



УДК 656.6

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ, ПОКРЫТОЙ ЛОМАНЫМ ЛЬДОМ

Ермаков Станислав Александрович, д.ф.-м.н., заведующий отделом радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, заведующий кафедрой ГТК и ЭБС ФГБОУ ВО «ВГУВТ», профессор

Лазарева Татьяна Николаевна, ведущий программист отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

Лещев Георгий Владимирович, инженер отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН, старший научный сотрудник кафедры ГТК и ЭБС ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Вострякова Дарья Васильевна, старший лаборант-исследователь отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 20-05-00561), Русского географического общества (Проект “Экспедиция “Плавучий университет Волжского бассейна” № 07-2020-Р).

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторных и натурных экспериментов по исследованию затухания волн на поверхности воды из-за наличия на ней имитаторов льдин. В лабораторном эксперименте получены зависимости коэффициента затухания от площади покрытия льдинами водной поверхности при различных длинах поверхностных волн и размерах льдин. В натурном эксперименте получены значения коэффициента затухания на квазипериодических и на ветровых волнах. Полученное затухание волн на льдинах сопоставимо или больше затухания волн из-за пленок поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: поверхностные волны, гашение волн, краевая зона льда, льдины

Исследование ветровых волн, распространяющихся вблизи льда на начальных этапах его образования является актуальной задачей для обнаружения льда со спутников, картирования границ ледовых зон и их динамики [1]. Поверхностные ветровые волны влияют на образование и динамику льда, например, на дрейф и разрушение льдин. С другой стороны, фрагментированный лед воздействует на поверхностные волны аналогично очень вязкой жидкости, приводя к затуханию волн. В настоящее время, однако, неясно, как это затухание зависит от размеров льдин, их относительной площади, режима движения льдин, соударений, трения и т. д. Настоящее исследование направлено на моделирование и исследование процесса затухания поверхностных волн разной длины, вызванного имитаторами льдин разного размера.

В лабораторных экспериментах измерения коэффициента затухания волн при наличии «льдин», проводились методом параметрически возбуждаемых волн [2]. Метод основан на измерении порогового ускорения, необходимого для параметрического возбуждения стоячих гравитационно-капиллярных волн (ГКВ), в вертикально колеблющемся контейнере. Прямоугольный контейнер наполнялся дистиллированной водой, для того чтобы исключить влияние пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ) на затухание волн, и устанавливался на вибростенде, при этом параметрически генерировались поверхностные ГКВ заданных частот. По величине порогового ускорения, необходимого для параметрического возбуждения ГКВ, восстанавливалось значение коэффициента затухания. Льдины имитировались тонкими губками из целлюлозы. Их количество в экспериментах менялось, что позволило получить зависимость коэффициента затухания от относительной площади покрытия. Размеры «льдин» были того же порядка, что генерируемые длины волн.

В результате было получено, что значения коэффициента затухания в диапазоне выбранных частот (от 8,8 Гц до 11,8 Гц) приблизительно совпадают. Однако с увеличением площади «ледяного» покрытия волны затухают сильнее. Сравнивая затухание ГКВ при наличии льдин с затуханием волн за счет нерастяжимой пленки [3], было обнаружено, что значения последнего могут быть на один-два порядка меньше затуханий за счет «льдин».

Натурные эксперименты проводились на Горьковском водохранилище с использованием исследовательского судна-тримарана ИПФ РАН «Геофизик». В качестве имитаторов льдин использовались прямоугольные куски фанеры толщиной 15 мм с горизонтальными размерами около 20x30 см. Плотность фанеры близка к плотности льда, поэтому куски такого материала можно считать хорошими имитаторами льдин. Соединённые между собой бечевкой «льдины» помещались между двумя баллонами тримарана. На носу и корме тримарана (до области, занятой «льдинами», и после нее) устанавливались волнографы, с помощью которых фиксировалась амплитуда волн. Рассматривалось затухание поверхностных волн на ветровом волнении, а так же на волнении, вызванных вертикально осциллирующим моторным катером.

Было получено, даже при неплотном расположении фанерных «льдин» коэффициент затухания волн увеличивается. Расстояние, на котором затухают механически возбуждаемые волны в присутствии льдин, составляет примерно 7 длин волн, что говорит о большем подавлении волн за счет льдин, по сравнению, например, с вязким затуханием волн на чистой или загрязненной водной поверхности. Следует отметить, что значения затухания даже при отсутствии «льдин» превышают их теоретические значения для чистой неограниченной водной поверхности.

Измеренный коэффициент затухания ветровых волн в присутствии «льдин» согласуется с коэффициентом затуханием механически возбуждаемых волн. Однако это затухание оказалось достаточно близким к затуханию волн и при отсутствии «льдин», что предположительно связано с влиянием корпуса катамарана на распространение волн.

Как показали исследования, затухание волн на льдинах, полученное как в натурных, так и в лабораторных экспериментах, может быть сопоставимо или больше

затухания волн из-за пленок ПАВ. Что касается относительно слабого превышения величин коэффициента затухания ветрового волнения на «льдинах» по сравнению с затуханием «чистой воды», то для выяснения причин данного эффекта требуется проведение дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Wadhams P, and Holt B. J. Waves in Frazil and Pancake Ice and Their Detection in Seas at Synthetic Aperture Radar Imagery // J. Geophys. Res., - 1991-96(C5), - Pp 8836-8852.
<https://doi.org/10.1029/91JC00457>
2. Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн // Н. Новгород: ИПФ РАН - 2010. 164 с.
3. Laboratory study of the damping of parametric ripples due to surfactant films, In: Gade M, Hühnerfuss H, Korenowski GM Marine surface films / Ermakov S.A., Kijashko S.V. // Springer, New York, - 2006. - Pp.113-128.

EXPERIMENTAL STUDY OF WAVE DAMPING DUE TO BROKEN ICE ON THE WATER SURFACE

Stanislav A. Ermakov, Tatiana N. Lazareva, Georgy V. Leshchev, Ivan A. Kapustin,
Daria V. Vostryakova

Abstract. In this paper, we present the results of laboratory and field experiments on the study of attenuation of surface waves due to ice floe simulators on the water surface. In the laboratory experiment, we obtained dependences of the attenuation coefficient on floe coverage area at different wavelength and "ice floe" sizes. In the field experiment, we obtained the values of the damping coefficient for quasi periodic and for wind waves. The resulting attenuation of waves on the ice floes is comparable to or greater than the attenuation of waves, for example, due to crude oil films.

Keywords: surface waves, wave damping, marginal ice zone, ice floes.