладает волногасящей способностью. Высота воздействующих волн оставалась без изменения после прохождения через конструкцию. Взаимодействие исходного волнения с сооружением показано на рисунке 3.17.



Рисунок 3.16 - Общий вид сооружения перед началом опыта №6



Рисунок 3.17 – Воздействие на сооружение исходного волнения в опыте №6

Опыт №7 . В седьмом опыте исследовалась совместная работа плавучего волнолома и волнолома – гребенки. Перед проведением опыта №7 высота рядов донной конструкции волногасящего сооружения, исследуемого в опыте №5, была уменьшена до отметки на 5см (0,5 м) ниже уровня воды. Сквозность рядов труб гребенки, как и в опыте №5, составляла 29% для первого (фронтального ряда) свай гребенки, 17% - для среднего и 9% - для тыльного ряда. В верхней части сооружения донной конструкции была установлена плавучая конструкция, таким образом, что вертикальные трубы плавучей конструкции Ø 25мм (0,25 м) были вставлены в вертикальные трубы Ø 32мм (0,32 м) донной части. Сквозность рядов гребенки плавучей конструкции не уменьшалась и составляла 55 %, также как в опыте №6. Отметка верха плавучей части волнолома располагалась выше уровня воды на 5 см (0,5 м).

Сооружение перед проведением опыта представлено на рисунке 3.18. Взаимодействие сооружения с волнением показано на рисунке 3.19.

Результаты эксперимента показали, что:

- предлагаемая конструкция обеспечивает волногашение ниже, чем в опыте № 5;
- коэффициент волногашения составил $k_{\text{вг}} = 0,69$;
- высота волн за сооружением составила 10 см (1,0 м);
- коэффициент прохождения волн $k_{\text{тр}}=0,5$;
- коэффициент отражения волн составил $k_{\text{ref}} = 0,25$.

Верхняя часть волнолома (плавучая) во время воздействия волнения была подвижна и перемещалась в вертикальной плоскости, не обеспечивая волногашения как в опыте №5.



Рисунок 3.18 - Общий вид сооружения перед проведением опыта №7



Рисунок 3.19 – Воздействие исходного волнения на волнолом в опыте №7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом исследований являлись разрабатываемые волногасящие гидротехнические сооружения.

Цель исследований – оценка волногасящей способности гидротехнических сооружений трех типов:

1. Волногасящее сооружение – волнолом-гребенка. Конструктивно сооружение представляло собой объемную конструкцию, состоящую из труб базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) и Ø 70 мм (0,7 м) и труб гребенки Ø32 мм (0,32 м), при этом первая часть труб базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) размещена параллельно друг другу и выполнена с рядом сквозных отверстий, а вторая часть труб базы-обрешетки Ø 70 мм (0,7 м) размещена перекрестно и проходит через сквозные отверстия первой части труб базы-обрешетки, трубы гребенки размещены вертикально в отверстиях, выполненных вдоль оси в теле первой части труб базы-обрешетки, трубы базы-обрешетки Ø 70 мм (0,7 м) и трубы гребенки, без заполнителя, а трубы базы-обрешетки Ø110 мм (1,1 м) заполнены бетоном.

2. Плавающий волнолом, представляющий собой объемную конструкцию, из труб состоящую из труб базы-обрешетки Ø80 мм (0,8 м) и труб гребенки направленных вниз Ø25 мм (0,25м) с шагом 55 мм (0,55м). При этом трубы базы-обрешетки заполнены пористым материалом, позволяющим конструкции находиться на поверхности воды (плавающий волнолом).

3. Совмещенная конструкция подводной части волнолома-гребенки и плавучего волнолома.

По результатам экспериментальных исследований получено:

1. Конструкция волногасящего сооружения (волнолом-гребенка) требует оптимизации. Наиболее высокой волногасящей способностью обладают сооружения, исследуемые в опытах 4 и 5. При заполнении пространства между рядами свай гребенки фигурными блоками, коэффициент волногашения составил $k_{\text{вг}} = 0,87$. Высота волн за сооружением снижается в 2,9 раза.

При обеспечении сквозности рядов труб гребенки - 29% для первого (фронтального ряда), 17% - для среднего и 9% - для тыльного ряда коэффициент волногашения составил $k_{\text{вг}} = 0,89$. Высота волн за сооружением снижается в 4 раза.

2. Конструкция плавучего волнолома не обладает волногасящей способностью.

3. Совмещенная конструкция подводной части волнолома-гребенки со сквозностью рядов труб гребенки - 29% для первого (фронтального ряда), 17% - для среднего и 9% - для тыльного ряда и плавучего волнолома со сквозностью рядов труб гребенки - 55% обладает меньшей волногасящей способностью по сравнению с сооружениями, исследуемыми в опытах 4 и 5 (заполнение пространства между рядами труб гребенки фигурными блоками и снижение сквозности рядов труб гребенки). Коэффициент волногашения составил $k_{\text{вг}} = 0,69$.

4. Все исследуемые варианты конструкций, кроме волнолома-гребенки заполненной фигурными блоками требуют дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости на сдвиг и опрокидывание, которые подбираются на стадии проектирования в соответствии с геоморфологическими и гидрометеорологическими особенностями месторасположения исследуемых конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

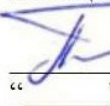
1. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1971, 480 с.
2. Кононкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. – М.: Изд-во МГУ, 1985, .298с.
3. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. Пер. с англ. – М.: Изд-во «Мир», 1981, 598 с.

Приложение А

Приложение 1

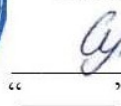
к договору № МБ-19-02-01 от "07" февраля 2019 г.

СОГЛАСОВАНО:
Директор филиала АО ЦНИИС
«НИЦ «Морские берега», к.т.н.

 Р.М. Тлявлин
" " " 2019 г.



УТВЕРЖДАЮ:
Генеральный директор
ООО «ТД «Базальтовые трубы»»

 Суханова О.В.
" " " 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ на выполнение работ

«Оценка волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооружений методом гидравлического моделирования в волновом лотке»

1	Заказчик	ООО «Торговый дом «Базальтовые трубы» 127287, г. Москва, Петровско-Разумовский проезд, д.29, строение 4. телефон: 8 (985) 768-14-58, e-mail: zbt@bk.ru
2	Исполнитель	Филиал АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега»
3	Срок выполнения работ	75 календарных дней с момента поступления авансового платежа на расчетный счет Исполнителя и выдачи исходных данных (изготовленные модели волноломов)
4	Цель работы	Оценка волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооружений
5	Состав работы	5.1 Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований. 5.2 Сборка и установка модели сооружения в волновом лотке в принятом масштабе моделирования. 5.3 Проведение испытаний модели сооружения на воздействие расчетных параметров ветровых волн. 5.4 Обработка результатов испытаний модели гидротехнического сооружения, обработка фотоматериалов процесса испытаний. 5.5 Составление отчета.
6	Задачи исследований	6.1 Определение волногасящей способности сооружений. 6.2 Определение устойчивости сооружений.
7	Исходные данные, представляемые Заказчиком	7.1 Модель подводного волнолома в масштабе 1:10. 7.2 Модель плавучего волнолома в масштабе 1:10. 7.3 Конструктивные элементы сооружений изготавливаются Заказчиком, в соответствии с выбранным масштабом моделирования и предоставляются Исполнителю для сборки модели в волновом лотке.
8	Требования к результатам работ	Научно-технический отчет передаётся Заказчику в 3-х экземплярах на бумажном носителе в сброшюрованном виде и 1 экземпляр на электронном носителе. Документы на электронном носителе передаются в формате PDF

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ООО «ТД «Базальтовые трубы»»

Суханова О.В.

2019 г.
М.П.



ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

к Договору №МБ-19-02-01 от 07 февраля 2019 г.

**«Оценка волногасящей способности разрабатываемых
гидротехнических сооружений методом гидравлического моделирования
в волновом лотке»**

1. Объект испытаний

Объектом исследований в настоящей работе являются волногасящие сооружения (разрабатываемые) трех типов:

1. Сооружение представляет собой объемную конструкцию, состоящую из труб базы-обрешетки и труб гребенки, при этом первая часть труб базы-обрешетки размещена параллельно друг другу и выполнена с рядом сквозных отверстий, а вторая часть труб базы-обрешетки размещена перекрестно и проходит через сквозные отверстия первой части, трубы гребенки размещены вертикально в отверстиях, выполненных вдоль оси в теле первой части труб базы-обрешетки, трубы гребенки без заполнителя, а трубы базы-обрешетки заполнены бетоном (рисунок 1).

2. Плавучий волнолом состоит также из труб базы-обрешетки размещенных параллельно друг другу и труб гребенки направленных вниз

(ко дну). Трубы базы обрешетки заполнены материалом, обеспечивающим плавучесть конструкции (рисунок 2).

3. Сооружение представляет собой совмещенную конструкцию подводного и плавучего волноломов.

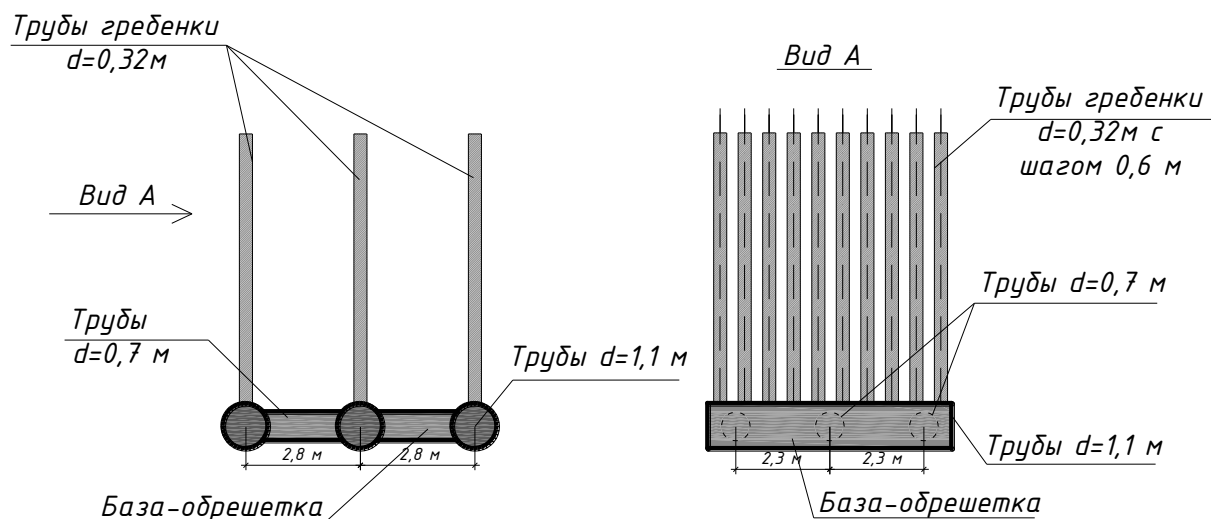


Рисунок 1 – Схема разрабатываемого волногасящего сооружения (волнолом-гребенка)

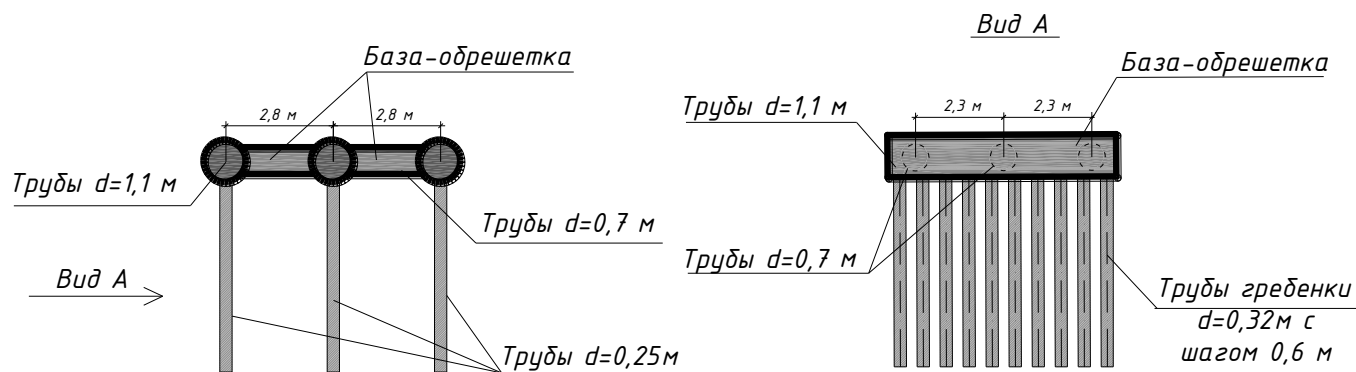


Рисунок 2 - Схема разрабатываемого плавучего волногасящего сооружения

2. Цель испытаний

Целью выполнения гидравлического моделирования является определение волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооружений.

3. Состав предъявляемой документации

Отчет о научно-исследовательской работе, выполненный по результатам экспериментальных исследований.

4. Применяемое оборудование, средства испытаний, измерений

- 4.1. Волновой лоток, в котором будут проводиться эксперименты: длина 20 м; ширина 0,6 м; высота стенок 1 м. Волны генерируются щитовым волнопродуктором, установленным в прямке у одной из торцевых стенок (рисунок 3).
- 4.2. АЦП типа E-140 фирмы L-card, имеющий до 32-х аналоговых каналов сбора данных.
- 4.3. Емкостные волнографы ДУЕ-1 для измерения параметров волн (рисунок 4).
- 4.4. Измерительная система, состоящая из персональной ЭВМ, соединенной с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) по каналу USB, платы фильтров, пассивной кабельной системы, измерительных датчиков, преобразователей, приспособлений к ним и вспомогательного оборудования (рисунок 5).
- 4.5. Секундомер.
- 4.6. Рулетка измерительная.
- 4.7. Линейка измерительная.
- 4.8. Фотоаппарат.
- 4.9. Видеокамера.



Рисунок 3– Волновой лоток для проведения экспериментов

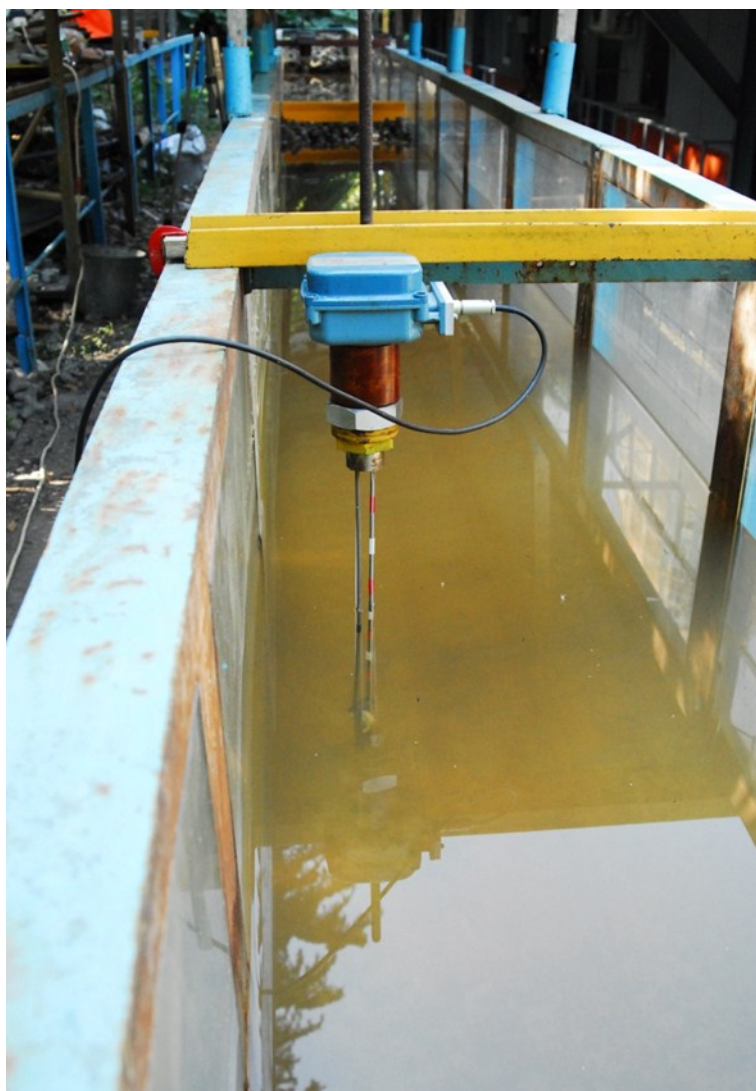


Рисунок 4 - Волнограф типа ДУЕ-1 в волновом лотке

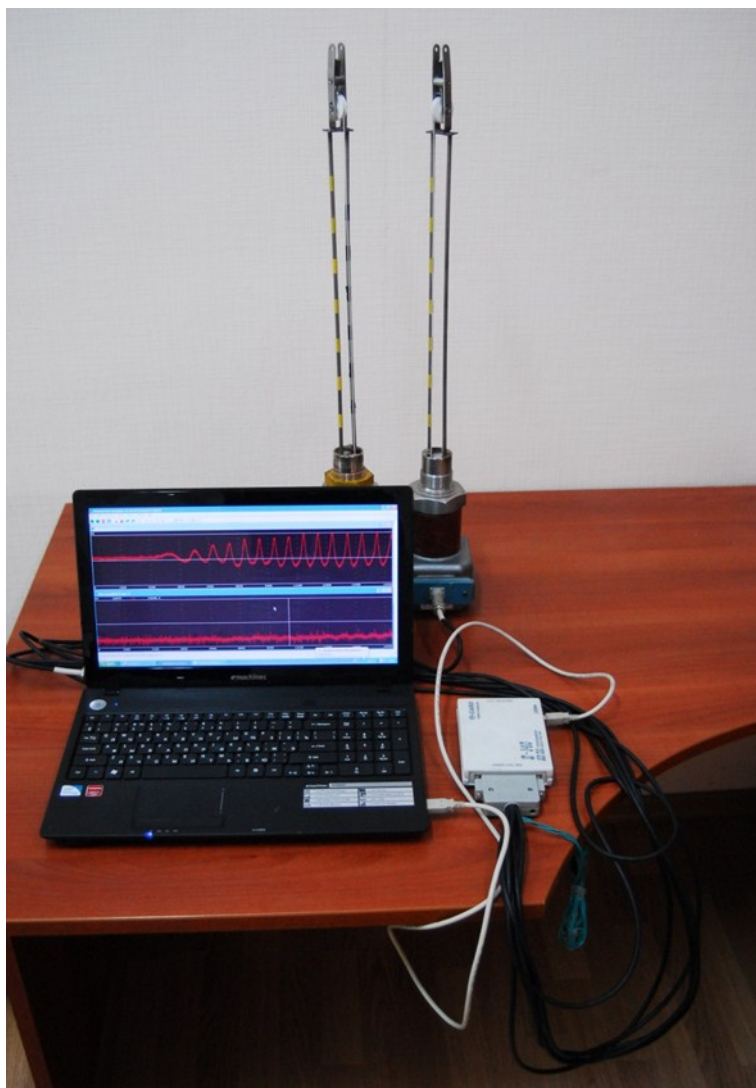


Рисунок 5 – Система для измерения параметров волнения в сборе

5. Порядок проведения исследований

5.1 *Разработка методики моделирования*

Разработка методики моделирования включает в себя:

- определение приоритетных критериев моделирования, при которых будет обеспечено подобие исследуемых процессов на гидравлической модели натурным процессам;
- уточнение масштабов моделирования в лотке;
- проверка возможности обеспечения геометрического подобия, подобия волнового режима и др. определяющих критериев при принятом масштабе моделирования;

- уточнение измеряемых и оцениваемых параметров и процессов при исследованиях;
- уточнение и корректировка (при необходимости) методов измерений;
- подбор приборов и аппаратуры для проведения необходимых измерений;
- планирование экспериментов (количество, состав, сроки и т.д.).

5.2 Разработка проекта модели

Разработка проекта модели в волновом лотке проводится в соответствии с выбранным масштабом моделирования М 1:10.

5.3 Строительство модели

Конструкции исследуемых сооружений в выбранном масштабе изготовлены представителем Заказчика и в экспериментальных мастерских Центра.

Порядок производства работ:

- расчистка и подготовка дна лотка;
- строительство подводного рельефа дна;
- изготовление конструкций и элементов модели;
- строительство модели гидротехнических сооружений;
- устройство гасителей в торцевой части лотка с целью исключения отражения волн.

5.4 Проведение экспериментов

Для оценки волногасящей способности разрабатываемых гидротехнических сооружений выбраны следующие параметры волн в натурных условиях:

- высота волн $h=2,0$ м;
- средний период $T = 6,64$ с.

В соответствии с принятыми масштабными зависимостями, параметры волн на модели будут следующими:

- высота волн = 20,0 см

- период волн $T_m = 2,1$ с.

Глубина воды в месте расположения сооружения – $d = 65$ см (6,5 м).

Для чистоты экспериментов исходный волновой режим в лотке подготавливается без сооружений.

6. Методы испытаний

Испытания будут выполняться в волновом лотке методом физического моделирования. По результатам исследований необходимо определить волногасящую способность разрабатываемых гидротехнических сооружений.

Применение метода физического моделирования при изучении воздействия опасных природных процессов на сооружения, размещаемых в особо сложных природных условиях, позволяющего уточнить интенсивность и степень воздействия волн и течений, предписывается действующими нормативными документами РФ.

Гидравлические исследования процессов воздействия волн в соответствии с теорией подобия будут проводиться на физических моделях, устанавливаемых в волновом лотке НИЦ «Морские берега». При гидравлическом моделировании обеспечивается геометрическое подобие модели натурному объекту, а также подобие волнового режима.

Измерение высот волн на модели выполняются волнографами. Волнографы располагают таким образом, чтобы высота исходных волн измерялась не менее, чем в двух точках, а также чтобы производить измерение высоты волн у сооружений.

При производстве записи волнения включают волнографы таким образом, чтобы зафиксировать начало работы волнопродукторов и движение первых волн.

Оптимальное число повторений опыта необходимо устанавливать в лаборатории при многократном (не менее 10) повторении записи в одних и тех же условиях и вычислении ошибок моделирования для 10, 9, 8 и т.д. повторений (запусков).

Запись волнения в лотке необходимо сопровождать фото- и видеосъемкой. Длину волн фиксируют съемкой вблизи исходных волнографов, как правило, на фоне сетки на стене лотка или на фоне горизонтальной рейки, расположенной выше уровня воды.

Тарировка датчиков высот волн допускается производить путем ступенчатого погружения электродов на определенную глубину, или на специальном приборе, погружающем датчик на заданную глубину с частотой, отвечающей периоду моделируемых волн. Тарировочные зависимости должны быть прямолинейными. Частота тарировок зависит от устойчивости характеристик во времени. Рекомендуется проводить тарировки ежедневно.

7. Время и место проведения испытаний

Место проведения работ - Экспериментальная база филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи. Период проведения работ с 08.02.2019 г. по 08.04.2019 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), М., 2012.
2. РИ 31 «Оснащение, эксплуатация и списание контрольно-измерительного и испытательного оборудования», М., ОАО ЦНИИС, 2007.
3. Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости. Пер. с англ. М., «Энергия», 1971.
4. Кононкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. М., Изд-во МГУ, 1985.
5. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. Пер. с англ. М., «Мир», 1981.

Ответственный исполнитель,
заведующий лабораторией
полевых исследований, к.т.н.

Е.С. Волкова

Старший научный
сотрудник, к.т.н.

А.Ю. Ивасюк

Ведущий инженер

Ю.П. Грабчилов