

UDC 626.01

**Calibration of Mathematical Model of the Island Pebble Beach \***<sup>1</sup> Igor G. Kantargi<sup>2</sup> Nikolay K. Makarov<sup>1</sup> Moscow State Building University, Russian Federation

26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337

Dr. (Hydraulic engineering), Professor

E-mail: kantardgi@yandex.ru

<sup>2</sup> Sochi State University, Russian Federation

26 a, Sovetskaya St., Sochi, 354000

PhD student

E-mail: ktk99@mail.ru

**Abstract.** The mathematical model of transformation of waves and dynamics of pebble beaches on artificial island complexes is offered. Results of hydraulic modeling of dynamics of a pebble beach on the artificial island on the Southern coast of the Crimea near the cape Fiolent are given. The mathematical model is calibrated according to experiments and it is offered for optimization of beach protection constructions at design of island beaches.

**Keywords:** Artificial island complex; transformation of waves; beach protection constructions; dynamics of a pebble beach.

**Введение.** В ряде случаев создание искусственных пляжей и рекреационных территорий непосредственно в море на определенном удалении от берега в виде искусственных островных комплексов (ИОК) может оказаться экономически целесообразным. В этом случае возникает задача оптимизации параметров оградительного сооружения острова, а также сооружений для удержания островного пляжа.

Задача может быть решена как методом гидравлического моделирования на пространственных моделях, что весьма не дешево, так и математического моделирования с использованием компьютерных моделирующих систем, откалиброванных по данным натурных или лабораторных исследований.

В данной работе приводится пример разработки и калибровки компьютерной моделирующей системы для оптимизации пляжеудерживающих сооружений островных комплексов.

**Материалы и методы.** Для базы отдыха «Каравелла», расположенной на Южном берегу Крыма в районе мыса Фиолент (рис. 1) был запроектирован традиционный береговой вариант искусственного галечного пляжа.

Берег на участке проектирования характеризуется исключительно сложными условиями: береговой обрыв имеет высоту до 100 м, подводный склон приглубый, что обуславливает тяжелый волновой режим, естественный пляж отсутствует. Береговая линия имеет бухтовое очертание.

Традиционный береговой вариант пляжа включал камнеулавливающие стены, волнозащитную стену и набережную, буну-пирс и каменнонабросную шпору для удержания пляжеобразующего материала в объеме 12 тыс. м<sup>3</sup>, обеспечивающего надводную полосу пляжа площадью 2 тыс. м<sup>2</sup>.

---

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

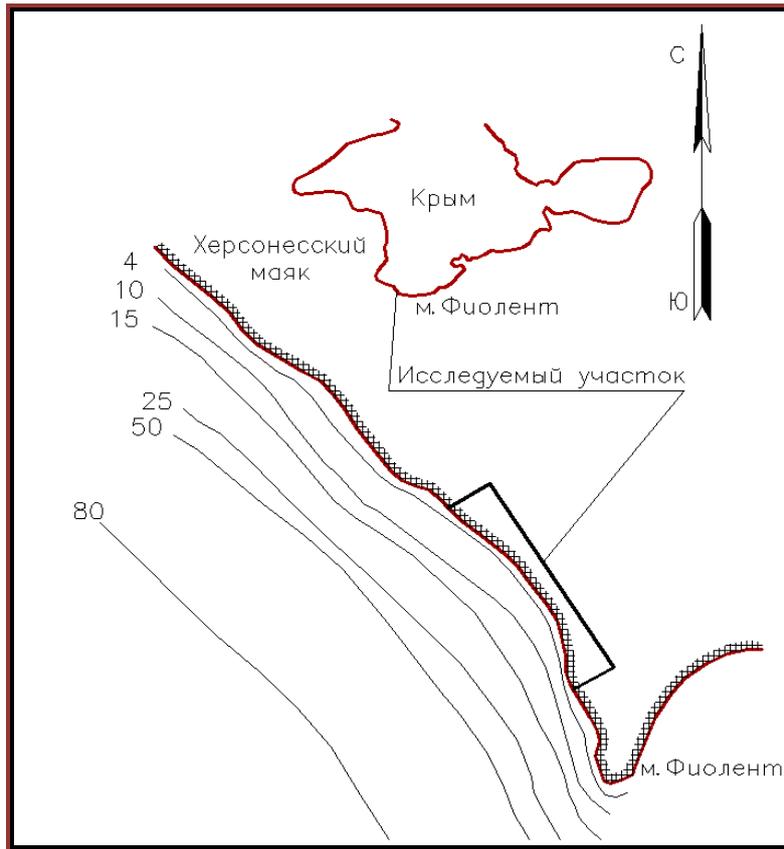


Рис. 1. Ситуационный план расположения проектного участка

Поскольку разработанный береговой вариант пляжного комплекса оказался весьма затратным, был разработан альтернативный – островной его вариант. На рис. 2 представлена схема островного варианта пляжного комплекса для рассматриваемого участка берега [1].

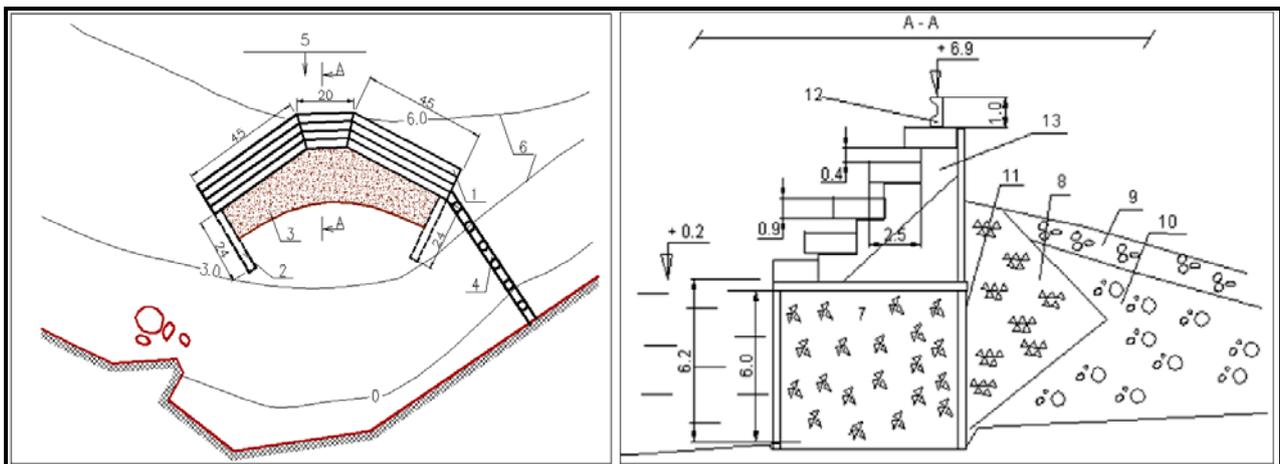


Рис. 2. Схема островного пляжного комплекса на м. Фиолент

На рис. 2 обозначены следующие элементы островного комплекса: 1 – верхнее сквозное откосно-ступенчатое строение; 2 – пляжеудерживающие шпоры; 3 – пляж; 4 – свайный мост; 5 – фронт волны; 6 – изобаты; 7 – каменная засыпка оболочки; 8 – обратный фильтр; 9 – галька; 10 – горная масса; 11 – ж/б оболочка; 12 – волноотбойный козырек; 13 – волновая камера.

Для оценки устойчивости искусственного галечного пляжа за оградительным сооружением острова было выполнено гидравлическое моделирование в волновом бассейне в масштабе 1:25 [1]. При этом изменялась длина оградительных пляжеудерживающих шпор (от 0 до 24 м). Результаты моделирования показаны на рис. 3.

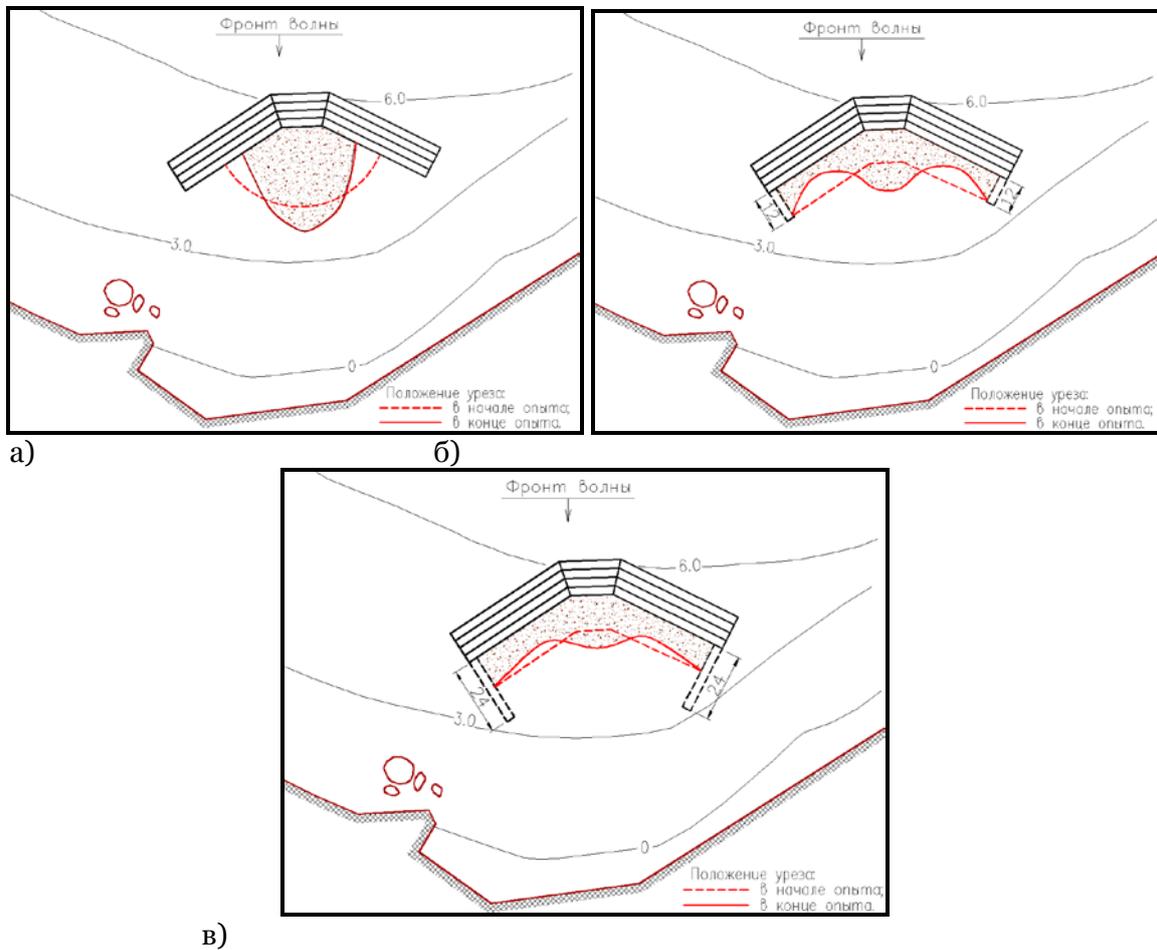


Рис. 3. Результаты гидравлического моделирования динамики пляжа при отсутствии оградительных шпор а), при длине шпор 12 м – б), при длине шпор 24 м – в)

В работе [2] представлена комплексная математическая модель для расчета параметров волн на акватории ИОК и динамики островного галечного пляжа.

Эта модель реализована в компьютерной программе, которая была откалибрована по данным приведенных лабораторных исследований.

**Результаты.** На рис. 4 показаны результаты математического моделирования волновых полей на акватории ИОК в расчетном шторме при различной длине пляжеудерживающих шпор.

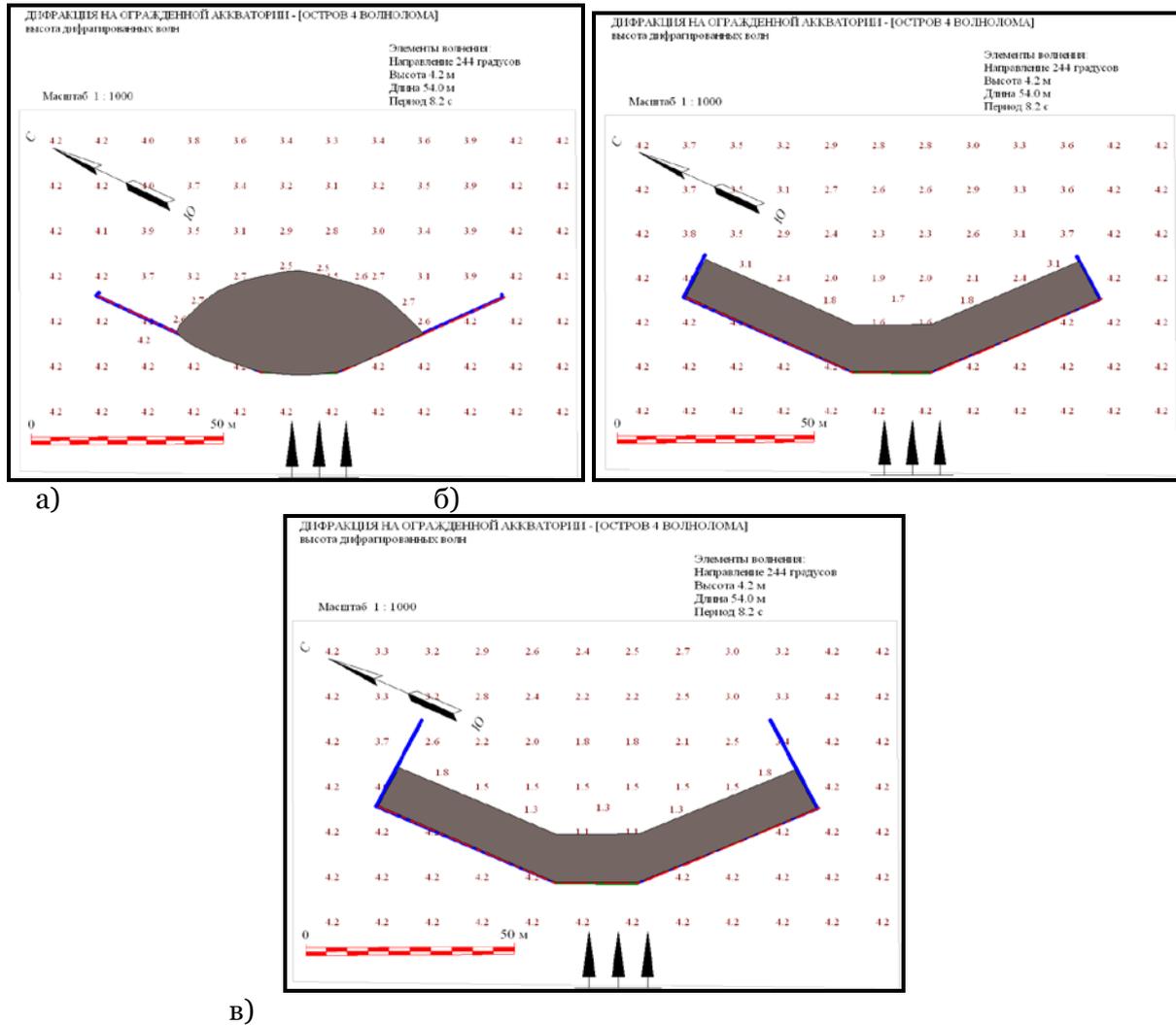


Рис. 4. Расчетное волновое поле на акватории ИОК при отсутствии пляжеудерживающих шпор а), при длине шпор 12 м – б), при длине шпор 24 м – в)

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

$$\partial d / \partial t + (1/(1-n)) \times (\partial Q_m / \partial x + \partial Q_m / \partial y) = 0, \quad (1)$$

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

Для практических расчетов величины расхода наносов имеется большое количество зависимостей, предложенных различными авторами. Все они в той или иной степени теоретико-эмпирические.

В разработанной математической модели [2] применяется зависимость для расчета транспорта галечных наносов, рекомендованная Черноморским отделением ЦНИИС (ныне Центр «Морские берега») [7], которая имеет вид:

$$Q_T = 0,087 \frac{\rho}{\rho_n} g \frac{h_{sur.1\%}^3 \bar{T} \Delta t}{k_{ок} d_{50\%}} \sin 2\alpha_{cr.u.}, \quad (2)$$

где  $h_{sur.1\%}$  - высота волны 1 % обеспеченности в системе по линии последнего обрушения, м;  $\bar{T}$  - средний период волн, с;  $d_{50\%}$  - медианный диаметр пляжеобразующего материала, м;  $\rho_n$  - объемный вес наносов;  $\rho$  - объемный вес воды;  $\alpha_{cr.u.}$  - угол подхода волн к линии

обрушения;  $\Delta t$  – время действия данного волнения;  $k_{ок}$  – коэффициент, учитывающий влияние степени окатанности пляжевого материала на интенсивность его перемещения [7].

Выражение для моделирования динамики береговой линии имеет вид:

$$\Delta Y = K \frac{\Delta Q \Delta t}{\Delta X d_{cr}}, \quad (3)$$

где  $\Delta Y$  – изменение положения береговой линии,  $Q$  – расход вдольберегового потока наносов, определяемый по формуле (2),  $t$  – время,  $X$  – расстояние вдоль берега,  $d_{cr}$  – глубина обрушения расчетных волн,  $K$  – калибровочный коэффициент, учитывающий изменение профиля пляжа в процессе шторма и подлежащий определению по лабораторным или натурным измерениям, что и было сделано в данной работе.

Результаты расчетов динамики пляжа для трех вариантов оградительного сооружения после калибровки модели приведены на рис. 5.

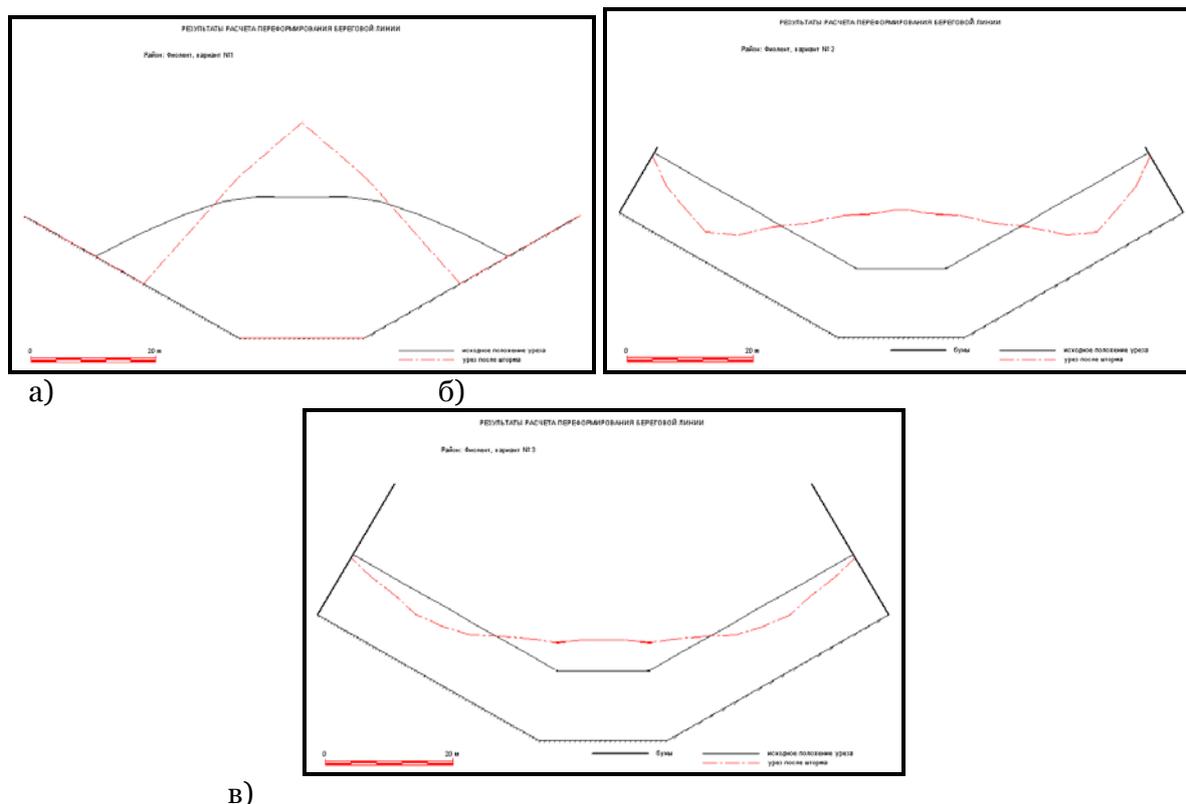


Рис. 5. Результаты математического моделирования динамики островного галечного пляжа при отсутствии пляжеудерживающих шпор а), при длине шпор 12 м – б), при длине шпор 24 м – в)

### Заключение.

Сопоставление результатов гидравлического (рис. 3) и математического (рис. 5) моделирования показывает, что разработанная модель динамики пляжей на островных комплексах удовлетворительно соответствует данным физических экспериментов и может быть использована для прогноза переформирования пляжей ИОК и оптимизации их пляжеудерживающих сооружений.

### Примечания:

1. Мальцев В.П., Макаров К.Н., Николаевский М.Ю. Разработка и исследование островного пляжного комплекса // Гидротехническое строительство. 1993. № 11. С. 15-17.
2. Макаров Н.К. Математическая модель динамики галечных пляжей искусственных островных комплексов // Гидротехника. 2012. № 2 (27). С. 84-87.

3. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012.
4. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. М., 1990.
5. Макаров К.Н., Королев К.И. Будущее островных портов и гаваней // Мир транспорта, 2007, № 4, с. 100-105.
6. Макаров К.Н., Королев К.И. Конфигурация оградительных сооружений островных портов на Черноморском побережье Кавказа. / Строительство в прибрежных курортных регионах. // Материалы 5-й международной научно-практической конференции, г. Сочи, 12 – 17 мая 2008 г., С. 113–116.
7. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. М.: Трансстрой, 1998.

УДК 626.01

### **Калибровка математической модели островного галечного пляжа**

<sup>1</sup> Игорь Григорьевич Кантаржи  
<sup>2</sup> Николай Константинович Макаров

<sup>1</sup> Московский государственный строительный университет, Россия  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26  
д.т.н., профессор, кафедры водного хозяйства и морских портов  
E-mail: kantardgi@yandex.ru

<sup>2</sup> Сочинский государственный университет, Россия  
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Советская, 26 а  
аспирант  
E-mail: ktk99@mail.ru

**Аннотация.** Предложена математическая модель трансформации волн и динамики галечных пляжей на искусственных островных комплексах. Приводятся результаты гидравлического моделирования динамики галечного пляжа на искусственном острове на Южном берегу Крыма в районе мыса Фиолент. Математическая модель откалибрована по данным экспериментов и предлагается для оптимизации пляжеудерживающих сооружений при проектировании островных пляжей.

**Ключевые слова:** Искусственный островной комплекс; трансформация волн; пляжеудерживающие сооружения; динамика галечного пляжа.