

UDC 626.01

**Dynamics of the Pebble Beach in the Protected Water Area \***

Nikolay K. Makarov

Sochi State University, Russia  
26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000  
PhD student  
E-mail: ktk99@mail.ru

**Abstract.** Mathematical modeling of the dynamics of the pebble beach in the area of artificial cape, performed in programs designed with the participation of the author, and included a calculation of the diffraction, refraction, transformation, and waves breaking, sediment transport and dynamics of the beach. By results of modeling the optimum configuration of protective constructions is offered.

**Keywords:** wind waves; settlement storm; diffraction and refraction of waves; water area of the artificial cape; protective spurs; dynamics of a pebble beach.

**Введение.** В рамках подготовки к зимней Олимпиаде 2014 года в городе Сочи, разрабатывался проект реконструкции центральной Приморской набережной между существующим портом Сочи и проспектом Пушкина (район цирка).

В качестве одного из вариантов реконструкции рассматривался вариант создания нескольких искусственных мысов, образующих замкнутые литодинамические ячейки и позволяющих разместить на них объекты курортной инфраструктуры.

Наиболее крупный мыс с аква-центром предполагалось разместить в районе гостиницы «Жемчужина» – рис. 1. Мыс включает искусственную территорию под защитой оградительных сооружений, западный и восточный береговые пляжи, примыкающие к оградительным сооружениям, яхтную гавань и искусственный пляж шириной 30 м, располагаемый в искусственной бухте, образуемой оградительными сооружениями в виде двух шпор.

Для обоснования конструкции и конфигурации сооружений искусственного мыса было выполнено математическое моделирование гидро- и литодинамических процессов, включая динамику галечного пляжа (южного) в огражденной акватории мыса.

Моделирование динамики пляжа осуществлялось с целью определения минимальной длины оградительных шпор, обеспечивающих относительно равномерную ширину пляжа в акватории мыса под воздействием наиболее опасного шторма.

Для моделирования была разработана математическая модель акватории Черного моря, прилегающей к мысу, рассчитаны элементы волн в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет от волноопасных направлений, их рефракция и трансформация в прибрежной зоне моря.

По результатам расчетов для моделирования динамики галечного пляжа в акватории мыса были приняты следующие элементы волн на входе: высота

$h_{30\%} = 3.5$  м, средняя длина  $\lambda = 111$  м, средний период  $T = 8.4$  с.

Динамика пляжа в искусственной огражденной акватории мыса моделировалась с использованием модели, разработанной при участии автора и реализованной в программных средствах.

Основными моделируемыми физическими процессами являются дифракция, рефракция и обрушение волн, а также транспорт наносов и деформации пляжа по периметру акватории.

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

Дифракция волн на акватории рассчитывалась по нормативной методике [1], модифицированной с целью учета рефракции и трансформации волн на переменной глубине [2].

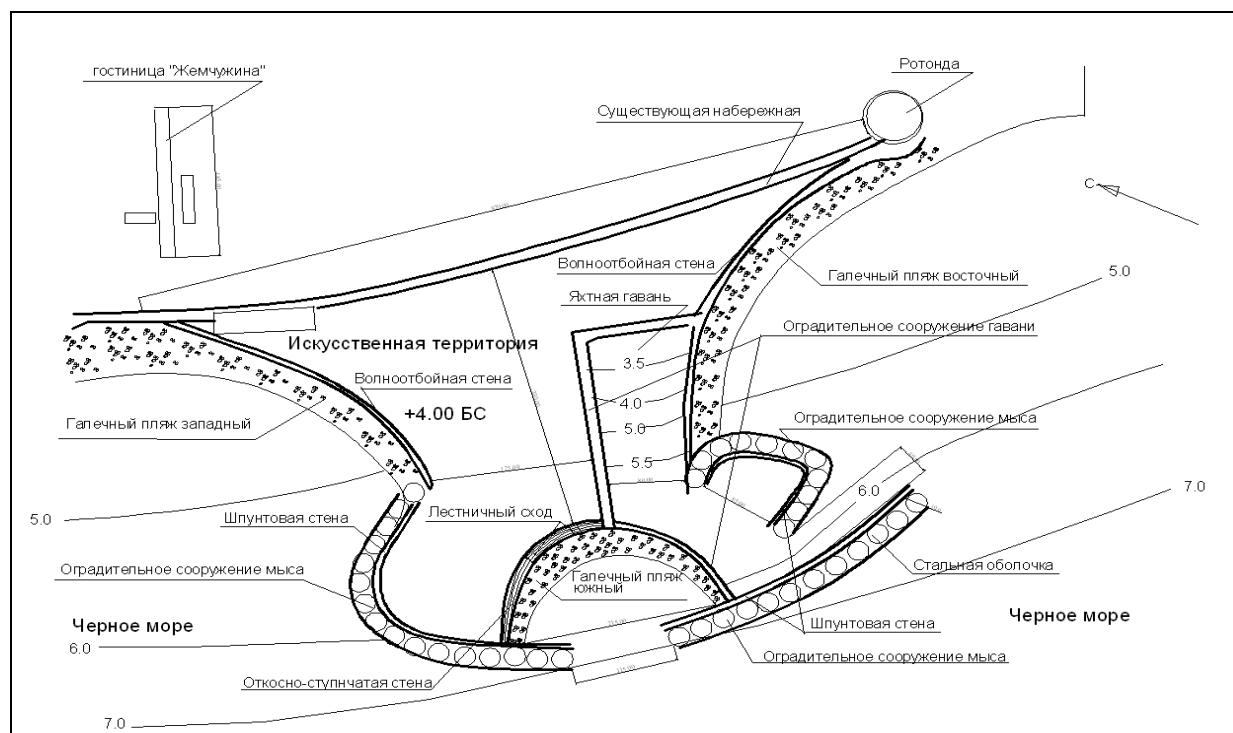


Рис. 1. Генеральный план аква-центра

Расчет высоты волн при обрушении в рамках нормативных документов [1, 3] производится по зависимостям вида:

$$\frac{h_{cr1\%}}{gT^2} = f\left(\frac{d_{cr}}{gT^2}\right), \quad (1)$$

где  $h_{cr1\%}$  - высота волны 1% обеспеченности в системе по линии обрушения,  $g$  - гравитационное ускорение,  $T$  - период волны,  $d$  - глубина обрушения волны.

Эта зависимость в зоне малых относительных глубин  $d/(gT^2) \leq 1.5 \times 10^{-3}$  и при крутых уклонах дна для высоты  $h_{cr}$  и глубины  $d_{cr}$  обрушения волн имеет вид:

$$h_{cr} = 0.78d_{cr}. \quad (2)$$

Основой для моделирования деформаций пляжа является фундаментальное уравнение сохранения массы вещества:

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \left(\frac{1}{(1-n)}\right) \times \left(\frac{\partial Q_m}{\partial x} + \frac{\partial Q_m}{\partial y}\right) = 0, \quad (3)$$

где  $d$  - глубина;  $t$  - время;  $n$  - коэффициент пористости грунта;  $x, y$  - оси координат;  $Q_m$  - расход наносов.

Если принять, что в процессе шторма поперечный профиль пляжа остается постоянным, то есть  $\frac{\partial Q_m}{\partial y} = 0$ , то динамика береговой линии определяется только вдольбереговым транспортом наносов.

В использованной в данной работе математической модели, расход вдольберегового потока галечных наносов рассчитывался по методике, рекомендованной в [4] с учетом дифракции, рефракции, трансформации и обрушения волн.

Исходная ширина галечного пляжа в акватории мыса принималась равной 30 м, средняя крупность материала – 45 мм. При таких параметрах проектного пляжа объем исходной отсыпки составляет 480 м<sup>3</sup> на 1 погонный метр берега или 125 тыс. м<sup>3</sup> на весь пляж в искусственной акватории длиной 260 м.

В процессе моделирования варьировалась длина оградительных шпор искусственной акватории. Начальная длина шпор принималась равной 70 м – рис. 2.

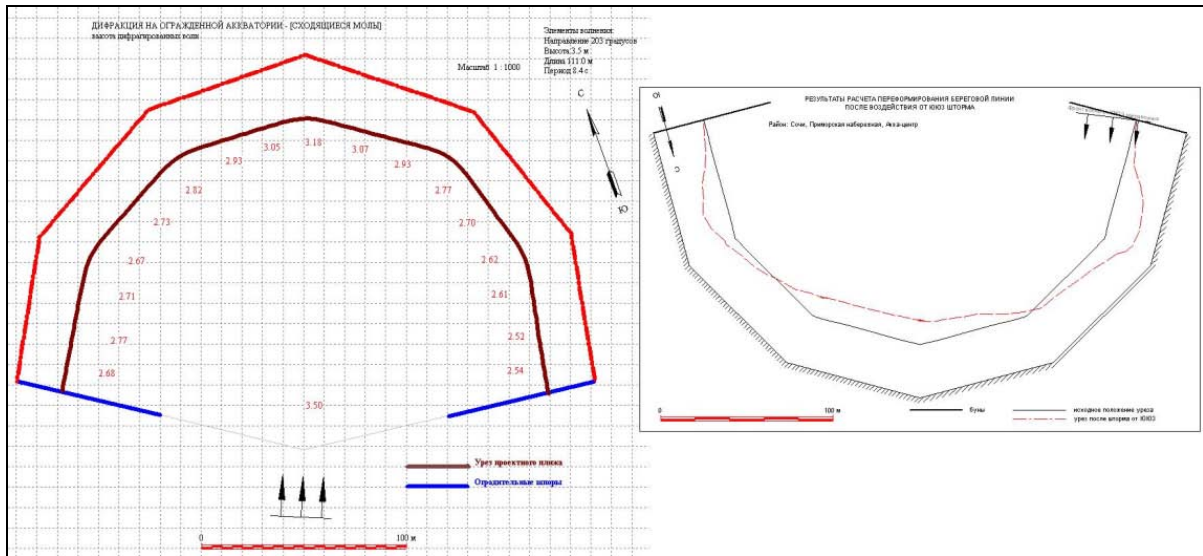


Рис. 2. Высоты волн по линии обрушения и динамика проектного пляжа на акватории аквацентра в расчетном шторме от ЮЮЗ направления при длине оградительных шпор по 70 м

Как видно из рис. 2, под воздействием расчетного шторма, на флангах искусственной акватории наблюдается существенный размыв пляжа и его аккумуляция в средней части. Поэтому в дальнейшем производилось увеличение длины шпор на 10 м.

По результатам моделирования было установлено, что размеры шпор оказывают существенное влияние на динамику пляжа в искусственной акватории. Наиболее оптимальной является длина шпор равная 90 м – рис. 3. При такой их длине, пляж в расчетном шторме сохраняет относительно равномерную ширину. В то же время обеспечивается достаточный водообмен искусственной акватории с морем.

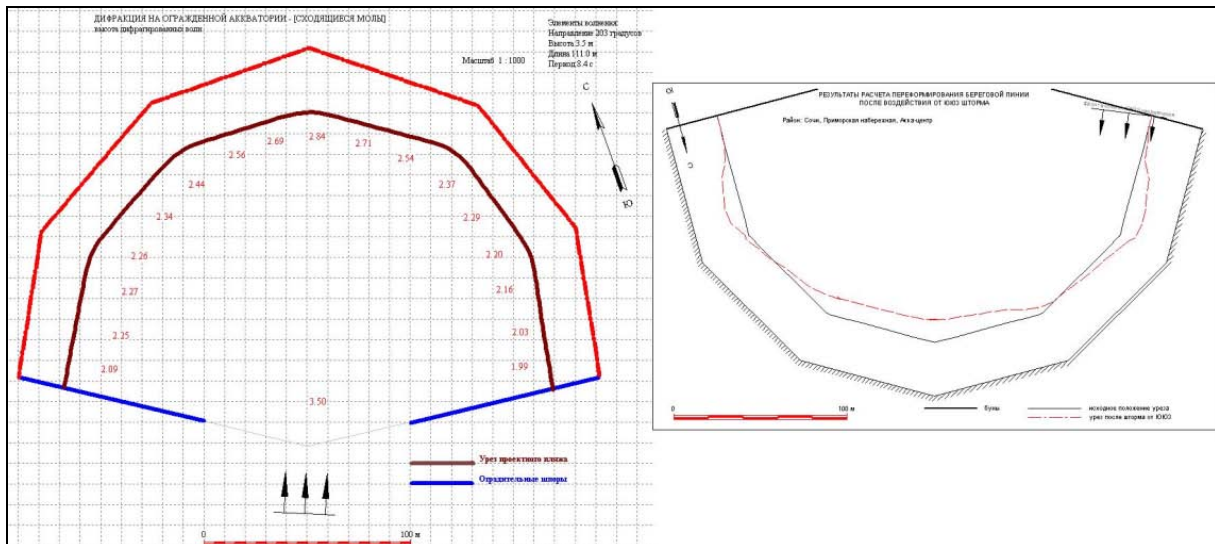


Рис. 3. Высоты волн по линии обрушения и динамика проектного пляжа на акватории аквацентра в расчетном шторме от ЮЮЗ направления при длине оградительных шпор по 90 м

**Заключение.** Таким образом, разработана комплексная математическая модель и реализующие ее программные средства для математического моделирования динамики галечных пляжей в огражденных акваториях, которые могут быть использованы для оптимизации конфигурации пляжеудерживающих сооружений.

**Примечания:**

1. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012.
2. Макаров Н.К. Математическая модель динамики галечных пляжей искусственных островных комплексов // Гидротехника. 2012. № 2 (27). С. 84–87.
3. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Ленинград, ВНИИГ, 1990. 432 с.
4. Рекомендации по проектированию и строительству свободных галечных пляжей. М., ЦНИИС, 1988. 85 с.

УДК 626.01

**Динамика галечного пляжа в огражденной акватории**

Николай Константинович Макаров

Сочинский государственный университет, Россия  
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а  
аспирант  
E-mail: ktk99@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются результаты математического моделирования динамики галечного пляжа, расположенного в акватории искусственного мыса. Моделирование выполнялось по программам, разработанным при участии автора, и включало расчет дифракции, рефракции, трансформации и обрушения волн, транспорта наносов и динамики пляжа. По результатам моделирования предложена оптимальная конфигурация оградительных сооружений аква-центра.

**Ключевые слова:** ветровые волны; расчетный шторм; дифракция и рефракция волн; акватория искусственного мыса; оградительные шпоры; динамика галечного пляжа.