

УДК 551.466.327

Р.В. ШАМИН, К.И. КУЗНЕЦОВ

Об оценке опасности аномальных поверхностных волн

Рассматриваются аномально большие поверхностные волны в океане. Приведены результаты вычислительных экспериментов для оценки коэффициентов концентрации энергии и импульса этих волн. Полученные результаты могут быть использованы для оценки риска опасного воздействия волн-убийц.

Ключевые слова: поверхностные волны, волны-убийцы, морская зыбь.

About danger assessment of abnormal surface waves. R.V. SHAMIN, K.I. KUZNETSOV (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

Abnormal ocean surface waves are studied. Results of computing experiments for assessment of energy concentration factors and impulse of these waves are given. Obtained results can be used for estimating the risk of dangerous effects of rogue waves.

Key words: surface waves, rogue waves, sea swell.

В последнее время внимание океанологов привлекают экстремально большие поверхностные волны, получившие грозное название – волны-убийцы. Основанием для такого названия послужили многочисленные опасные инциденты, связанные с этими волнами [8].

Физическая основа феномена волн-убийц состоит в локальной концентрации энергии и импульса в одной из двух волн, что является следствием нелинейной динамики распространения поверхностных волн идеальной жидкости. Между тем единой причины возникновения таких волн до сих пор не установлено (см. [7]).

В настоящей работе мы рассмотрим вопросы, связанные с оценкой опасности воздействия волн-убийц на морские сооружения и корабли. Вопрос воздействия поверхностных волн на корпус судов относится к классической проблеме судостроения. Многие строительные нормы и правила при расчете нагрузки под воздействием поверхностных волн исходят из заданных параметров волнения. В то же время аномально большие поверхностные волны могут иметь энергию и импульс во много раз большие средних значений этих параметров. Значит, должна быть оценена опасность от воздействия таких волн.

При исследовании процессов концентрации энергии при образовании волн-убийц мы используем результаты вычислительных экспериментов по моделированию этих волн на основе нелинейных уравнений гидродинамики. Эксперименты позволили оценить вероятность возникновения экстремальных поверхностных волн в океане, а также получить количественные картины процессов образования волн-убийц.

*ШАМИН Роман Вячеславович – доктор физико-математических наук, заместитель директора, КУЗНЕЦОВ Константин Игоревич – младший научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск). *E-mail: roman@shamin.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 12-05-33046_мол_а_вед, стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам СП-1763.2013.5, а также при поддержке гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (Договор № 11.G34.31.0035 от 25 ноября 2010 между Минобрнауки РФ, НГУ и ведущим ученым).

Концентрация динамических характеристик

В работах [3, 4] описаны вычислительные эксперименты по моделированию морского волнения на основе точных уравнений гидродинамики, в результате которых было обнаружено возникновение аномально больших поверхностных волн. Численные расчеты производились на основе уравнений в конформных переменных, которые успешно используются во многих работах по изучению волн-убийц [6, 9, 10]. В названных экспериментах численно решались уравнения в форме, полученной А.И. Дьяченко [2]. Математические вопросы разрешимости этих уравнений и численных методов рассматривались в работах Р.В. Шамина [5, 9]. Наиболее характерными условиями для образования волн-убийц являются длинные волны морской зыби с примерными параметрами: средняя высота волн – 4–6 м, длина – 250 м, период – 10–12 с. Заметим, что в районе Охотского моря такая зыбь бывает нередко [1]. Также отметим, что именно волны-убийцы, формирующиеся при распространении длинной зыби, несут большую опасность, поскольку имеют достаточно большую энергетику и, будучи плоскими волнами, проходят значительную площадь в океане. В то же время возникновение экстремальных волн во время зыби является неожиданным для морских судов, что увеличивает риск опасного воздействия этих волн.

Как уже было отмечено, наиболее опасны именно плоские длинные волны. Поэтому будем рассматривать динамику плоских волн, описывая их геометрию с помощью плоско-го профиля:

$$y = y(t, x),$$

где t есть время, x – горизонтальная координата вдоль распространения волн, y – вертикальная координата. Предполагая профиль волн достаточно гладким, будем считать, что отдельные волны разделены локальными минимумами. Таким образом, в нашем эксперименте мы рассматриваем N -число отдельных волн. Для каждой отдельной волны мы вычислили различные динамические характеристики, такие как энергия, импульс, а также геометрические – кривизна, крутизна и др.

Приведем формулы для расчета коэффициента концентрации. Рассматривая N отдельных волн, получаем соответствующий набор значений характеристик:

$$A_1, A_2, \dots, A_N.$$

Коэффициенты концентрации вычисляются по формуле:

$$K_i = \frac{N |A_i|}{\sigma},$$

где $\sigma = |A_1| + |A_2| + \dots + |A_N|$.

Значение $K_{\max} = \max_i K_i$ означает максимальную концентрацию рассматриваемой характеристики A .

Результаты численных расчетов

С точки зрения оценки опасного воздействия экстремальных поверхностных волн большое значение имеет величина максимальной концентрации динамических характеристик. Проведенные нами серии вычислительных экспериментов позволяют оценить максимальную концентрацию этих характеристик. Рассмотрим типичный пример волны-убийцы, которая была зарегистрирована в наших экспериментах. Профиль этой волны приведен на рис. 1.

Очевидно, что волна-убийца должна обладать большей энергией и импульсом, чем окрестные волны. На рис. 2 приведены графики концентрации энергии и импульса волны в

начальный момент, когда еще не было волны-убийцы, и в момент ее возникновения. Для удобства последовательность E_i -значений энергии для каждой волны обозначим по возрастанию.

На рис. 2а показано, что концентрация энергии в самой большой волне сильно – почти на порядок – превосходит это значение для других волн. Видно также, что в основном концентрация происходит только в нескольких максимальных волнах.

Для оценки воздействия волны-убийцы на плавающие или неподвижные объекты в море необходимо оценить концентрацию импульса при образовании максимальных волн. На рис. 2б мы видим концентрацию импульса в момент образования волны-убийцы, но меньшую, чем концентрация энергии.

Таким образом, в статье рассмотрены вопросы концентрации энергии и импульса волн при формировании аномально больших поверхностных волн – волн-убийц. Показано, что коэффициенты концентрации энергии могут достигать больших значений, что в свою очередь означает, что волна-убийца может обладать энергией почти на порядок большей, чем средняя энергия волн.

Значительная концентрация энергии позволяет подтвердить вывод о большой опасности волн-убийц для морских сооружений и кораблей.

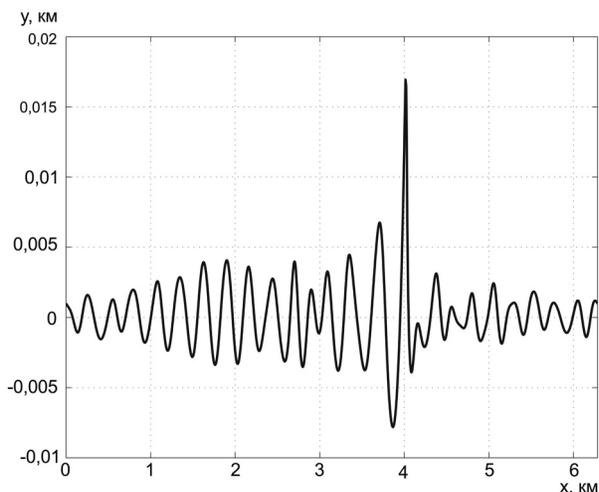


Рис. 1. Профиль волны-убийцы

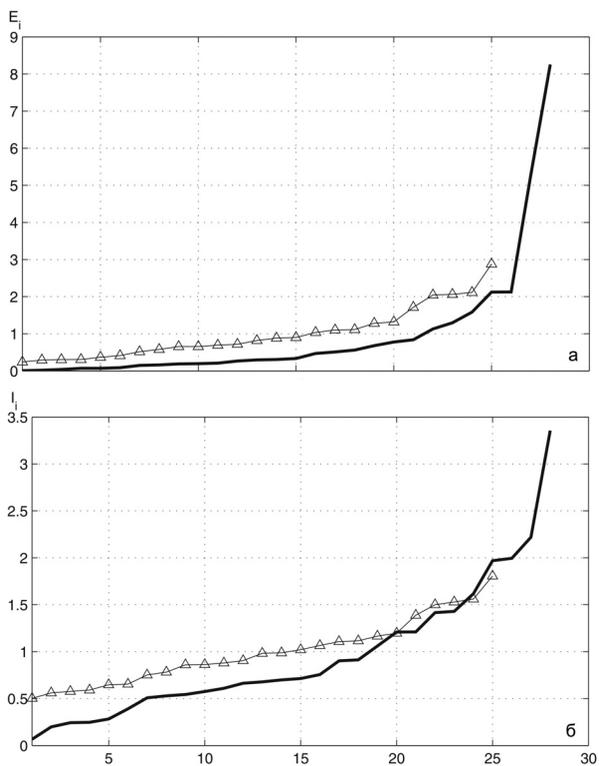


Рис. 2. Концентрация энергии (а) и импульса (б) волны-убийцы. Отмеченная треугольниками линия – в начальный момент, сплошная – в момент образования

Авторы благодарны академику В.Е. Захарову за постоянное внимание к работе, а также А.В. Юдину и А.И. Смирновой за помощь в проведении вычислительных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ветер и волны в океанах и морях: справ. данные / под ред. И.Н. Давидана, Л.И. Лопатухина, В.А. Рожкова. Л.: Транспорт, 1974. 359 с.
2. Дьяченко А.И. О динамике идеальной жидкости со свободной поверхностью // ДАН. 2001. Т. 376, № 1. С. 27–29.
3. Захаров В.Е., Шамин Р.В. О вероятности возникновения волн-убийц // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т. 91, вып. 2. С. 68–71.
4. Захаров В.Е., Шамин Р.В. Статистика волн-убийц в вычислительных экспериментах // Письма в ЖЭТФ. 2012. Т. 96, вып. 1. С. 68–71.
5. Шамин Р.В. Вычислительные эксперименты в моделировании поверхностных волн в океане. М.: Наука, 2008. 136 с.
6. Chalikov D. Freak waves: Their occurrence and probability // Phys. Fluids. 2009. Vol. 21, iss. 7. P. 076602-1–076602-18.
7. Kharif C., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue Waves in the Ocean. Berlin; Heidelberg: Springer, 2009. 216 p.
8. Nikolkina I., Didenkulova I. Rogue waves in 2006–2010 // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. Vol. 11. P. 2913–2924. DOI: 10.5194/nhess-11-2913-2011.
9. Shamin R.V. Dynamics of an ideal liquid with a free surface in conformal variables // J. Math. Sci. 2009. Vol. 160. P. 537–678. DOI: 10.1007/s10958-009-9520-1.
10. Zakharov V.E., Dyachenko A.I., Shamin R.V. How probability for freak wave formation can be found // Eur. Phys. J. – Special Topics. 2010. Vol. 185. P. 113–124. DOI: 10.1140/epjst/e2010-01242-y.