

УДК 539.3

В. М. Козин, В. Л. Земляк, Н. О. Баурин, К. И. Ипатов**СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
СУДНОМ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ**

Способ разрушения ледяного покрова осуществляется судном на воздушной подушке при его движении по льду с резонансной скоростью. При этом после возбуждения во льду резонансных изгибно-гравитационных волн судно в пределах перемещающейся за ним с резонансной скоростью первой впадины волн сообщают дополнительные периодические возвратно-поступательные перемещения в направлении его движения с частотой резонансных изгибно-гравитационных волн.

Ключевые слова: судно на воздушной подушке, лёд, резонансная скорость, изгибно-гравитационные волны.

Для разрушения ледяного покрова резонансным методом, т.е. путём возбуждения во льду резонансных изгибно-гравитационных волн (ИГВ), могут быть использованы суда на воздушной подушке (СВП) [1]. Амплитуда ИГВ, возбуждаемых при движении СВП, которая зависит от физико-механических свойств льда и ледовых условий, в которых перемещается судно 2, может оказаться недостаточной для разрушения ледяного покрова 1. Известно, что если на волновую систему подействовать периодическими возмущениями, равными её собственной частоте, то в результате интерференции колебаний произойдет увеличение амплитуды волн основной системы. Таким образом, если после возбуждения системы резонансных изгибно-гравитационных волн 3 к ледяному покрову 1 приложить дополнительную периодическую нагрузку с частотой, равной частоте резонансных ИГВ ω_p , то амплитуда и, соответственно, ледо-

Козин Виктор Михайлович — доктор технических наук, профессор (Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН, Комсомольск-на-Амуре); e-mail: vellkom@list.ru.

Земляк Виталий Леонидович — кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

Баурин Никита Олегович — аспирант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

Ипатов Константин Игоревич — аспирант (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: lpatov-1992@list.ru.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации в период 2017—2019 гг. Проект № 9.4934.2017/БЧ.

© Козин В. М., Земляк В. Л., Баурин Н. О., Ипатов К. И., 2018

разрушающая способность волн возрастёт. Значение ω_p определяется по зависимости [13]:

$$\omega_p = gH \sqrt{\frac{\rho_L h}{D}},$$

где g – ускорение свободного падения; H – глубина водоёма; ρ_L – плотность льда, h – толщина льда; D – цилиндрическая жёсткость ледяной пластины.

Максимальные деформации, а значит, и изгибные напряжения в льду возникают в месте возникновения первой за нагрузкой впадины ИГВ ($AB = \lambda_p/2$). Следовательно, для эффективного увеличения амплитуды резонансных ИГВ 4 дополнительную периодическую нагрузку необходимо прикладывать под впадиной ИГВ, для этого СВП может выполнять возвратно-поступательные движения с частотой ω_p . Увеличения максимального волнового сопротивления R_w СВП в точках перегиба профиля ИГВ можно добиться путём создания максимального дифферента у судна и максимальных центробежных сил $R_{ц}$ на подошве ИГВ (точка С). В результате возникнут благоприятные условия для увеличения амплитуды ИГВ 5 [5] (рис. 1).

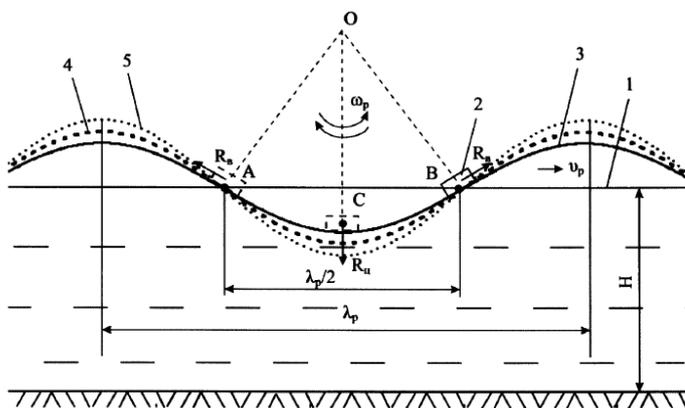


Рис. 1. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2601517)

Возникновение в точках перегиба профиля ИГВ (А и В) максимального волнового сопротивления R_w , за счёт сложения создаваемого δ_ϕ и от угла волнового склона профиля ИГВ ϕ дифферентов судна, а также максимальной центробежной силы $R_{ц}$ в точке С, также может привести к суммарному периодическому возрастанию ИГВ 5 [10] (рис. 2).

Для увеличения амплитуды изгибно-гравитационных волн скорость СВП снижают, что обеспечит подкачку дополнительной энергии в систему лёд-вода.

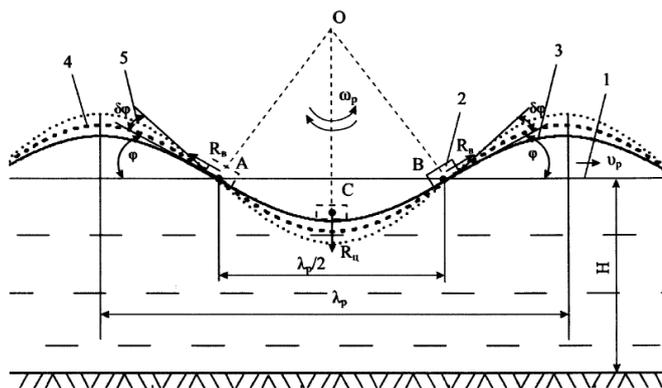


Рис. 2. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2601547)

В результате судно будет скатываться на подошву ИГВ, а его дифференциал станет равным нулю. После скорость СВП увеличивают, и за счёт этого оно вновь перемещается в точку перегиба профиля ИГВ. Перемещение судна осуществляют в пределах четверти длины ИГВ ($AB = \lambda_p/4$) (рис. 3). СВП будет вновь испытывать волновое сопротивление, возрастающее до максимума, имея в точке перегиба максимальный дифференциал. В результате будет возникать дополнительная система резонансных ИГВ, а интенсивность разрушения льда возрастёт [9].

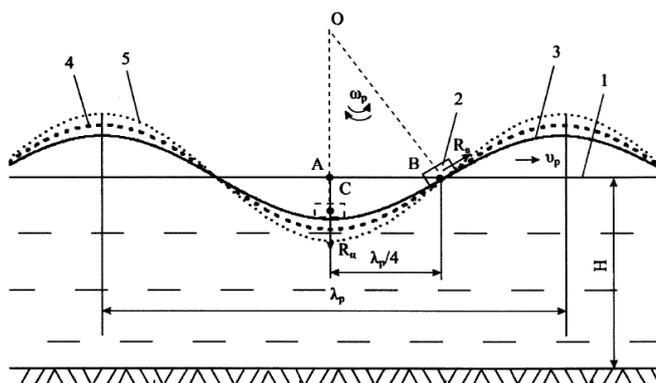


Рис. 3. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2601546)

Также из работы [2] известно, что при проведении модельных и натурных экспериментов при движении СВП по криволинейной траектории за счёт интерференции установившихся и неустойчивых ИГВ разрушался более толстый лёд, чем при стационарном движении. Для увеличения эффективности ледоразрушения судно в пределах впадины

ИГВ начинают перемещать по криволинейной траектории (АДВ и АЕВ). В результате интерференции волн амплитуда суммарных ИГВ 5 и их ледоразрушающая способность возрастут (рис. 4) [4].

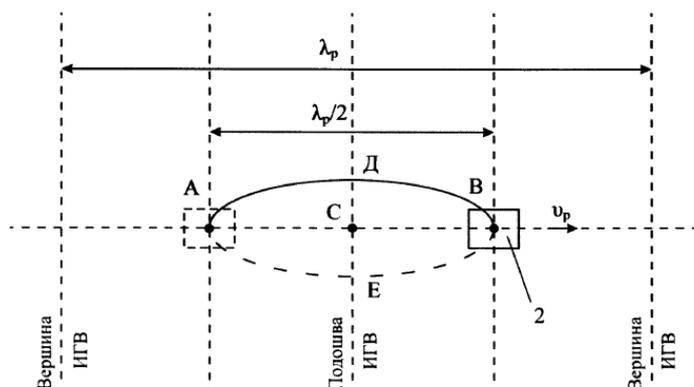


Рис. 4. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2589190)

Если увеличить ширину судна, сохранив его остальные параметры неизменными (водоизмещение, давление в воздушной подушке, мощность силовой установки и др.), то волновое сопротивление СВП при его движении на чистой воде возрастает [3]. Из работы [13] следует, что при движении нагрузки по льду в последнем возникает система ИГВ, близкая к корабельной, т. е. гравитационным волнам, что позволяет сделать вывод об общей закономерности возбуждения волн движущейся нагрузкой как на чистой воде, так и при наличии на её поверхности флотирующей ледяной пластины. Тогда уменьшение удлинения судна (разворот его на 90°) увеличит амплитуду ИГВ, т. е. их ледоразрушающую способность [6].

Также очевидно, что при вращении прямоугольной в плане нагрузки (СВП), т. е. отличной от круговой, вокруг вертикальной оси на поверхности жидкости или во флотирующей пластине возникнут волновые колебания. Если частота вращения судна совпадет с ω_p , то в ледяном покрове также возникнет система резонансных ИГВ [7].

Если ледоразрушающая способность ИГВ недостаточна для разрушения ледяного покрова, то одновременно с вышеописанным маневрированием в момент повторного прохождения судном подошвы ИГВ, т. е. места максимального прогиба ледяного покрова, корпусом создают вертикальные удары по льду. Для этого вентиляторный комплекс отключают на время, достаточное для резкого опускания СВП на лёд, т. е. создания удара, а затем вновь включают. Выполнение этой операции при повторном прохождении судном подошвы ИГВ обеспечит периодичность этих ударов с частотой резонансных ИГВ. В результате возникает ещё

одна система резонансных ИГВ, её наложение (интерференция) на ранее возбуждённую волновую систему приведёт к дополнительному увеличению суммарных амплитуд ИГВ и, соответственно, их ледоразрушающей способности [8]. Подобный эффект обеспечивается и путём изменения давления в воздушной подушке судна, например, за счёт управления режимом работы вентиляторного, т. е. подъёмного, комплекса СВП с частотой ω_p [11] (рис. 5).

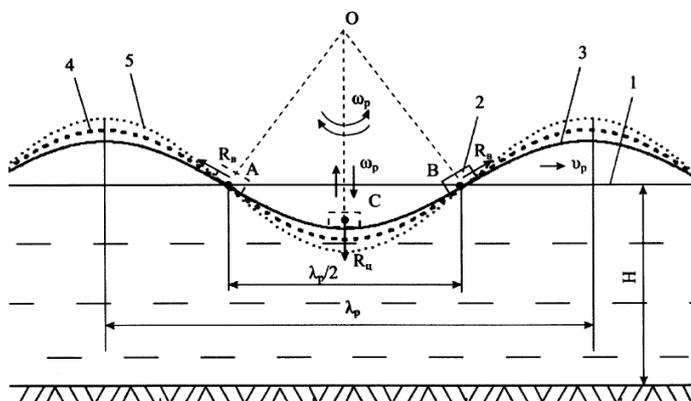


Рис. 5. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2603287)

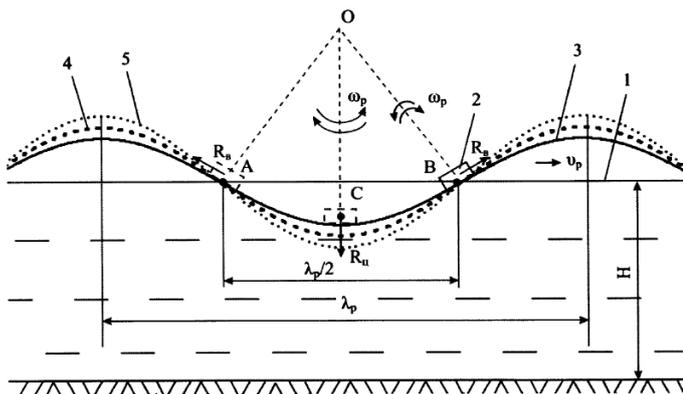


Рис. 6. Способ разрушения ледяного покрова
(патент на изобретение РФ № 2603422)

Ледоразрушающую способность ИГВ можно увеличить, сообщив с помощью горизонтальных рулей продольную (килевую) качку судну с частотой ω_p . В результате возникнет ещё одна система резонансных ИГВ. При продольной качке судна она будет более интенсивной в направлении его движения, т. е. распространения ИГВ с большей ледораз-

рушающей способностью [12]. Интерференция систем резонансных ИГВ увеличит толщину разрушаемого ледяного покрова (рис. 6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин В. М. Резонансный метод разрушения ледяного покрова. Изобретения и эксперименты. М.: Академия Естествознания, 2007. 355 с.
2. Козин В. М., Земляк В. Л. Физические основы разрушения ледяного покрова резонансным методом. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН; ПГУ им. Шолом-Алейхема; АмГПГУ. 2013. 250 с.
3. Основы теории судов на воздушной подушке / Ю. Ю. Бенуа, В. К. Дьяченко, Б. А. Кользаев [и др.]. Ленинград: Судостроение, 1970. 455 с.
4. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2589190 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129956/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.07.2016. Бюл. № 19. 5 с.
5. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601517 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129902/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
6. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601543 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129824/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
7. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601544 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129826/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
8. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601545 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129828/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
9. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601546 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129901/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
10. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2601547 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129953/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.11.2016. Бюл. № 31. 5 с.
11. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2603287 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129898/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 27.11.2016. Бюл. № 33. 5 с.
12. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2603422 РФ: МПК В63В 35/08, В63В 35/10, Е02В 15/02, В60V 3/60 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. А. Матюшина [и др.]. № 2015129896/11; заявл. 20.07.2015; опубл. 27.11.2016. Бюл. № 33. 5 с.
13. Хейсин Д. Е. Динамика ледяного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 216 с.

* * *

Kozin Victor M., Zemliak Vitaly L., Baurin Nikita O., Ipatov Konstantin I.
METHOD OF BREAKING ICE COVER BY AIR-CUSHION SHIP

¹Institute of Machining and Metallurgy, FEB RAS, Komsomolsk-on-Amur;

^{2,3,4}Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan)

Method of ice breaking is performed by air-cushion ship during its movement over ice with resonance speed. After excitation resonance flexural-gravity waves in ice, to ship within first wave

trough moving behind it with resonance speed are fed periodic reciprocating movements in direction of its movement with resonance frequency of flexural-gravity waves.

Keywords: air-cushion ship, ice, resonance speed, flexural-gravity waves.

REFERENCES

1. Kozin V. M. *Rezonansniy metod razrusheniya ledyanogo pokrova. Izobreteniya i eksperimenty* (Resonance method of destruction of the ice cover. Inventions and experiments), Moscow, Academy of Natural History Publ., 2007. 355 p.
2. Kozin V. M., Zemlyak V. L. *Fizicheskie osnovy razrusheniya ledyanogo pokrova rezonansnym metodom* (Physical Basis for Destruction of Ice Cover using Resonance Method), Komsomolsk-on-Amur, 2013. 250 p.
3. Benoit Yu. Yu., Dyachenko V. K., Kolyzaev B. A. [et al.] *Osnovy teorii sudov na vozduшной podushke* (Fundamentals of the theory of hovercraft), Leningrad, Shipbuilding Publ., 1970. 455 p.
4. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2589190 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. 07/10/2016, Bull. No. 19, 5 p.
5. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601517 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
6. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601543 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
7. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601544 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
8. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601545 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
9. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601546 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
10. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2601547 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. November 10, 2016, Bull. No. 31, 5 p.
11. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2603287 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. 11/27/2016, Bull. No. 33, 5 p.
12. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Matyushina A. A. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2603422 RU, IPC B63B 35/08, B63B 35/10, E02B 15/02, B60V 3/60, publ. 11/27/2016, Bull. No. 33, 5 p.
13. Kheisin D. E. *Dinamika ledyanogo pokrova* (Dynamics of Ice Cover), Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1967. 216 p.

* * *