

УДК 627.51

Р.В. Синица, В.С. Осадчий

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАШЕНИЯ ВОЛН
ОГРАДИТЕЛЬНЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ
НЕПОЛНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

В статье рассмотрены существующие методики определения параметров трансформации волн оградительными гидротехническими сооружениями (ОГТС) неполного вертикального профиля. На сегодняшний день в отечественных нормативных документах отсутствуют практические рекомендации, позволяющие в инженерной практике устанавливать значения высот волн прошедших через тело оградительного сооружения на защищаемую акваторию.

Проектирование и строительство новых конструкций ОГТС позволит повысить экономическую привлекательность создания новых морских портов, а также реконструкции существующих.

Ключевые слова: параметры волн, трансформация волн, оградительное гидротехническое сооружение неполного профиля.

У статті розглянуті існуючі методики визначення параметрів трансформації хвиль захисними гідротехнічними спорудженнями (ОГТС) неповного вертикального профілю. На сьогодні у вітчизняних нормативних документах відсутні практичні рекомендації, що дозволяють в інженерній практиці встановлювати значення висот хвиль що пройшли через тіло захисної споруди на акваторію, що захищалася.

Проектування і будівництво нових конструкцій ОГТС дозволить підвищити економічну привабливість створення нових морських портів, а також реконструкції існуючих.

Ключові слова: параметри хвиль, трансформація хвиль, захисне гідротехнічне спорудження неповного профілю.

The article considers the existing methods for determining the parameters of wave transformation by protective hydraulic structures (PHS) Incomplete vertical profile. To date, the domestic regulatory documents are lacking practical recommendations that allow in engineering practice to establish the values of the heights of waves passing through the body of the enclosure to the protected water area.

The design and construction of new PHS structures will increase the economic attractiveness of creating new seaports, as well as the reconstruction of existing.

Keywords: parameters of waves, transformation of waves, protective hydraulic engineering structure of incomplete profile.

© Синица Р.В., Осадчий В.С., 2017

В практике строительства ограждающих гидротехнических сооружений (ОГТС) иногда применяются сооружения неполного вертикального профиля (см. рис. 1), через верхнее строение которых допускается перелив воды, с дальнейшей трансформацией волн (изменением их основных параметров). Такие сооружения в зависимости от условий их применения подвержены воздействию как стоячих, так и разбивающихся волн. В нормативных документах [1; 2; 3; 4; 5 и 6] отсутствуют практические рекомендации, позволяющие определять значения коэффициентов трансформации волн, сооружениями данного типа.

Основной задачей ОГТС является, обеспечение допустимых значений гидрометеорологических элементов, во время обслуживания судов, регламентированных рекомендациями [8]. Ветро-волновые условия на защищаемой акватории, определяются возможностью осуществлять швартовные операции, а также возможность обеспечения в момент контакта судна с отбойными устройствами нормальных составляющих скорости подхода. Величина которых устанавливается нормативами [1; 2; 3 и 4].

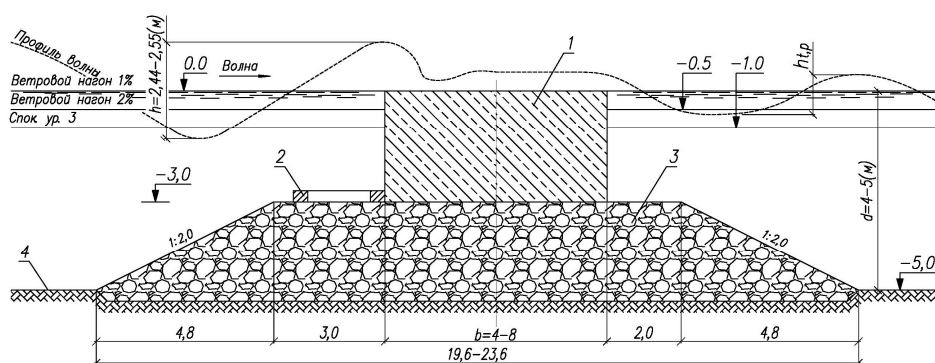


Рис. 1. Поперечный разрез конструкции волнолома
неполного вертикального профиля (ориг):
1 – бетонный массив; 2 – берменный массив (щелевая плита);
3 – каменная постель

Высоту волны, обеспеченностью 5 % в системе штормов, установленную для выполнения швартовных операций, рекомендуется принимать $\leq 1,2$ м, а для обеспечения стоянки судов, значение высот волн следует определять в соответствии с [8], в зависимости от направления действия волнения и водоизмещения судна.

Допустимые параметры волн, ожидаемые на защищенной акватории, регламентируются также параметрами сохранения морских берегов и пляжного материала, а также недопущением затопления прибрежных территорий.

В качестве примера рассмотрен проект «Расчетного обоснования и проектирования конструкций гидротехнических сооружений для защиты от затопления морскими волнами территории завода по адресу: г. Одесса, ул. Черноморского Казачества, 72». В данном проекте рассматривалось создание ОГТС неполного вертикального профиля расположенного на расстоянии 200 м от береговой линии. Предусматривалось расположить конструкцию оградительного сооружения при глубинах $d = 4,0(м)$, на которых при ветровом нагоне, глубина воды у ОГТС, может достигать величины $d = 5,0(м)$. Построив лучи рефракции, были установлены значения основных волновых параметров 1 %-й обеспеченности в соответствии с [1; 2; 3 и 4], в месте расположения проектируемого сооружения. Высота волны при глубине $d = 4,0(м)$ составит $h = 2,4(м)$ с длиной равной $\lambda = 24,5(м)$. При волновом нагоне высота волны будет составлять $h = 2,55(м)$, а длина волны $\lambda = 30,0(м)$. В соответствии с проведенными расчетами была установлена, величина максимальной высоты волны 1 %-й обеспеченности на защищаемой акватории, которая не должна превышать величины $h = 1,5(м)$, во избежание процессов затопления защищаемой территории завода.

В отечественной литературе [6], а также нормативных документах стран СНГ [7] наиболее приближенной методикой трансформации волн ОГТС неполного профиля, является определение коэффициента трансформации волн сооружениями, возводимыми из однородной наброски крупного камня, бетонных массивов или фасонных блоков (см. рис. 2).

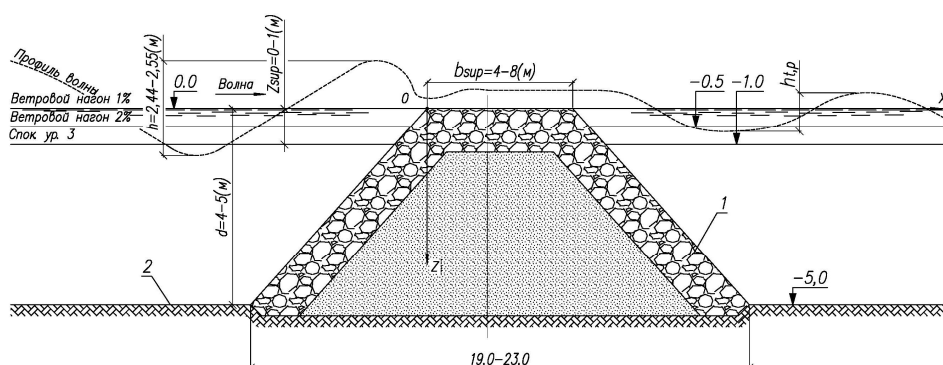


Рис. 2. Расчетная схема конструкции оградительного сооружения неполного профиля:

- 1 – набросное сооружение неполного профиля с ядром из несортированного камня;
- 2 – естественное морское дно

Значение величины трансформированных волн, прошедшей через тело оградительного сооружения неполного профиля (см. рис. 2), следует определять в соответствии с формулой (1) [6; 7]

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

где $K_{t,p}$ – коэффициент проницаемости.

В соответствии с проведенными расчетами по формуле (1) были рассмотрены три расчетных случая: при 1 % волновом нагоне и расположении отметки гребня ОГТС на уровне воды, в качестве второго случая принят 2 % волновой нагон и возвышение гребня сооружения на 0,5 м относительно спокойного уровня моря. В качестве третьего расчетного случая принят спокойный уровень моря при сгоне и возвышении гребня на 1,0 м относительно спокойного уровня.

Результаты проведенных расчетов по определению параметров волн прошедших через тело ОГТС на защищаемую акваторию с дальнейшей трансформацией по формуле (1) представлены в таблице 1.

Некоторые результаты решения вопросов трансформации волн вертикальной преградой были опубликованы Г.С. Башкирова [8]. Среди вопросов, относящихся к расчету гашения волн сквозными волноломами типа понтонов, решеток и экранов (см. рис. 3), приводится формула, предназначенная для расчета коэффициентов гашения волн «подводными порогами». Представленная формула имеет вид (2)

$$K_p = \frac{h}{h_0} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - (H - P_b)}{\lambda} + 4\pi \frac{H - P_b}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}} = \sqrt{\frac{sh4\pi \frac{H}{\lambda} - sh4\pi \frac{H - a}{\lambda} + 4\pi \frac{a}{\lambda}}{sh4\pi \frac{H}{\lambda} + 4\pi \frac{H}{\lambda}}}, \quad (2)$$

где h_0 – высота исходной волны, м;

h – высота остаточной волны между волноломом и берегом, м;

λ – длина исходной волны, м;

H – глубина воды в месте установки волнолома, м;

P_b – высота волнолома (от дна до гребня);

$H - P_b = a$ – заглубление гребня волнолома от спокойного уровня моря, м.

Анализируя формулу (2), автором было указано на то, что «донные пороги, более эффективны при малых значениях H/λ , и при весьма малых значениях a/H » [9].

Предлагаемая Г.С. Башкировым формула для определения величины гашения волнения подводным волноломом неполного вертикального профиля, позволяет учитывать лишь одну характеристику самого сооружения – величину затопления его гребня, но не учитывает формы передней и задней граней, а также ширины самого сооружения.

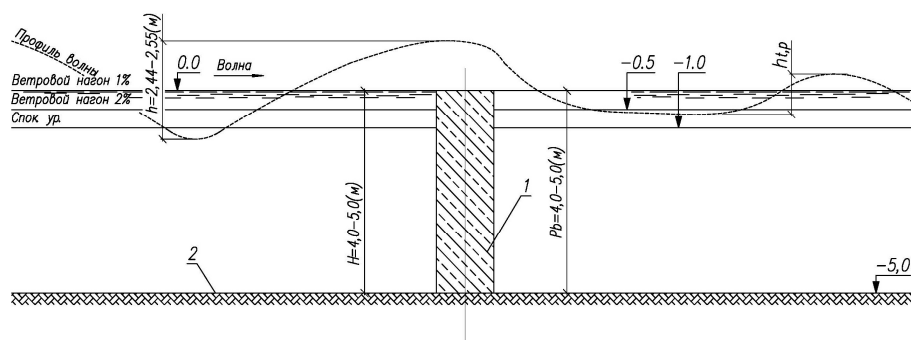


Рис. 3. Расчетная схема конструкции оградительного сооружения неполного профиля:

1 – вертикальная преграда; 2 – естественное морское дно

Также в 1959 г. вышла в свет статья В.В. Хаперского [10], в которой среди вопросов, относящихся к расчету гашения волны ОГТС неполного вертикального профиля, приводится формула для определения коэффициентов гашения волн сооружениями данного типа (3)

$$k_{ВГ} = \sqrt{\frac{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} - sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \left(1 - \frac{\Delta H}{h}\right) + 4\pi \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{\Delta H}{h}}{sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda} + sh \cdot 4\pi \frac{h}{\lambda}}}, \quad (3)$$

где ΔH – положение верха сооружения по отношению к горизонту покоя, м.

Иные символы, представленные в формуле (3), описаны ранее.

Основным недостатком предложенной методики расчета является то, что при расположении верха сооружения на спокойном уровне воды, при различных параметрах волн в соответствии с формулой (3) получаются одинаковые коэффициенты гашения, что, по словам самого автора, не отражает действительность [10].

В диссертационной работе И.А. Лызлова [11] была предложена формула (4), предназначенная для определения коэффициентов гашения параметров волн подводным волноломом

$$\psi = \left(1 - \frac{h}{h_0}\right) \cdot 100\% = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot 10^c}{(H-a)^{3/2} \cdot \lambda^c} + \frac{10 \frac{\alpha}{\pi} + 10 \frac{\beta}{\pi}}{(H-a)^{1/2} \cdot 2^c} \cdot \sqrt{l} \cdot \sin \phi}, \quad (4)$$

где ψ – величина гашения высоты волны подводными волноломами, %;
 h_0 – высота исходной волны, м;
 S – площадь поперечного сечения волнолома, м²;
 a – абсолютная величина затопления гребня оградительного сооружения от спокойного уровня, м;
 H – глубина в месте установки оградительного сооружения, м;
 λ – длина волны, м;
 l – ширина гребня оградительного сооружения, м;
 α и β – углы в градусах между линией дна и передней, задней гранями волнолома, отсчитывается против хода часовой стрелки 90 градусов;
 φ – угол в градусах между лучом направления волн и трассой оградительного сооружения, рассмотрен самый неблагоприятный случай 90 градусов.

$$C = \frac{3 \cdot a}{2 \cdot h_0}. \quad (5)$$

Результаты по определению параметров гашения волн в соответствии с формулой И.А. Лызлова (4) представлены в таблице 1.

Экспериментальные данные лабораторных исследований при фронтальном подходе волн, были анализированы в дискуссии О.Ю. Бирской [12]. Для определения коэффициентов гашения волн, была рекомендована к применению формула (6)

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

где h – высота исходной волны, м;
 h_0 – высота остаточной волны между волноломом и берегом, м;
 λ – длина исходной волны, м;
 ΔH – возвышение верха сооружения относительно расчетного уровня воды, м;
 B – ширина гребня сооружения, м.

Расчеты по определению параметров гашения волн по формуле (6) вертикальным сооружением неполного профиля представлены в таблице 1.

Таблиця 1

*Результаты расчетов параметров волн
за конструкцией оградительного сооружения полного профиля*

Номер	Высота волны перед сооружением, м	Ширина верхнего строения ОГТС, м	Высота волны за сооружением, м			
			формула 1	формула 4	формула 6	формула 7
При 1 % нагоне воды и отметке гребня сооружения равной 0						
1	2,55 (А)	8,0	0,97	1,82	0,82	1,37
		7,5	1,02	1,89	0,86	1,40
		7,0	1,07	1,94	0,89	1,43
		6,5	1,10	1,99	0,93	1,47
		6,0	1,12	2,04	0,96	1,50
		5,5	1,15	2,09	0,99	1,54
		5,0	1,17	2,13	1,03	1,59
		4,5	1,20	2,18	1,06	1,64
		4,0	1,28	2,22	1,09	1,70
При 2 % нагоне воды и отметке гребня сооружения равной +0,5 м относительно спокойного уровня моря						
2	2,50 (В)	8,0	0,40	1,44	0,43	1,14
		7,5	0,45	1,52	0,47	1,17
		7,0	0,48	1,60	0,50	1,20
		6,5	0,50	1,68	0,53	1,23
		6,0	0,53	1,75	0,57	1,26
		5,5	0,55	1,83	0,60	1,30
		5,0	0,58	1,90	0,64	1,35
		4,5	0,60	1,97	0,68	1,40
		4,0	0,65	2,04	0,70	1,46
При сгоне и возвышении гребня сооружения на +1,0 м относительно спокойного уровня моря						
3	2,40 (С)	8,0	0,19	1,25	0,00	0,87
		7,5	0,22	1,34	0,00	0,90
		7,0	0,24	1,43	0,00	0,92
		6,5	0,26	1,51	0,04	0,95
		6,0	0,29	1,59	0,07	0,99
		5,5	0,34	1,67	0,11	1,03
		5,0	0,38	1,74	0,14	1,07
		4,5	0,43	1,82	0,18	1,12
		4,0	0,48	1,89	0,21	1,17

Проанализировав результаты экспериментальных исследований воздействия волн на оградительные гидротехнические сооружения, опубликованных различными зарубежными авторами (Seeling, 1980; Allsop, 1983; Daemrich and Kahle, 1985; Powel and Allsop, 1985; van der Meer,

1988; Daemen, 1991), была предложена d'Angremond и другими авторами формула (7) [13; 14], предназначенная для определения параметров трансформации волн, сооружением неполного вертикального профиля.

$$k_i = 0,4 \frac{h_s}{H_i} + \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0,31} \cdot a \cdot (1 - e^{-0,5\zeta}), \quad (7)$$

где h_s – возвышение верха сооружения относительно расчетного уровня воды, м;

H_i – высота исходной волны, м;

a – коэффициент, принимаемый равным $a = 0,64$ и $a = 0,80$ соответственно для проницаемых и непроницаемых поверхностей;

B – ширина гребня сооружения, м.

$$\zeta = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_i / L_0}}. \quad (8)$$

В соответствии с представленными формулами (1); (4); (6) и (7) были проведены расчеты, по определению параметров трансформированных волн, прошедших через тело ОГТС неполного вертикального профиля, результаты которых представлены в таблице 1.

В таблице представлены три расчетных случая, описанных ранее, отличающихся между собой высотами волн и расположением гребня по отношению к спокойному горизонту воды. На рис. 4, 5 и 6 представлены графики сравнения параметров трансформированных волн, оградительных сооружением неполного вертикального профиля, определенные при помощи различных методик.

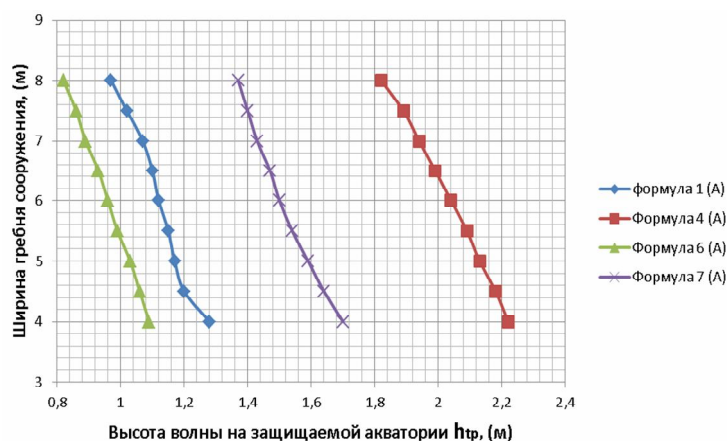


Рис. 4. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (А)

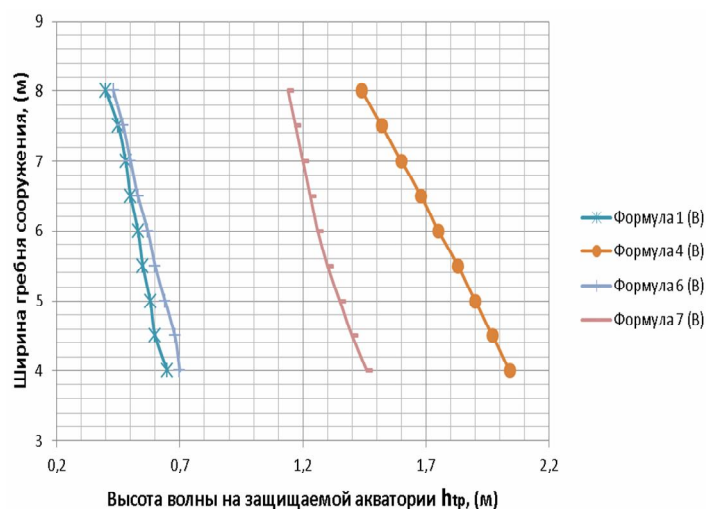


Рис. 5. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (B)

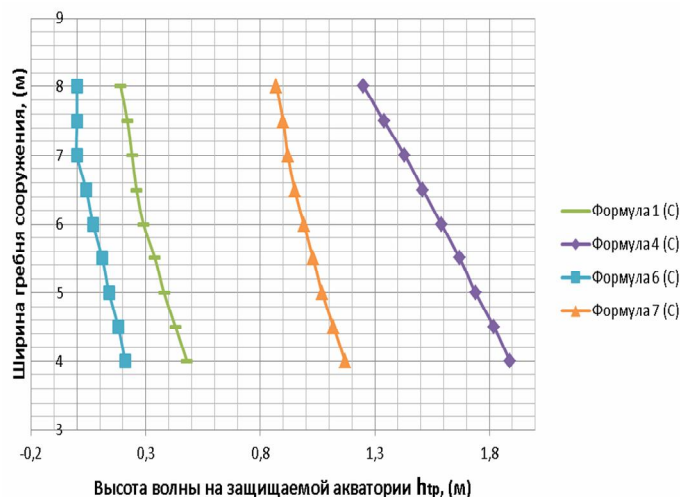


Рис. 6. График сравнения параметров трансформированных волн, определенных различными методиками при расчетном случае (C)

Выводы. Проанализировав результаты расчета как отечественных, так и зарубежных методик, определения величины коэффициентов гашения волн оградительными гидротехническими сооружениями неполного вертикального профиля, была установлена существенная разница в полученных результатах вычислений. В инженерных вопросах проектирования ОГТС является установление значений точных величин высот волн прошедших через тело оградительного сооружения на защищаемую акваторию. Снижение отметки верхнего строения ОГТС позволит

существенно уменьшит капиталовложения как в вопросах строительства новых, так и реконструкции существующих оградительных сооружений. Для более тщательного решения представленного в статье вопроса в гидродинамической лаборатории кафедры Энергетического и водохозяйственного строительства ОГАСА, была создана физическая модель, которая была подвержена масштабным описанным воздействиям. Результаты экспериментальных исследований, будут представлены в дальнейших статьях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Строительные нормы и правила СНиП 2.06.04- 82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): введен 1 января 1986 г. / Госстрой СССР – Москва: 1986. – 85 с. – (офиц. текст).*
2. *Свод правил СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): введен 01 января 2013 г. / Министерство регионального развития Российской Федерации. – М., 2012. – 116 с.*
3. *Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-170-2009. Гидротехнические сооружения, Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов): введен 30 декабря 2009 г. / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 77 с.*
4. *Строительные нормы и правила Республики Казахстан СНиП РК 3.04-40-2006. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (Волновые, ледовые и от судов): введен 01 июня 2007 г. / Министерство индустрии и торговли Республики Казахстан. – Астана, 2006. – 86 с.*
5. *Руководство П 58-76 ВНИИГ по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновые ледовые и от судов): введен 1977 г. / Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева (ВНИИГ). – Л., 1977. – 313 с.*
6. *Ведомственный свод правил ВСП 33-03-2007. Инструкция по проектированию откосных и сквозных оградительных сооружений и специальных подводных стендов: введен 03 марта 2007 г. / Научно-исследовательский Центр 26 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации. – М., 2008. – 95 с.*
7. *Лаппо Д.Д. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты / Д.Д. Лаппо, С.З. Стрекалов, В.К. Завьялов и др. – Л.: Изд-во Всесоюзного ордена трудового красного знамени научно-исследовательского ин-та гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1990. – 433 с.*

8. *Руководящий документ РД 31.33.10-87. Рекомендации по учету гидрометеорологического режима при проектировании недостаточно защищенных от волнения причалов: введен 01 января 1988 г. / Одесский филиал государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского ин-та морского транспорта (СоюзморНИИпроект) «ЧерноморНИИпроект» – М., 1987. – 56 с. – (офиц. текст).*
9. *Баширов Г.И. Расчет гашения волн в сквозных волноломах типа экранов и решеток / Г.И. Баширов // Морской флот. – М., 1959. – Вып. № 6. – С. 19-21.*
10. *Ханперский В.В. Исследование воздействия волн на ограждающие сооружения неполного вертикального профиля // Труды высшего инженерно-технического краснознаменного училища ВМФ. – Л., 1959. – Вып 56.*
11. *Лызлов И.А. Исследование эффективной работы подводных волноломов различных типов / И.А. Лызлов. Диссертация. – Одесса: ОИИМФ, 1963.*
12. *Бирская О.Ю. Исследование воздействия разбивающихся волн на сооружения неполного вертикального профиля // Гидротехническое строительство. – М., 1982. – Вып. № 6. – С. 45-47.*
13. *D'Angremond, K. «Wave Transmissin at Lowcrested Structures». / K. D'Angremond, J. Van der Meer and R. de Jong, (1996). Proceedings of 25th International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Kobe, Japan.*
14. *Koohestani A. CRM-Change Management: The Role Of Training In Successful CRM Implementation / A. Koohestani. – 2006. Masters thesis, Multimedia University.*

Стаття надійшла до редакції 12.05.2017

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **М.П. Дубровський**

кандидат технічних наук, доцент кафедри Енергетичного та водногосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.П. Слободянюк**