

SECTION 8. Architecture and construction.**Sagat Zhunisbekov**

doctor of technical Sciences, Professor,
academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, rector
Taraz technical Institute, Kazakhstan
tar-ti@mail.ru

Seytkhan Meldebekovich Koybakov

doctor of technical Sciences, Professor,
academician of International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety,
Pro-rector on scientific work and international relations
Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Kazakhstan
seithan@tarazinfo.kz

Alexandr Nikolayevich Shevtsov

candidate of technical sciences,
corresponding member of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences,
president of International Academy of T&AS (USA, Sweden, Kazakhstan),
department of «Mathematics», deputy director on Science of faculty of information technologies,
automation and telecommunications,
Taraz state University named after M.Kh. Dulati, Kazakhstan
Shev_AlexXXXX@mail.ru

**SOME FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF COASTAL
MANAGERITALIA**

Abstract: *In this article the authors consider specifics of development of mathematical model of manageritalia on the basis of patents № (19)KZ(13)A(11) 11862.*

Key words: *wave, model, coastal zone, diffraction, energy of wind waves, coastline.*

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРИБЕРЕГОВОГО ВОЛНОГАСИТЕЛЯ**

Аннотация: *Авторы в статье рассматривают особенности разработки математической модели волногасителя на основе патента № (19)KZ(13)A(11) 11862.*

Ключевые слова: *волны, модель, прибрежная зона, дифракция, энергия ветровой волны, береговая линия.*

Взаимодействие между воздушной и водной средой осуществляется по всей огромной поверхности Мирового океана и озер, в то время как его непосредственные контакты с сушей происходят лишь вдоль сравнительно узкой прибрежной зоны. В вечной борьбе этих двух стихий океан выступает с разрушительной позицией, тогда как суша занимает оборонительную позицию. В результате воздействия прибой и приливных течений постоянно происходит размывание берегов [1].

Размыв берегов, особенно скалистых, идет крайне медленно. Прибой бомбардирует отвесные скалы песком и камнями и в конце концов выдалбливает в них ниши и пещеры. По мере их углубления берег все больше и больше нависает над водой, а затем обрушивается в море, увеличивая количество обломков для дальнейшей бомбардировки скалы.

Примером разрушительной деятельности моря может служить маленький островок Гельголанд. В 1079 году площадь острова (измерявшаяся впервые) была равна 900

квадратным километрам. Современный Гельголанд — это, по сути дела, скала, возвышающаяся над морем на 60 метров. Ее площадь равна всего половине квадратного километра. Вокруг острова множество мелей, которые образовались в результате разрушения его берегов бурным Северным морем. До начала нашего века море ежегодно отрывало у Гельголанда примерно квадратный километр территории.

Изобретение гидротехнических сооружений для защиты объектов народного хозяйства и прибрежной зоны от штормовых волн является важным и актуальным направлением исследований. Рассмотрим несколько моделей волногасителей [2-6].

Известны различные гидротехнические сооружения, предназначенные для гашения энергии волн:

- Сооружение которое осуществляется элементами гашения, выполняемыми в виде оболочек, которые оснащает поплавковыми элементами и крепят к донному грунту верхний и нижний края оболочки [4]. Недостатком такого технического решения следует считать восприятие волновой нагрузки оболочкой, которая должна испытать нагрузку, соизмеримую со стальной конструкцией, что маловероятно.
- Техническое решение, в котором подавление энергии волн также осуществляют полотном, закрепленные своими краями на донном грунте, причем верхний край удерживается поплавками в вертикальном положении [5]. Водной массе сообщают равные и противоположно направленные скорости на поверхности в сторону берега, в придонной зоне - в сторону моря. Силовое воздействие осуществляют посредством поворотной системы с лопастями. Способ позволяет нарушить цикличность волнового процесса, создать дополнительное гидравлическое сопротивление, что приведет к повышению эффективности гашения энергии волн. Недостатком технического решения также является его недостаточная эффективность из-за значительных удельных нагрузок, что приведет либо к разрушению, либо к подтоплению поплавков с верхней кромкой полотна.
- На дно устанавливают поворотную с лопастями систему, которая охватывает зону у поверхности воды и у донного грунта. При возникновении движения водной массы такая система начнет вращаться. На поверхности воды при шторме возникает движение волн, причем неравномерное: гребень волны имеет максимальную скорость, а впадина может иметь и обратный ход водной массы или нулевое значение (по крайней мере, скорость впадины меньше скорости гребня). Водная масса гонится на берег и ветром, а после воздействия движения водной массы от ветра и от выхода гребня на прибрежную зону происходит ее отток в сторону моря с захватом грунта, частей сооружений. Т. е. имеет место изменение скорости на поверхности воды вплоть до обратного. В придонной зоне скорость либо отсутствует вообще, либо мало меняется как из-за инерционности, так и из-за трения о донный грунт. На глубине 100 метров вообще влияние шторма отсутствует. На всех промежуточных глубинах влияние будет изменяться в зависимости от глубины [7]. Поворотная лопастная система должна быть с опорами в виде салазок для ее установки буксирами и возможности передвижения для защиты ограниченной зоны, например, берега города. При отсутствии волнения все системы из отдельных элементов стаскиваются в определенное место и не обязательно на берег. Сама конструкция проста и легко выполнима. Конечно, желательно иметь ее высоту наибольшей. Во время шторма можно получать эл. энергию от вращения лопастей, если к их валу подсоединить генератор [7].
- Волногаситель, относящийся к морским гидротехническим сооружениям и предназначенных для гашения избыточной энергии движущейся волны, состоит из сетчатой преграды, собранной из множества связанных между собой металлической проволокой автопокрышек (рис.3), опирающейся на вертикальную опору-сваю, расположенной в 2-4 ряда параллельно береговой линии на расстоянии не менее 0,5

длины волны расчетной обеспеченности. Общая высота преграды, считая от дна моря, равна глубине воды у места установки плюс 0,5-0,6 высоты волны расчетной обеспеченности [2]. Волногаситель работает, используя эффект обтекания потоком преград, установленных перпендикулярно к направлению движения волны. При набегании волны на преграду – волногаситель, большая часть массы воды проходит через круглые отверстия автопокрышек, при этом она сжимается, а при выходе из него резко расширяется, распадаясь на множество струек, и интенсивно перемешивается, кроме того, малая часть волны перекачивается через верх преграды и падая сверху вниз за нее, усиливает воздействие на распад и перемешивание массы воды. За счет комплексного воздействия при обтекании таких преград происходит эффективное гашение избыточной энергии волны и она успокаивается, не доходя до береговой линии [3].

- Изобретение относится к гидротехническим сооружениям и предназначено для снижения воздействия волн на прибрежную морскую зону с размещенными на ней народнохозяйственными объектами. Комплекс содержит закрепленные на донном грунте вдоль защищаемого участка прибрежной зоны и перпендикулярно движению волн элементы гашения энергии волн. Каждый элемент выполнен в сечении по плоскости направления движения волн в виде треугольника с пластиной со стороны, обращенной к морю. Нижняя сторона треугольника, сопрягающаяся с донным грунтом, имеет выступающие за ее пределы штанги. Элементы установлены вблизи или немного ниже уровня впадин волн. Изобретение обеспечивает повышение устойчивости элементов гашения энергии волн и снижение затрат на строительство и эксплуатацию комплекса [12]. Недостаток этой известной берегозащитной конструкции заключается в том, что она позволяет свести к минимуму размеры местного размыва прибрежной зоны, вызванные вдольбереговым течением, но является малоэффективной при защите прибрежной зоны от фронтального ей волнового воздействия со стороны моря.

Для описания динамики длинных волн в прибрежной зоне моря используется нелинейная теория мелкой воды и ее различные обобщения. Обзор имеющихся аналитических решений в этой проблеме представлен, например, в (Стокер, 1959; Пелиновский, 1996; Левин, Носов, 2005). В случае плоского откоса подобная задача имеет строгое аналитическое решение, полученное с помощью преобразования годографа. Основным приложением этой задачи является расчет характеристик волн на берегу, что имеет непосредственное практическое применение в службах оповещения о цунами. Поскольку формы волн разнообразны, то данный подход активно используется в течение последних 25 лет для различных форм падающей волны. В рассмотренных случаях падающая волна представляла собой как одиночную волну: солитон, Гауссов или Лоренцев импульс, N-волну, так и периодическую волну: синусоидальную, кноидальную. При таком многообразии расчетных формул особенно важно выявить определяющие параметры, которые отвечают непосредственно за параметризацию расчетных формул для характеристик наката. Такая параметризация особенно важна для оценки разрушительной силы волны, поскольку форма подходящей к берегу волны, как правило, неизвестна. Не менее важна и параметризация донных профилей и рельефов, которые также отличаются многообразием в прибрежной зоне моря. В экспериментальном плане накат длинных волн на берег изучался, большей частью, в лабораторных условиях, что позволило проверить теоретические модели (Yeh et al., 1996). Между тем, специальный натурный эксперимент по накату длинных волн на берег, ввиду его сложности, еще вообще не проводился, и литературные данные ограничиваются только накатом океанской зыби (Raubenneimer et al., 2001). Их моделирование необходимо для прогнозирования возможных катастроф, где обычно этим пренебрегают [8].

Нелинейная динамика длинных волн в прибрежной зоне в океане переменной глубины. Одним из важных приложений динамики длинных волн является задача наката волн на берег, которая определяет дальность затопления берега во время различных стихийных бедствий. Известно, что дальность затопления во многом определяется рельефом дна, поэтому в этой главе рассмотрены различные формы бухт и береговых откосов и изучены особенности их волновой динамики. В [8-11] исследован накат различных типов волн на плоский откос в рамках нелинейной теории мелкой воды

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

где $H = h(x) + \eta$ – полная глубина бассейна, η – колебания водной поверхности, $h = \alpha x$ – переменная глубина океана, α – угол берегового склона, u – скорость течения, g – гравитационное ускорение, x – координата, направленная к берегу, t – время.

Система нелинейных гиперболических уравнений (1) допускает строгое аналитическое решение с помощью преобразования годографа и римановых инвариантов, которое подробно рассмотрено в [8]. Опишем здесь некоторые случаи наката волн различной формы (семейство колоколообразных импульсов, асимметричная периодическая волна, нерегулярное волнение).

В качестве семейства колоколообразных импульсов рассмотрены подходящие к берегу импульсы следующей формы:

$$\begin{aligned} \eta_0(t) &= H_0 \cos^n\left(\frac{\pi t}{T}\right) \text{ на } \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right], \\ \eta_0(t) &= H_0 \operatorname{sech}^n\left(\frac{4t}{T}\right), \\ \eta_0(t) &= H_0 \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{4t}{T}\right)^2\right]^n} \end{aligned} \quad (2)$$

где H_0 – высота падающей на берег волны, T – ее период, а $n = 2, 3, 4, \dots, 20$. Показано, что выражения для максимальной высоты наката R накат и глубины отката R откат этих волн, также как для максимальной скорости наката U накат и отката U откат волн, и для параметра обрушения Br , характеризующего режим наката волн на берег, могут быть параметризованы, если определить длительность волны λ_s по уровню $2/3$ от амплитуды волны (понятие значительной волны в океанологии). В этом случае различия в численных коэффициентах для максимальной высоты наката и глубины отката не превышают 8% (рис. 1) и характеристики наката длинных волн на берег могут быть параметризованы:

$$\begin{aligned} R_{\text{накат}} &= 3.5H_0 \sqrt{\frac{L}{\lambda_s}}, \quad R_{\text{откат}} = 1.5H_0 \sqrt{\frac{L}{\lambda_s}}, \\ U_{\text{накат}} &= 4.5 \frac{H_0 L}{\lambda_s} \sqrt{\frac{g}{a\lambda_s}}, \quad U_{\text{откат}} = 7 \frac{H_0 L}{\lambda_s} \sqrt{\frac{g}{a\lambda_s}}, \quad Br = 13 \frac{H_0 L}{a\lambda_s^2} \sqrt{\frac{L}{\lambda_s}}, \end{aligned}$$

здесь L – это расстояние, которое проходит волна до берега.

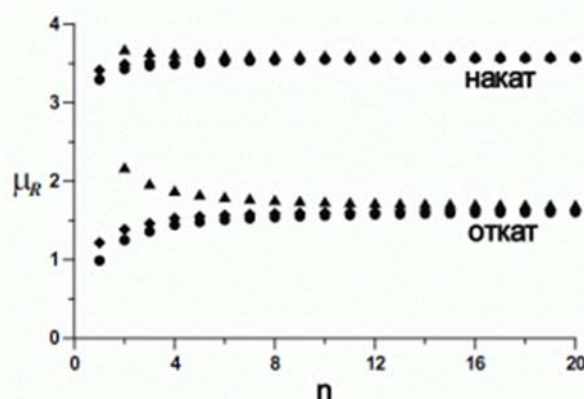


Рисунок 1 - Рассчитанные коэффициенты в (3)-(4) для максимальной высоты наката $\mu R+$ и глубины отката $\mu R-$ для синусоидальных импульсов (треугольники), солитонов (ромбы) и лоренцевых импульсов (круги).

В качестве модели асимметричной (нелинейно деформированной) волны можно использовать риманову волну при ее движении на ровном участке дна с постоянной глубиной h_0 . В этом случае первоначально синусоидальная волна малой, но конечной амплитуды на любом расстоянии от источника до ее обрушения может быть описана рядом Бесселя-Фубини

$$\eta(t, x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n(x) \sin(n(t - \tau)), \quad A_n(s) = \frac{2}{n \left(1 - \frac{1}{s}\right)} J_n \left(n \left(1 - \frac{1}{s}\right) \right)$$

где $\tau(x)$ – безразмерное время движения волны по ровному участку, J_n – функции Бесселя первого рода. Времена t и τ нормированы на частоту падающей волны ω , а амплитуды гармоник $A_n(x)$ – на первоначальную амплитуду синусоидальной волны a , $s(x)$ – локальная крутизна волны, нормированная на начальную крутизну $s_0 = \frac{2\pi a}{\lambda}$.

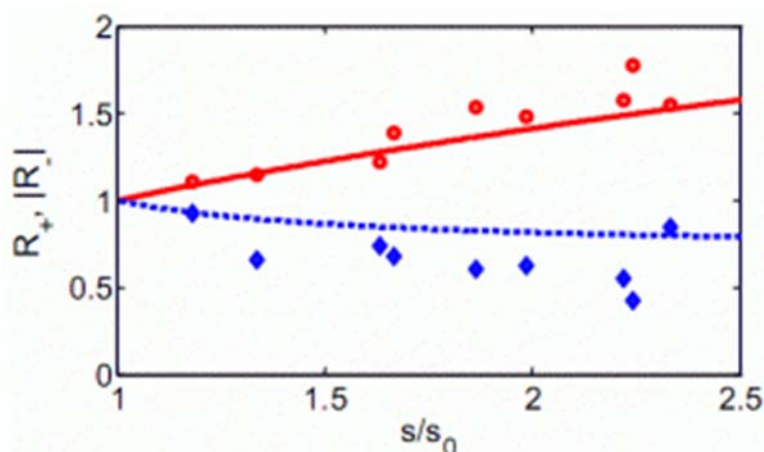


Рисунок 2 - Связь высоты наката (сплошная) и глубины отката (штриховая линия) с крутизной переднего склона волны, значки (кружки и ромбы) отвечают экспериментальным данным.

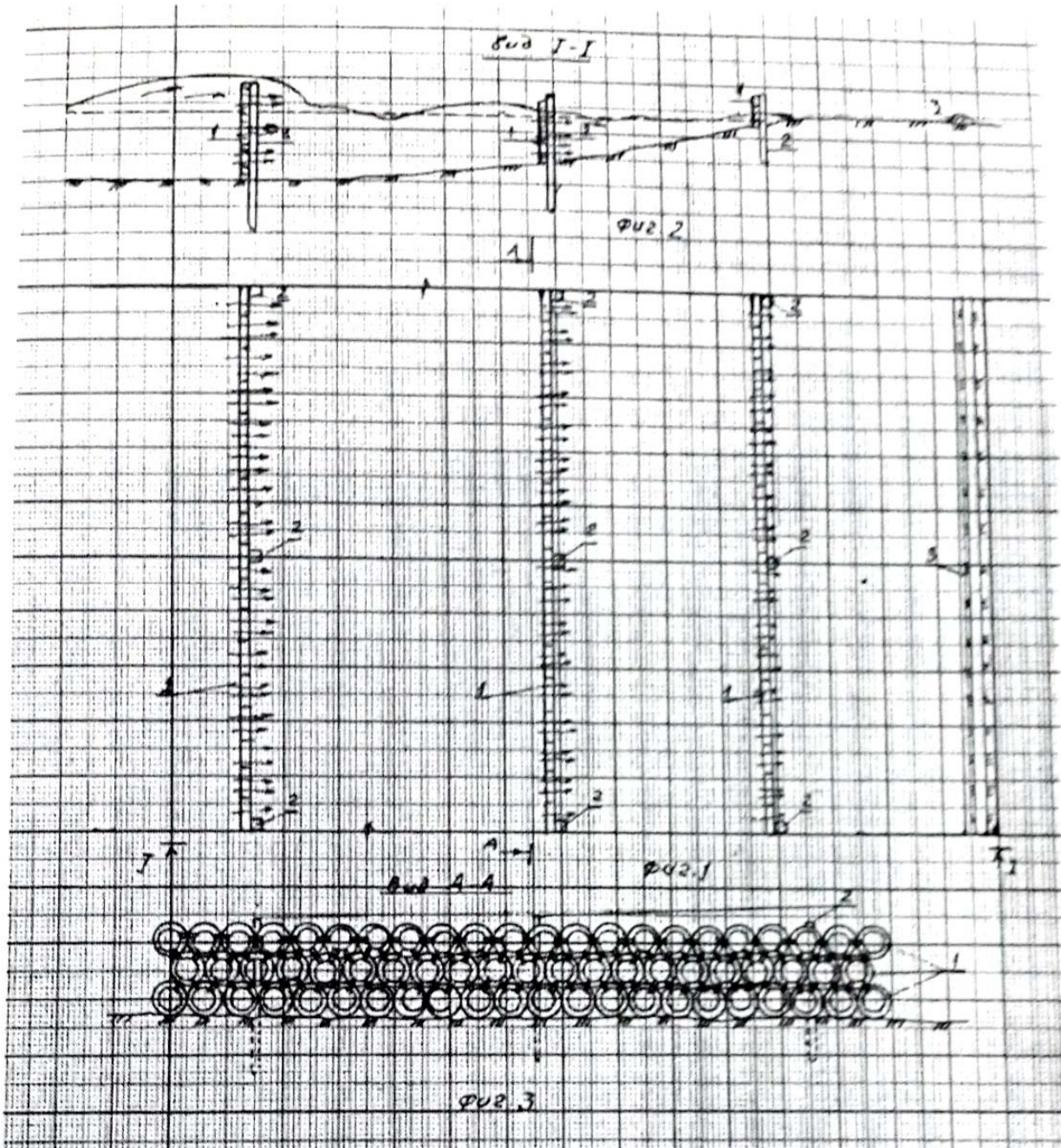


Рисунок 3 – Многоуровневая модель волногасителя.

Показано [12], что глубина отката слабо зависит от крутизны переднего склона волны, меняясь не более чем на 30%, и для нее оценки, сделанные по формулам монохроматической волны, являются удовлетворительными (рис. 2). Высота же наката, напротив, сильно зависит от крутизны переднего склона волны, стремясь к бесконечности для ударной волны (бора) в рамках данной модели (на самом деле, обрушение ограничивает высоту волны на берегу). Приблизительно, эту кривую можно аппроксимировать корневой зависимостью

$$R_{\max} = 2\pi a \sqrt{\frac{2Ls}{\lambda_0 s_0}}$$

References:

1. Прибрежная зона. [Электронный ресурс] URL: <http://www.seapeace.ru/oceanology/water/118.html> (дата доступа: 11.07.2014).
2. Койбаков С.М. Прибереговой волногаситель. Патент № (19)KZ(13)A(11) 11862.
3. Койбаков С.М. Изобретения в области гидротехники и безопасности жизнедеятельности. –Тараз, ТарГУ им.М.Х.Дулати, «Тараз университеті» -2013. - 112с.
4. Сергеев Б.Т., "Облегченные гидротехнические сооружения", учебное пособие, Днепропетровский сельскохозяйственный институт, 1983 г., стр. 16, фиг. 64, 65.
5. а.с. N 1237738, кл. E 02 B 9/04, 1986 г.
6. Койбаков С.М. Безопасность гидротехнических сооружений в условиях сурового климата. LAP LAMBERT Academic Publishing. –Germany, 2014. -299с.
7. Таланов Б.П. Способ гашения энергии волн в прибрежной морской зоне (патент РФ № 2130525) [Электронный ресурс] URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2130525> (дата доступа: 11.07.2014).
8. Диденкулова И.И. Динамика длинных волн в прибрежной зоне моря с приложением к морским катастрофам. -Тип диссертации: Докторская, дата публикации: 22.07.2013. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vak-referat.ru/Referats/5> (дата доступа: 11.07.2014).
9. Диденкулова, И. Изменчивость берегового профиля под совместным воздействием судовых и ветровых волн / И. Диденкулова, М. Вишка, Д. Куренной // Фундамент. и приклад. гидрофизика. – 2011. – № 2. – С. 66–78. 33
10. Диденкулова, И.И. Накат нелинейно деформированных волн на берег / Н. Заибо, А.А. Куркин, Б.В. Левин, Е.Н. Пелиновский, Т. Соомере/ Доклады Академии Наук. – 2006. – Т. 410. – № 5. – С. 676–678.
11. Диденкулова, И.И. Крутизна и спектр нелинейно деформируемой волны на мелководье / Н. Заибо, А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 42. – № 6. – С. 839-842.
12. КОМПЛЕКС ДЛЯ ГАШЕНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ МОРСКОЙ ЗОНЕ (патент РФ № 2147641) [Электронный ресурс] URL: <http://ru-patent.info/21/45-49/2147641.html> (дата доступа: 11.07.2014).
13. СНИП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
14. СНИП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования.