

UDC 532.5

Wave Reflection in SUBMARINE Canyons *¹ Katline Koblev A. Julio² Konstantin N. Makarov¹ Sochi State University, Russian Federation

26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000

PhD student

E-mail: anzor-the-black@yandex.ru

² Sochi State University, Russian Federation

26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000

Dr. (Hydraulic engineering), Professor

E-mail: ktk99@mail.ru

Abstract. Wave transformation in the areas of submarine canyons through their reflections on slopes is considered. As shown by field observations, including the destruction of the protective breakwater sections of the port of Imeretinskiy, and laboratory tests, the height of the waves on the windward edge of the parapet of submarine canyons in oblique approach of waves can be increased by 30–50 % compared with the waves outside the canyons. A mathematical model describing these effects and can simulate the excitement of the field in the areas of submarine canyons.

Keywords: Submarine canyon; canyon brow; shallow zone; wave height; wave approach angle; oblique reflection; the reflection coefficient.

Введение. По классификации, предложенной одним из основоположников исследований подводных каньонов Ф.Шепардом [7], под подводными каньонами понимаются извилистые долины V-образного профиля с многочисленными притоками, пересекающими материковый склон.

Проблемы распространения волн в зонах подводных каньонов привлекли к себе пристальное внимание исследователей после строительства берегозащитных сооружений в этих зонах. На ряде участков побережий (Имеретинская низменность в Адлерском районе г. Сочи, Бзыбь-Пицундская литодинамическая система в Абхазии, Рионская литодинамическая система в Грузии и другие), где берегозащитные сооружения располагались против вершин каньонов, произошло их повреждение или разрушение. При этом сооружения на соседних участках оказались вполне устойчивы [1, 6].

Попытка обоснования увеличения высот волн в зонах подводных каньонов была предпринята в работе [4]. В ней исследовалась концентрация энергии волн в зоне их обрушения.

Однако известно, что увеличение высот волн на берегах с подводными каньонами наблюдается также в мелководной зоне при косом подходе волн к осям каньонов.

В данной работе дается математическое обоснование увеличения высот волн в прибрежной мелководной зоне при косом подходе волн к осям подводных каньонов за счет их отражения.

Материалы и методы.

Во время строительства нового морского порта Имеретинского, возведенного на побережье Имеретинской низменности в Адлерском районе г. Сочи, изобилующей подводными каньонами, в декабре 2009 г. штормом были повреждены две секции строящегося оградительного сооружения. При этом разрушенные секции располагались не на осях подводных каньонов, а между ними – рис. 1.

* Работа выполнена в рамках госбюджетной НИР № 7.3694.2011 Сочинского государственного университета.

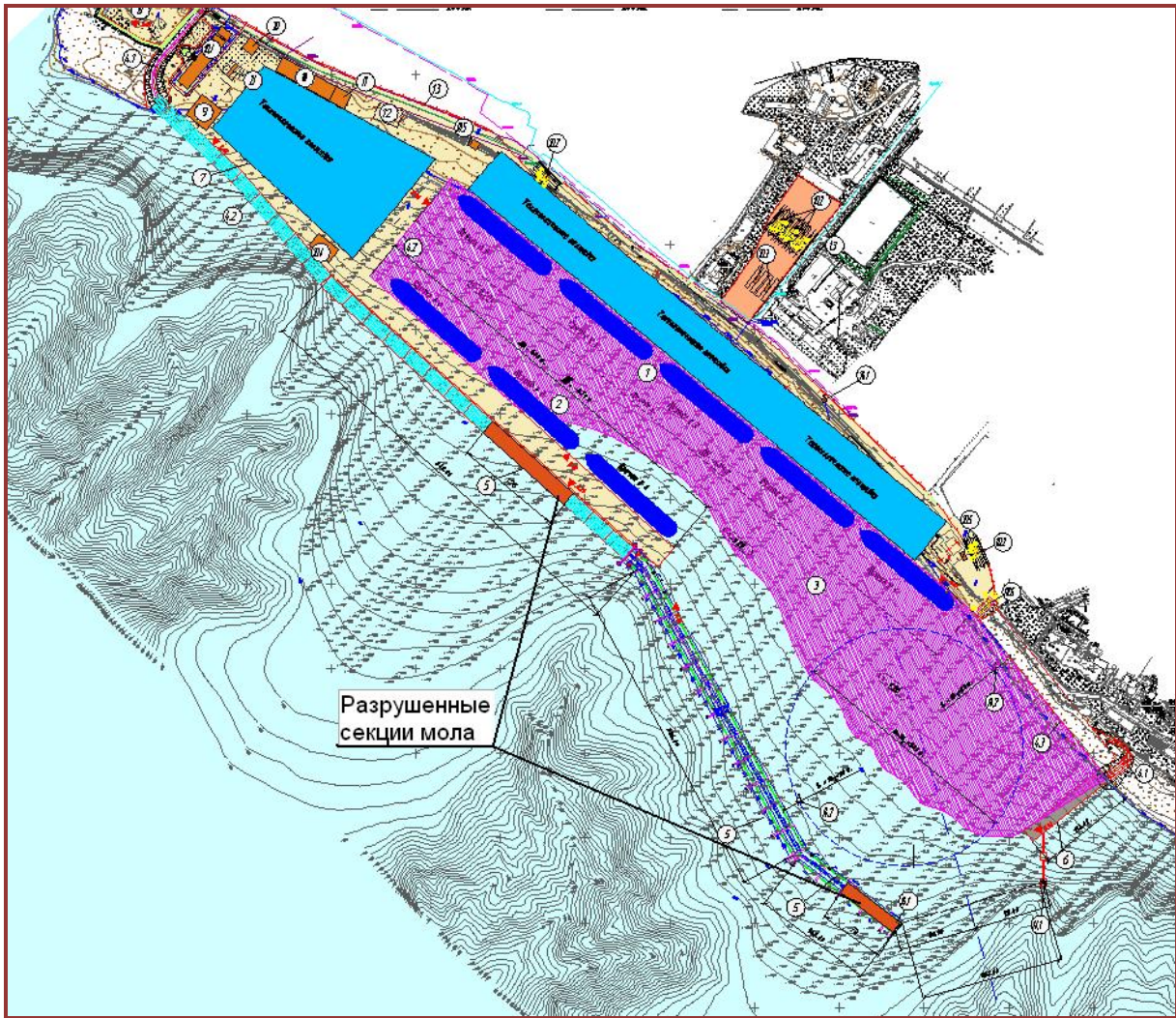


Рис. 1. План порта Имеретинского с разрушенными секциями оградительного мола

После аварии в порту Имеретинском было выполнено гидравлическое моделирование волнения на акватории, прилегающей к порту, на пространственной модели в волновом бассейне Научно-исследовательского центра (НИЦ) «Морские берега» (г. Сочи).

В процессе моделирования в шторме от ЮЗ направления в точках, соответствующих зонам разрушений мола наблюдалось существенное (до 1.5 раза) увеличение высот волн по сравнению с соседними участками. Таким образом, модельные исследования в полной мере воспроизвели картину реального шторма.

Математическое обоснование увеличения высот волн на наветренных участках акваторий, прилегающих к подводным каньонам, заключается в следующем.

В случае косо́го подхода волн к оси каньона, имеет место двойное неполное косое отражение волн – от передней и задней по отношению к подходящей волне бровок каньона [3]. Это приводит к образованию картины косо́й интерференции волн с наветренной стороны каньона – рис. 2.

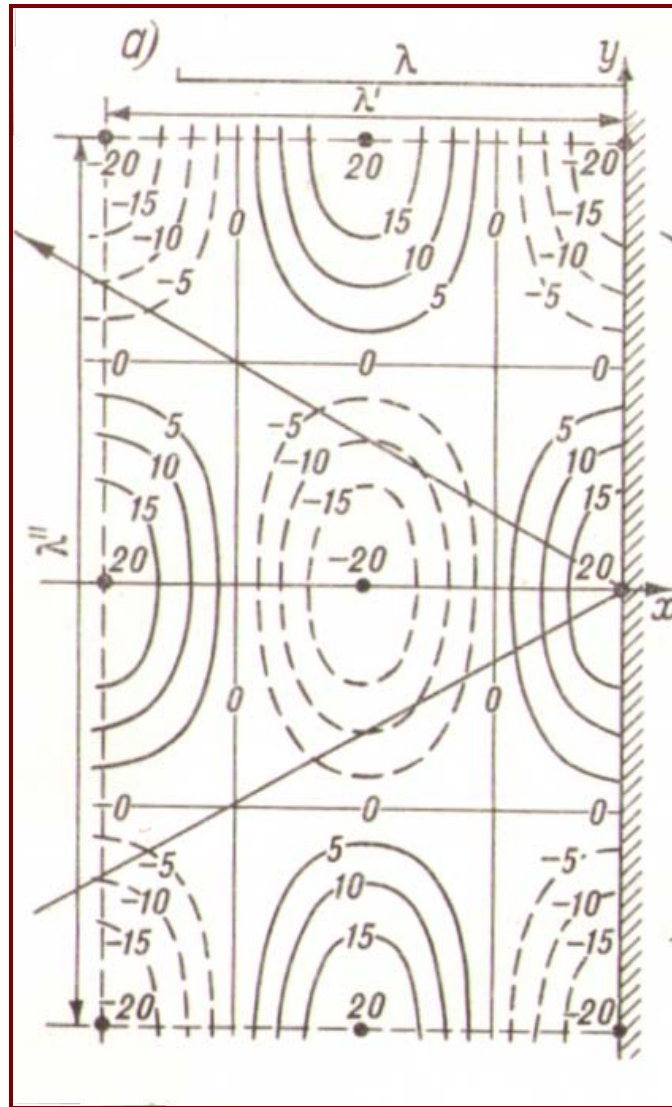


Рис. 2. Свободная поверхность при косом отражении волн от преграды, лежащей «справа» от подхода волны

Возвышение свободной поверхности η , являющееся результатом интерференции падающей и отраженной волн, выразится в виде:

$$\eta = \eta_n + \eta_{от} = (h + \kappa_{от} h) \cos k'x \cos (\sigma t - k'y), \quad (1)$$

где $\kappa_{от}$ – коэффициент отражения волны от наветренной бровки каньона,

$k' = k \cos \alpha$, $k'' = k \sin \alpha$, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина, h – высота исходной волны, $\sigma = 2\pi/T$, T – период волны.

Суммарное колебание свободной поверхности можно представить себе как прогрессивную волну длиной $\lambda'' = 2\pi/k''$, движущуюся вдоль оси y , с амплитудой, косинусоидально изменяющейся вдоль оси x .

Максимальные значения амплитуда имеет при

$x = -n\pi/k'$ (где $n=0, 1, 2, \dots$), в то время как при $x = -(2n+1)\pi/2k'$ уровень будет неизменно оставаться в среднем положении. Водная поверхность покрыта поднятиями и впадинами в шахматном порядке, и вся эта система перемещается вдоль преграды со скоростью $c'' = c_0 \operatorname{cosec} \alpha = c_0 \operatorname{cosec}(\delta/2)$, где $c_0 = (gh)^{0.5}$ – скорость каждой из первоначальных – падающей и отраженной волн.

Таким образом, для моделирования волновых полей в зонах подводных каньонов, необходимо рассчитать коэффициенты отражения и прохождения волн через наветренную и подветренную бровки каньона.

Гашение и отражение волн подводным каньоном (рис. 3) происходят аналогично гашению и отражению наброской или волноломом за счет изменения свойств волнопроводящей среды, в данном случае – глубины.

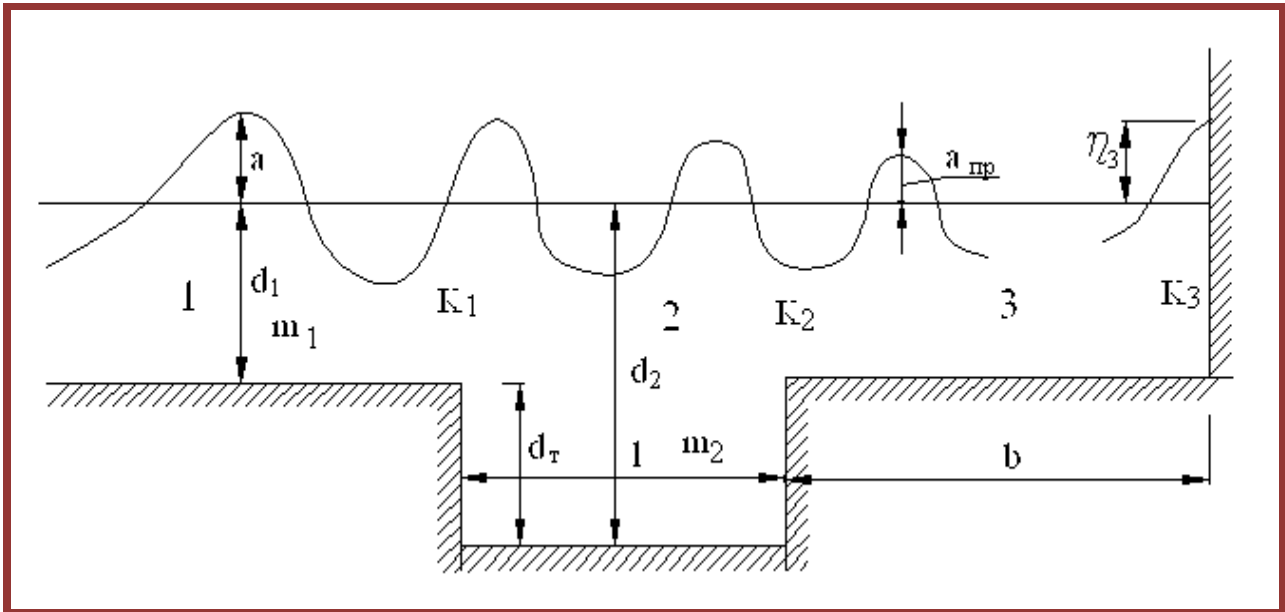


Рис. 3. Схема к расчету взаимодействия волн с подводным каньоном

На рис. 3 a – амплитуда исходной волны; $a_{пр}$ – амплитуда прошедшей волны; d_1 – глубина на подходе волн к каньону; d_2 – глубина в зоне каньона; d_τ – глубина каньона от дна; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты отражения волн от морской и береговой бровок каньона и от береговой границы; l – ширина каньона; b – расстояние от подветренной бровки каньона до ближайшего мыса; m_1, m_2 – волновые числа на подходах к каньону и в зоне каньона

В линейном приближении, уравнения движения жидкости в зонах 1, 2, 3 имеют вид [2]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + d \frac{\partial U}{\partial x} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где U – осреднённая по глубине горизонтальная скорость жидкости; t – время; x – расстояние по горизонтали; η – возвышение свободной поверхности; d – глубина; g – гравитационное ускорение.

Волновые числа в зоне вне каньона:

$$m_1 = 2\pi/\lambda_1, \quad (4)$$

в зоне каньона

$$m_2 = 2\pi/\lambda_2, \quad (5)$$

где длины волн вне зоны каньона и в зоне каньона определяются из выражений [2]:

$$\lambda_1 = T \times ((g \times \lambda_1 / 2\pi) \times th(2\pi \times d_1 / \lambda_1))^{0,5}, \quad (6)$$

$$\lambda_2 = T \times ((g \times \lambda_2 / 2\pi) \times th(2\pi \times d_2 / \lambda_2))^{0,5} \quad (7)$$

методом итераций. При этом в качестве первого приближения принимается длина волны на глубокой воде $\lambda_d = 1.56T^2$, T – период волны.

Начальные условия: $\eta(x) = 0, U(x) = 0$ при $t = 0$.

Граничные условия:

$$\eta(-\lambda) = a \cos(m_1(-\lambda) - \omega t), \quad (8)$$

$$U(-\lambda) = a(g/d)^{0.5}(\cos(m_1(-\lambda) - \omega t)).$$

Решение уравнений (2), (3) в зоне перед каньоном представляет собой линейную суперпозицию прямой волны с амплитудой a и отражённой волны с амплитудой aK_1 :

$$\eta_1 = \eta_{\text{пр1}} + \eta_{\text{от1}} = a[\cos(m_1x - \omega t) + K_1\cos(m_1x + \omega t)]; \quad (9)$$

$$U_1 = U_{\text{пр1}} - U_{\text{от1}} = a(g/d)^{0.5}[\cos(m_1x - \omega t) - K_1\cos(m_1x + \omega t)]. \quad (10)$$

В зоне за каньоном:

$$\eta_2 = K_{\text{пр}} a[\cos(m_2(x-l) - \omega t) + K_3\cos(m_2(x-l+b) + \omega t)]. \quad (11)$$

Результаты.

Из изложенного следует, что определяющими параметрами подводных каньонов при их взаимодействии с волнами являются коэффициенты отражения K_1 , K_2 , коэффициент прохождения $K_{\text{пр}}$, расстояние от подветренной бровки каньона до ближайшего мыса b , ширина каньона l и его глубина d_k . Коэффициент отражения от береговой границы K_3 должен быть всегда задан. Для непроницаемой береговой стены $K_3 = 1$, для открытой акватории или свободного пологого откоса $K_3 = 0$. Следовательно, для каньона $K_3 = 0$.

Определение коэффициентов K_1 , K_2 может быть выполнено теоретическим путем с учетом некоторых допущений. В частности, можно показать, что при $K_3 = 0$, выражения для коэффициентов отражения имеют вид:

$$K_2 = \frac{1 - \cos(m_2l)}{1 + \cos(2m_2l)}, \quad (12)$$

$$K_1 = \frac{K_2 \cos(m_2l)}{2 - K_2 \cos(m_2l)}. \quad (13)$$

Изложенная методика реализована в специальной компьютерной программе, которая была использована для моделирования волновых полей в расчетных штормах для участка расположения порта Имеретинского.

Примечания:

1. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения // Под ред. И.П. Балабанова. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2011. 330 с.

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

3. Некрасов А.В. Приливные волны в окраинных морях. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 367 с.

4. Радионов А.Е. Взаимодействие волн большой амплитуды с гидротехническими сооружениями в зонах влияния подводных каньонов.- Дисс. канд. техн. наук, С. Петербург, ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 2005.

5. Katline Koblev A. Julio, K.N.Makarov. Wave Run Up in Zones of Underwater Canyons // European Researcher, 2013. № 5-1 (48), pp.1185-1188.

6. Сафьянов Г.А., Меншиков В.А., Пешков В.М. Подводные каньоны – их динамика и взаимодействие с береговой зоной океана. – Краснодар, 2007, 378 с.

7. Шеппард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. - Л.: Гидрометеиздат, 1972.

УДК 532.5

Отражение волн в зонах подводных каньонов

¹ Катлине Коблев Анзор Хулио

² Константин Николаевич Макаров

¹ Сочинский государственный университет, Россия
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
аспирант

E-mail: anzor-the-black@yandex.ru

² Сочинский государственный университет, Россия
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ktk99@mail.ru

Аннотация. Рассматривается трансформация волн в зонах подводных каньонов за счет их отражения от бровок. Как показали натурные наблюдения, включая разрушение секций оградительного мола порта Имеретинского, и лабораторные исследования, высоты волн на наветренных бровках подводных каньонов при косом подходе волн могут увеличиваться на 30–50 % по сравнению с волнами вне каньонов. Предлагается математическая модель, описывающая указанные эффекты и позволяющая моделировать поля волнения в зонах подводных каньонов.

Ключевые слова: Подводный каньон; бровка каньона; мелководная зона; высота волны; угол подхода волн; косое отражение; коэффициент отражения.