МАКСИМАЛЬНЫЕ ВЫСОТЫ ВОЛН В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЕЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ВЕТРА

А.А. Полозок^{1,2}, В.В. Фомин^{1,2}, И.Н. Фомина²

¹ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

²Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова»,
Севастополь, Россия
polozok.umi@gmail.com

Аннотация. С помощью математического моделирования рассчитаны максимальные высоты волн в 30 характерных точках Керченского пролива для 8 направлений ветра и скоростей ветра 15 и 17.5 м/с. Установлено, что при каждой из указанных скоростей ветра наибольшие значения высот волн фиксируются в южной части пролива. Провоцируют штормовое волнение ветра южного и юго-восточного направлений.

Ключевые слова: высота волны, Керченский пролив, математическое моделирование, ADCIRC, SWAN

Актуальность и цель исследования. В рамках публикации с помощью математического моделирования проведен расчет максимальных высот волн в характерных точках Керченского пролива для 8 направлений ветра и скорости ветра 15 и 17.5 м/с. При заданных скоростях ветра в Керченском проливе наиболее часто фиксируются опасные сгонно-нагонные явления и процессы. Данные моделирования помогут понять, при каких параметрах ветра наиболее велика вероятность развития штормовых ситуаций. Подобная информация необходима для

своевременного предотвращения опасных последствий штормового волнения при ведении хозяйственной деятельности человека.

Исходные данные. Численное моделирование проводилось для всего Азово-Черноморского бассейна с использованием неструктурированной расчетной сетки из примерно 158 тыс. узлов. Размер сторон узлов менялся в пределах 60 м в Керченском проливе до 4900 м в глубоководной части Черного моря. На рис. 1 представлен фрагмент расчетной сетки, включающий Керченский пролив.

Рис. 1 – Фрагмент используемой для моделирования расчетной сетки с Керченским проливом

Для проведения расчетов в работе использована совместная численная модель ADCIRC + SWAN [1], объединяющая 2 модели: Advanced Circulation

Model for Shelves Coasts and Estuaries (ADCIRC) [2, 3] и Simulation Waves Nearshore (SWAN) [4]. Указанные модели широко применяются для расчетов

штормовых нагонов и ветрового волнения соответственно.

Для получения модельных данных максимальных высот волн ветер заданного направления действовал в течение 24 часов, при этом в первые 6 часов он постепенно усиливался от 0 до 15 (или 17.5 м/с) и затем дул неизменным в течение 18 часов.

Результаты численного моделирования. В результате проведения численных экспериментов получены максимальные значения высот волн в 30 точках Керченского пролива. Схема размещения точек,

в которых рассчитаны модельные данные, представлена на рис. 2.

В таблицах 1, 2 представлены максимальные высоты волн в характерных точках Керченского пролива для скоростей ветра 15, 17.5 м/с и различных направлений ветра (З, ЮЗ, Ю, ЮВ, В, СВ, С, СЗ). Как видно, при западном ветре наиболее интенсивное волнение формируется в южной части пролива (точки 26, 27, 28). Здесь максимальные высоты волн изменяются от 2.3 м при скорости ветра 15 м/с до 3.2 м при скорости ветра 17.5 м/с.

Рис. 2 – Рельеф дна (м) Керченского пролива и положение точек, в которых рассчитаны максимальные значения высот волн

При южном направлении ветра высоты волн, превышающие 1 м, наблюдаются при каждой скорости ветра в точках 21–28. Наиболее интенсивное волнение в данном случае зафиксировано при скорости ветра 17.5 м/с в точках 26, 27, 28.

По сравнению со значениями высот волн, полученными при скорости ветра 15 м/с, максимальные высоты волн в указанных 3 точках при скорости ветра, превышающей 17 м/с, увеличились в 1.26–1.35 раза.

При восточном ветре со скоростью 17.5 м/с максимальные высоты волн более 1.5 м зафиксированы в 12 точках Керченского пролива. Наименее

интенсивное волнение наблюдается в Таманском заливе (точки 14, 20, 29, 30). При скорости ветра 15 м/с высота волн, превышающая 1.5 м, рассчитана в северной и южной части пролива (точки 1, 2, 22–28). Во всех остальных случаях высота волны не превышала полуметровой отметки.

При северном ветре со скоростью 17.5 м/с наибольшие значения максимальных высот волн получены в северном районе Керченского пролива (точки 1, 2, 3, 4), а также в северной узости (точки 8, 9). Значения высоты волн более 1.5 м в данном случае зафиксированы в 13 точках.

Таблица 1 – Максимальные высоты волн для скорости ветра 15 м/с и различных направлений ветра

Скорость ветра, м/с	15.0							
Направление ветра, румбы	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	С	СЗ
№ станции								
1	1.61	0.97	0.99	1.31	1.87	2.22	2.25	2.11
2	1.80	1.23	1.10	1.21	1.78	2.18	2.27	2.17
3	1.83	1.27	0.96	0.92	1.46	2.01	2.24	2.17
4	1.35	1.01	0.87	0.80	1.19	1.71	2.03	1.87
5	0.50	0.66	0.73	0.82	1.08	1.20	1.06	0.57
6	0.74	0.84	0.83	0.86	1.25	1.51	1.43	0.97
7	0.90	0.92	0.83	0.80	1.23	1.61	1.63	1.20
8	0.98	0.92	0.76	0.70	1.11	1.57	1.71	1.34
9	1.02	0.91	0.69	0.61	1.01	1.51	1.73	1.40
10	0.99	0.82	0.58	0.51	0.88	1.43	1.71	1.42
11	0.87	0.70	0.45	0.39	0.74	1.25	1.48	1.31
12	0.70	0.79	0.94	1.04	0.90	0.70	0.61	0.62
13	0.91	0.83	0.78	0.75	0.87	0.94	0.87	0.83
14	0.92	1.00	0.96	0.87	0.81	0.78	0.77	0.78
15	0.93	0.96	0.99	1.05	1.00	0.87	0.80	0.83
16	0.84	0.98	1.11	1.12	1.02	0.81	0.68	0.61
17	0.94	1.03	1.08	1.15	1.11	0.93	0.83	0.83
18	0.83	0.75	0.77	0.86	0.95	0.93	0.88	0.86
19	0.96	1.26	0.99	1.06	1.09	0.84	0.77	0.84
20	0.97	0.72	0.55	0.64	0.82	0.97	1.04	1.06
21	1.05	1.40	1.72	1.64	1.33	0.92	0.79	0.75
22	1.00	1.29	2.05	2.10	1.64	1.04	0.86	0.76
23	1.45	1.85	2.73	2.84	2.21	1.32	1.21	1.14
24	1.84	2.39	2.87	2.50	1.88	1.07	1.13	1.27
25	1.88	2.51	3.13	3.33	2.65	1.59	1.39	1.29
26	2.32	2.90	3.60	3.40	2.66	1.53	1.48	1.59
27	2.42	3.07	3.65	3.42	2.61	1.37	1.44	1.59
28	2.50	3.22	3.59	3.24	2.37	1.16	1.23	1.53
29	0.34	0.39	0.41	0.36	0.29	0.27	0.26	0.26
30	0.53	0.49	0.39	0.31	0.30	0.30	0.32	0.44

Таблица 2 – Максимальные высоты волн для скорости ветра 17.5 м/с и различных направлений ветра

Скорость ветра, м/с	17.5							
Направление ветра, румбы	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ	С	СЗ
№ станции								
1	1.93	1.16	1.2	1.58	2.25	2.67	2.71	2.52
2	2.16	1.47	1.32	1.46	2.15	2.63	2.73	2.61
3	2.18	1.5	1.15	1.11	1.75	2.4	2.7	2.61
4	1.63	1.19	1.05	0.97	1.43	2.06	2.43	2.24
5	0.59	0.77	0.85	0.96	1.24	1.38	1.25	0.77
6	0.88	1	0.99	1.02	1.5	1.79	1.71	1.19
7	1.07	1.08	0.99	0.95	1.48	1.91	1.93	1.44
8	1.17	1.08	0.91	0.84	1.32	1.87	2.04	1.62
9	1.21	1.06	0.82	0.74	1.2	1.81	2.05	1.68
10	1.18	0.96	0.69	0.61	1.05	1.72	1.99	1.71
11	1.02	0.8	0.54	0.46	0.87	1.45	1.65	1.51
12	0.82	0.9	1.09	1.2	1.06	0.83	0.72	0.73
13	1.05	0.96	0.92	0.89	1.02	1.09	1.03	0.98
14	1.09	1.19	1.14	1.01	0.95	0.92	0.92	0.93
15	1.1	1.11	1.16	1.23	1.18	1.03	0.96	0.98
16	0.98	1.1	1.23	1.25	1.16	0.95	0.8	0.72
17	1.1	1.16	1.24	1.32	1.31	1.1	0.99	0.99
18	0.94	0.84	0.88	0.99	1.11	1.09	1.06	1.03
19	1.06	1.22	1.41	1.18	1.24	0.96	0.88	0.93
20	1.15	0.86	0.68	0.76	0.96	1.14	1.23	1.26
21	1.3	1.69	1.9	1.85	1.58	1.09	0.95	0.91
22	1.31	1.62	2.31	2.34	1.99	1.24	1.03	0.91
23	1.87	2.39	3.49	3.6	2.78	1.6	1.45	1.39
24	2.35	3.1	3.52	3.19	2.36	1.31	1.35	1.57
25	2.41	3.21	4.02	4.31	3.41	1.96	1.68	1.59
26	3.04	3.82	4.87	4.53	3.41	1.89	1.81	2.17
27	3.14	4.04	4.93	4.52	3.36	1.7	1.75	2.05
28	3.28	4.2	4.55	4.16	3.02	1.44	1.48	1.9
29	0.4	0.47	0.5	0.41	0.3	0.29	0.28	0.28
30	0.63	0.58	0.45	0.33	0.33	0.33	0.34	0.51

При скорости ветра 15 м/с в точках 25, 26, 27, 28 максимальная высота волны превышает 2-метровый уровень при З, ЮЗ, Ю, ЮВ, В направлениях ветра, а в точках 1, 2 и 3 при СВ, С, СЗ ветрах. Превышение 3,5-метровой отметки получено только в точках 26, 27 и 28 при Ю ветре.

Сопоставление полученных данных с данными натурных наблюдений показало хорошую сопоставимость. Таким образом, результаты моделирования можно использовать для анализа опасных сгонно-нагонных явлений и процессов.

Выводы. Использование для расчетов максимальных высот волн в характерных точках Кер-

ченского пролива совместной численной модели ADCIRC + SWAN позволяет получить вполне реалистичные значения ветрового волнения, сопоставимые с натурными данными измерений.

Величины максимальных высот волн в Керченском проливе зависят от скорости и направления ветра. Так, при скорости ветра 15 м/с превышение 3,5-метровой отметки получено только при ветре Ю направления в 3 точках южной части пролива (точки 26, 27 и 28). При ветре 17.5 м/с рассчитанная максимальная высота волны была больше 4-метровой отметки в точках южной части пролива (точки 25–28) при Ю и ЮВ ветре.

Список литературы:

1. Dietrich J.C., Zijlema M., Westerink J.J. et al. Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations // *Coast. Engineer.* – 2011. – 58, 1. – P. 45–65. – doi:10.1016/j.coastaleng.2010.08.001
2. Luettich R.A., Westerink J.J. Formulation and Numerical Implementation of the 2D/3D ADCIRC Finite Element Model Version 44.XX. – 2004. – URL: http://www.unc.edu/ims/adcirc/publications/2004/2004_Luettich.pdf.
3. Luettich Jr. R.A., Westerink J.J., Scheffner N.W. ADCIRC: an advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts, and estuaries, report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL. Dredging research program technical report DRP-92-6. – Vicksburg: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1992. – 137 p. – URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA261608>.
4. Zijlema M. Computation of wind-wave spectra in coastal waters with SWAN on unstructured grids. – *Coastal Engineering*, 2010, vol. 57, No. 3, pp. 267–277.

THE MAXIMUM HEIGHT OF WAVES IN CHARACTERISTIC POINTS OF THE KERCH STRAIT FOR VARIOUS SPEEDS AND WIND DIRECTIONS

A.A. Polozok^{1,2}, V.V. Fomin^{1,2}, I.N. Fomina²

¹Federal State Budget Scientific Institution «Marine Hydrophysical Institute of RAS», Sevastopol, Russia

²Sevastopol branch of the Federal State Institution «State Oceanographic Institute of N.N. Zubova», Sevastopol, Russia
polozok.umi@gmail.com

Abstract. With the help of mathematical modeling the calculation of the maximum wave heights in the characteristic points of the Kerch Strait for 8 wind directions and wind speeds of 15 and 17.5 m/s is carried out. For the calculations a joint numerical model ADCIRC + SWAN was used, combining two models: the Advanced Circulation Model for Shelves Coasts and Estuaries (ADCIRC) and Simulation Waves Nearshore (SWAN). These models are widely used to calculate storm surges and wind waves, respectively. To obtain model data for maximum wave heights the wind of a given direction acted for 24 hours, while in the first 6 hours it gradually increased from 0 to 15 (or 17.5 m/s) and then blew unchanged for 18 hours. For the numerical simulation an unstructured grid with the largest size of the sides of the nodes in the deep water and the smallest dimensions of the sides at shallow depths of the sea was used. It is established that at each wind speed the highest values of wave heights are recorded in the southern part of the Strait with winds of the southern and south-eastern directions. Increasing the wind speed by 2.5 m/s gives a significant, but not extreme increase in the values of maximum wave heights in the Kerch Strait.

Keywords: wave heights, Kerch Strait, mathematical modeling, ADCIRC, SWAN

References:

1. Dietrich J.C., Zijlema M., Westerink J.J. *et al.* Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations // *Coast. Engineer.* – 2011. – 58, 1. – P. 45–65. – doi:10.1016/j.coastaleng.2010.08.001
2. Luettich R.A., Westerink J.J. Formulation and Numerical Implementation of the 2D/3D ADCIRC Finite Element Model Version 44.XX. – 2004. – URL: http://www.unc.edu/ims/adcirc/publications/2004/2004_Luettich.pdf.
3. Luettich Jr. R.A., Westerink J.J., Scheffner N.W. ADCIRC: an advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts, and estuaries, report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL. Dredging research program technical report DRP-92-6. – Vicksburg: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1992. – 137 p. – URL: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA261608>.
4. Zijlema M. Computation of wind-wave spectra in coastal waters with SWAN on unstructured grids. – *Coastal Engineering*, 2010, vol. 57, No. 3, pp. 267–277.