

УДК 539.3

**В. М. Козин, В. Л. Земляк, А. С. Васильев, С. В. Радионов**

## РАЗРУШЕНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ НАГРУЗКИ

Предложен способ разрушения ледяного покрова, при котором судно на воздушной подушке одновременно с поступательной скоростью в выбранном направлении, равной резонансной, перемещают по синусоидальной траектории. Причём при движении судна по синусоидальной траектории ему обеспечивают крен в сторону центров кривизны траектории.

*Ключевые слова:* судно на воздушной подушке, лёд, резонансный метод.

В настоящее время судно на воздушной подушке (СВП) является самым производительным и высокоэффективным средством разрушения льда на мелководье, для чего может быть использован резонансный метод разрушения ледяного покрова [2]. Разрушение льда СВП на малых глубинах, где не может работать ни одно другое ледокольное судно, может предотвращать заторообразования на реках и разрушительные наводнения. Одним из наиболее существенных достоинств резонансного способа является высокая скорость разрушения льда, что целесообразно использовать для раннего вскрытия рек и водохранилищ. Проводка судов во льдах при использовании этого способа может оказаться также эффективной, если при движении с критической скоростью СВП сделает два-три прохода, разрушая и измельчая лёд перед сравнительно медленно идущими транспортными судами.

Весьма эффективным при разрушении ледяных нагромождений и заторов оказалось и зигзагообразное движение СВП, т. е. движение

---

**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.

**Васильев Алексей Сергеевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры технических дисциплин (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vasil-grunt@mail.ru.

**Радионов Сергей Владимирович** — студент (Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, Биробиджан); e-mail: vellkom@list.ru.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-38-20030).*

© Козин В. М., Земляк В. Л., Васильев А. С., Радионов С. В., 2019

---

примерно по синусоидальной траектории. В 1975 г., ликвидируя угрозу наводнения в районе Монреаля, СВП «Вояджер», двигаясь перпендикулярными галсами, за 7 часов разрушило на мелкие куски ледяной остров  $400 \times 150$  м с толщиной наслоений льда до 5 м. Тем же способом судно за 20 часов разрушило ещё один остров длиной 4,8 км с наслоением льда 2,4 м. Улучшение ледоразрушающих свойств судна при таком маневрировании объясняется благоприятной интерференцией волн [1].

Недостатком данного способа является незначительное увеличение ледоразрушающей способности СВП. Для повышения ледокольных качеств судну при его движении по синусоидальной траектории обеспечивают крен в сторону центров кривизны траектории.

Известно [4], что наличие и возрастание угла дифферента СВП приводит к увеличению волновой составляющей сопротивления. Возрастание амплитуды изгибно-гравитационных волн (ИГВ), возбуждаемых СВП, и, соответственно, их ледоразрушающей способности при наличии у судна дифферента отмечено в экспериментальных исследованиях [3]. Аналогичные явления будут происходить при наличии у СВП крена и его движении боковым дрейфом на циркуляции. Для этого СВП 1 выводят на лёд 2 и начинают перемещать с резонансной скоростью по синусоидальной траектории 4, сохраняя неизменной скорость поступательного движения 3 и обеспечивая крен в сторону центра кривизны траектории (позиция 5, рис. 1). При движении по синусоидальной траектории СВП обеспечивают угол крена  $\theta$  в сторону центров кривизны  $C_1$  (вид А-А рис. 1) и  $C_2$  (вид Б-Б рис. 1) траектории.

Если под вершиной изгибно-гравитационной волны при движении СВП с помощью электрогидравлического водомёта повысить давление воды, то это приведёт к увеличению амплитуды прогиба ледяной поверхности и к большей вероятности разлома ледяного покрова [6]. Недостатком использования электрогидравлического водомёта является сложность его конструкции и низкая эффективность, т. к. работу на разрушение ледяного покрова приходится совершать против сил тяжести льда, т. е. тратить её не только на разрушение, но и на подъём обломков льда.

Известно [8], что наличие под ледяным покровом потока воды уменьшает гидростатическое давление под ним. Тогда, при создании с помощью водомёта под подошвой ИГВ потока воды прогиб ледяного покрова увеличится, т. е. изгибные напряжения возрастут и увеличится толщина разрушаемого льда. Для этого по свободной поверхности воды вдоль кромки ледяного покрова начинают перемещать СВП с резонансной скоростью.

Одновременно с движением нагрузки при помощи водомёта, расположенного в корпусе судна, под максимальной впадиной изгибно-гравитационные волны создают поток воды, что приведёт к понижению давления на ледяной покров со стороны воды и к более эффективному разрушению льда [7].

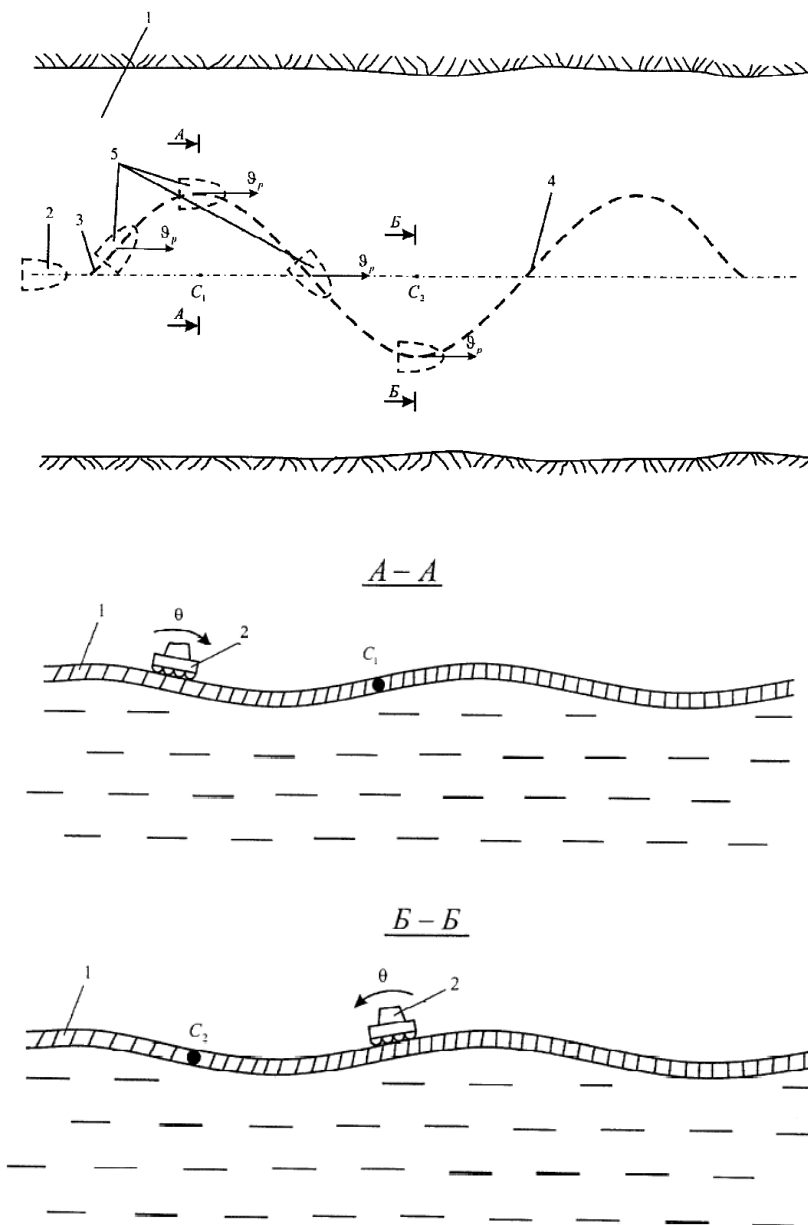


Рис. 1. Способ разрушения ледяного покрова  
(патент на изобретение РФ № 2507104)

Дополнительную периодическую нагрузку можно создать и с помощью гидропушки 6, выстреливающей в направлении движения СВП 2 порции воды с частотой  $\omega$ , равной частоте резонансных изгибно-

гравитационных волн 3 на расстоянии, равном  $\frac{3}{4}$  длины резонансных ИГВ  $\lambda_p$  от места нахождения нагрузки (рис. 2) [5].

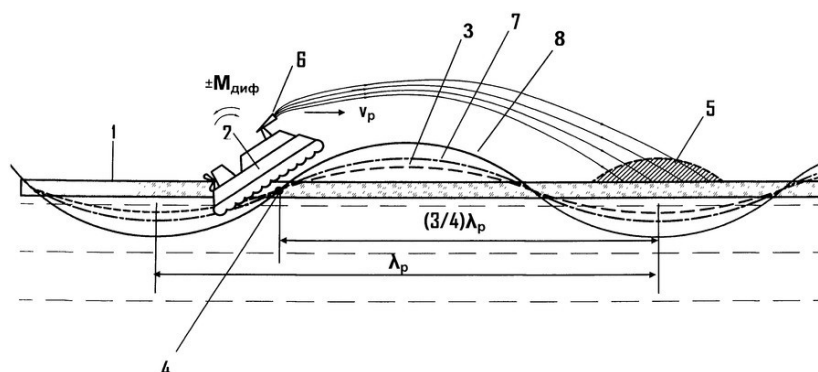


Рис. 2. Способ разрушения ледяного покрова  
(патент на изобретение РФ № 2506194)

Такое расстояние и частота выстрелов обеспечат гидроудары 5 по первой впадине ИГВ, возбуждаемых от движения СВП, центр масс которого должен располагаться над узлом ИГВ 4, что приведёт к возникновению дополнительной системы резонансных ИГВ 7. Их наложение приведёт к благоприятной интерференции – сложению амплитуд 8. Поскольку температура воды выше температуры льда 1, то по впадине ИГВ одновременно также будут наноситься и тепловые удары, ослабляющие прочность льда, а значит, дополнительно увеличивающие суммарную амплитуду ИГВ. Периодичность выстрелов гидропушки приведёт к появлению у судна дополнительного знакопеременного дифферента  $M$ , что также будет способствовать росту амплитуды ИГВ. Массу порции воды выбирают достаточной для создания максимально безопасного дифферента судна на корму, возникающего от выстрела гидропушки при заданной высоте её установки на судне (рис. 2) [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев В. А., Козин В. М. Использование судов на воздушной подушке для разрушения ледяного покрова. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1988. 128 с.
2. Козин В. М. Обоснование исходных данных для выбора основных параметров СВП, предназначенных для разрушения ледяного покрова резонансным способом: дис. ... канд. техн. наук. Горький, 1983. 314 с.
3. Козин В. М. Резонансный метод разрушения ледяного покрова. Изобретения и эксперименты. М.: Академия Естествознания, 2007. 355 с.
4. Основы теории судов на воздушной подушке / Ю. Ю. Бенуа, В. К. Дьяченко, Б. А. Кользаев [и др.]. Л.: Судостроение, 1970. 455 с.
5. Способ разрушения ледяного покрова: патент 2506194 РФ: МПК В63В 35/08, Е02В 15/02 / В. М. Козин, В. Л. Земляк, Л. С. Гринкруг [и др.]. № 2012145912/11; заявл. 26.10.2012; опубл. 10.02.2014. Бюл. № 4. 4 с.

6. Устройство для разрушения ледяного покрова: патент 2245274 РФ: МПК В63В 35/08 / В. М. Козин, А. В. Погорелова. № 2003135468/11; заявл. 04.12.2003; опублик. 27.01.2005. Бюл. № 3. 2 с.
7. Устройство для разрушения ледяного покрова: патент 2457976 РФ: МПК В63В 35/08 / В. М. Козин, А. В. Погорелова, В. Л. Земляк [и др.]. № 2010153802/11; заявл. 27.12.2010; опублик. 10.08.2012. Бюл. № 22. 2 с.
8. Хейсин Д. Е. Динамика ледяного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 216 с.

\* \* \*

**Kozin Victor M., Zemliak Vitaly L., Vasilyev Alexey S., Radionov Sergey V.  
DESTRUCTION OF THE ICE COVER BY THE RESONANT METHOD DURING  
THE CRYVOLINEAR MOTION OF THE LOAD**

<sup>1</sup>Institute of Machining and Metallurgy, FEB RAS, Komsomolsk-on-Amur;  
<sup>2, 3, 4</sup>Sholom-Aleichem Priamursky State University, Birobidzhan

Proposed method comprises displacing air-cushion ship is displaced in selected direction at preset speed and, at a time, in sinusoidal path. Note here that in displacement in sinusoidal path, the craft is tilted to centers of curvature of said path.

**Keywords:** air cushion vehicles, ice, resonant method.

## REFERENCES

1. Zuev V. A., Kozin V. M. *Ispol'zovanie sudov na vozdushnoy podushke dlya razrusheniya ledyanogo pokrova* (The use of hovercraft for the destruction of the ice cover), Vladivostok, DVGU Publ., 1988. 128 p.
2. Kozin V. M. *Obosnovanie iskhodnykh dannykh dlya vybora osnovnykh parametrov SVP, prednaznachennykh dlya razrusheniya ledyanogo pokrova rezonansnym sposobom* (Substantiation of Initial Data for Choosing Basic Parameters for Hovercraft Designed for Breaking Ice Cover by Resonant Method), Gorky, 1983. 314 p.
3. Kozin V. M. *Rezonansnyy metod razrusheniya ledyanogo pokrova. Izobreteniya i eksperimenty* (Resonant method of breaking ice. Inventions and Experiments), Moscow, Akademiya Estestvoznaniya Publ., 2007. 355 p.
4. Benua Yu. Yu., D'yachenko V. K., Kolyzaev B. A. [et al.]. *Osnovy teorii sudov na vozdushnoy podushke* (Fundamentals of the theory of hovercraft), Leningrad, 1970. 455 p.
5. Kozin V. M., Zemlyak V. L., Grinkrug L. S. [et al.]. *Sposob razrusheniya ledyanogo pokrova* (Method of breaking the ice cover), Patent No. 2506194 RU, IPC B63B 35/08, E02B 15/02, publ. 02/10/2014, Bull. No. 4, 4 p.
6. Kozin V. M., Pogorelova A. V. *Ustrojstvo dlya razrusheniya ledyanogo pokrova* (Ice-breaking assembly), Patent No. 2245274 RU, IPC B63B 35/08, publ. 01/27/2005, Bull. No. 3, 2 p.
7. Kozin V. M., Pogorelova A. V., Zemlyak V. L. [et al.]. *Ustrojstvo dlya razrusheniya ledyanogo pokrova* (Ice-breaking assembly), Patent No. 2457976 RU, IPC B63B 35/08, publ. 08/10/2012, Bull. No. 22, 2 p.
8. Kheysin D. E. *Dinamika ledyanogo pokrova* (Dynamics of Ice Cover), Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1967. 216 p.

\* \* \*