

На правах рукописи

ЗЕМЛЯК ВИТАЛИЙ ЛЕОНИДОВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПОДВОДНЫМИ СУДАМИ  
РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ**

01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук



Владивосток – 2011

Работа выполнена в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете и Амурском гуманитарно-педагогическом государственном университете.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Козин Виктор Михайлович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических  
наук, профессор  
Шитикова Марина Вячеславовна

доктор технических наук, профессор  
Беккер Александр Тевьевич

Ведущая организация: Институт гидродинамики  
им. М.А. Лаврентьева  
Сибирского отделения РАН

Защита состоится «08» апреля 2011 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета ДМ005.007.02 в Институте автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН по адресу: 690041, г.Владивосток, ул. Радио, 5, ауд. 510, E-mail: dm00500702@iacp.dvo.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН.

Автореферат разослан «04» марта 2011 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
к.ф.-м.н.



Дудко О.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Расширение районов освоения сырьевых и энергетических ресурсов России значительно повышает роль Северных районов страны и ее арктического шельфа. Для разработки нефте- и газоносных месторождений отечественными проектными организациями в течение ряда лет в рамках конверсионных программ прорабатывается возможность создания подводных транспортных средств для добычи и вывоза углеводородного сырья. Проектируемые подводные суда также могут использоваться для транзита грузов подо льдами Северного Ледовитого океана, т.е. по кратчайшим морским путям между портами Европы и Азии.

Однако современные подводные транспортные технологии не гарантируют безопасной эксплуатации транспортных судов под ледяным покровом. Это обусловлено ограниченной способностью гражданских подводных судов производить аварийное всплытие в паковом льду, что имеет решающее значение в экстремальных ситуациях. Как показывает опыт, продолжительность всплытия традиционным способом без хода, т.е. путем статического нагружения льда снизу, исчисляется десятками минут, тогда как приемлемое время при аварийном всплытии может составлять минуты. Кроме того, такое всплытие может вызвать повреждения корпуса и потерю остойчивости судна, а толщина льда, из-под которого может всплывать современная атомная подводная лодка, не превышает 2 метров.

Повысить ледоразрушающую способность подводных судов можно за счет использования резонансного метода разрушения ледяного покрова. Посредством возбуждения изгибно-гравитационных волн в ледяном покрове можно добиться частичного или полного разрушения льда, что позволит подводным судам всплывать в более толстом льду, чем при традиционном способе разрушения ледяного покрова.

Повысить ледоразрушающую способность изгибно-гравитационных волн можно за счет использования определенных ледовых условий.

Целью работы является определение влияния ледовых условий (продольной раскрытой трещины, разводий различной ширины, подледного течения, заглубления и мелководья) на эффективность резонансного метода разрушения ледяного покрова, реализуемого подводными судами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- на основании численных методов разработаны зависимости и получены решения теоретических задач по оценке деформированного состояния ледяного покрова от движения подводного судна;
- впервые исследовано влияния различных ледовых условий на параметры изгибно-гравитационных волн от движения подводного судна под ледяным покровом;
- получены экспериментальные данные по разрушению изгибно-гравитационными волнами естественного модельного льда, ослабленного продольной раскрытой трещиной и разводами различной ширины.

Достоверность полученных результатов обоснована сопоставлением результатов численных расчетов с данными модельных экспериментов по разрушению естественного ледяного покрова и с использованием неразрушаемой модели льда в опытовом бассейне.

Практическая значимость работы. Численно и экспериментально доказана возможность повышения ледоразрушающей способности изгибно-гравитационных волн при движении подводного судна в определенных ледовых условиях. Полученные модельные и теоретические результаты позволяют разработать рекомендации для повышения эффективности резонансного метода разрушения ледяного покрова подводными судами при необходимости их аварийного всплытия во льдах, используя облегчающие этот процесс ледовые условия.

Результаты, полученные в работе, позволили разработать новый способ разрушения ледяного покрова изгибно-гравитационными волнами от движения подводного судна вдоль свободной кромки льда (патент РФ №2389636).

Разработаны устройства, позволяющие повысить эффективность разрушения ледяного покрова изгибно-гравитационными волнами от движения судна с резонансной скоростью (патенты РФ №2353540, 2353542, 2389635).

Апробация работы. Результаты работы докладывались на:

- Международной научно-практической конференции “Дальневосточная весна 2007”, Комсомольск-на-Амуре, 2007 г.;

– Всероссийской научно-технической конференции “Новые математические модели механики сплошных сред: построение и изучение”, Новосибирск, 2009 г.;

– Международной конференции “International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE)”, Пекин, 2010 г.;

– XXXV Дальневосточной школе-семинаре им. академика Е.В. Золотова, Владивосток, 2010 г.

Работа в целом докладывалась на заседании кафедры механики и анализа конструкций и процессов Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета и на XXXV Дальневосточной школе-семинаре им. академика Е.В. Золотова.

*Публикации по работе.* По теме диссертации опубликовано 14 работ.

*Структура и объем работы.* Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы (124 наименования). Объем работы – 142 страницы, в том числе 101 рисунок, 5 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, ее научное и практическое значение, сформулированы цель и задачи исследований и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен аналитический обзор литературы по теме исследования. Современное представление о деформировании и разрушении ледяного покрова ИГВ от действия различных нагрузок получено на основе теоретических и экспериментальных работ отечественных и зарубежных ученых: Брегмана Г.Р., Букатова А.Е., Гаврило В.Л., Голушкевича С.С., Зубова Н.Н., Зуева В.А., Иванова К.Е., Кашкина Н.Н., Козина В.М., Песчанского И.С., Ткачевой Л.А., Стуровой И.В., Сытинского А.Д., Хейсина Д.Е., Черкесова Л.В., Андерсена Д.Л., Крэри, Керра А.Д., Пресса Ф., Робина Г., Сквайера В.А., Такизавы Т., Ханкинса К., Хаскинга Р.Д., Чанга М.С., Юинга М. Проанализированы тенденции использования подводных транспортных судов для транспортировки грузов по Северному морскому пути и проблемы безопасности подледного плавания.

Во второй главе на основании численных методов получены решения теоретических задач по оценке деформированного состояния ледяного покрова различной толщины при наличии в нем свободных кромок.

Уравнение деформаций вязко-упругой однородной пластины (ледяного покрова) под действием динамической нагрузки принято в виде

$$D\nabla^4 w + D\tau\nabla^4 \dot{w} + \beta\dot{w} + \rho_s h\ddot{w} = p, \quad (1)$$

где  $w, \dot{w}, \ddot{w}$  – соответственно функции прогиба, нормальной скорости и нормального ускорения пластины, зависящие от координат поверхности пластины  $x, y$  и от времени  $t$ ;  $D = Eh^3/(12(1-\nu^2))$  – цилиндрическая жёсткость;  $E$  – модуль упругости;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\rho_s$  – плотность материала пластины;  $\tau$  – время релаксации деформаций;  $\beta$  – коэффициент вязкого сопротивления;  $h$  – толщина пластины;  $p$  – поле давлений, которое формируется от движения подводного судна.

Так как при изгибе льда перемещения, скорости и ускорения являются малыми по сравнению с соответствующими размерами подводного объекта и его параметрами движения, использована линейная постановка задачи гидроупругости. Жидкость полагается идеальной, несжимаемой. Граничные условия на пластине снесены на её недеформированную поверхность, а гидродинамическая нагрузка определялась в виде

$$p = p_o + p_{st} + p_w, \quad (2)$$

где  $p_o$  – давление на поверхность льда как на твёрдую стенку от движения ПС;  $p_{st} = -\rho_w g w$  – гидростатическая реакция жидкости на изгиб пластины;  $\rho_w$  – плотность жидкости;  $g$  – гравитационная постоянная. Интенсивность сил инерции жидкости от изгиба пластины в предположении малости скоростей деформации определялась из линейризованного интеграла Коши – Лагранжа:

$$p_w = -\rho_w \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (3)$$

где  $\varphi$  - потенциал скорости жидкости.

Разводье в ледяной пластине учитывалось условно, путем закрытия свободной поверхности полосой пластины, имеющей на несколько порядков меньший модуль упругости. Этот приём позволяет не вводить дополнительное граничное условие на свободной поверхности и существенно упростить

моделирование. Последующие эксперименты показали приемлемость такого подхода.

Для определения давления  $p_o$  рассмотрено движение подводного судна с заданной скоростью  $v(t)$ . Поле скоростей жидкости в каждый момент времени определялось решением краевой задачи для уравнения Лапласа:

$$\Delta\varphi(x, y, z) = 0 \quad \text{в } \Omega, \quad (4)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = v \cdot \cos(x, n) \quad \text{на } \Gamma_s, \quad (5)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = 0 \quad \text{на } \Gamma_w, \quad (6)$$

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \varphi = 0; \quad \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\partial\varphi}{\partial n} = 0 \quad \text{на } \Gamma_\infty, \quad (7)$$

где  $\Omega$  – область жидкости;  $\Gamma = \Gamma_s + \Gamma_w + \Gamma_\infty$  – граница области  $\Omega$ ;  $\Gamma_s$  – поверхность подводного судна;  $\Gamma_w$  – поверхность ледяной пластины;  $\Gamma_\infty$  – условная граница (часть сферы радиуса  $R$  на бесконечном удалении от судна);  $n$  – нормаль к границе жидкой среды;  $v$  – поступательная скорость подводного судна.

Для определения гидродинамического давления  $p_w$  рассмотрены упругие деформации ледяного покрова со скоростью  $\dot{w}$ . Поле скоростей жидкости в каждый момент времени определяется из решения краевой задачи для уравнения Лапласа (4), (5), (7) с граничным условием на поверхности льда

$$\frac{\partial\varphi}{\partial n} = \frac{\partial w}{\partial t} \quad \text{на } \Gamma_w. \quad (8)$$

Эти уравнения решены совместно с уравнениями движения вязкоупругой пластины (1) – (2). Таким образом, система уравнений (1) – (8) определяет постановку гидроупругой задачи.

Для сплошного ледяного поля (пластины большой протяжённости) при отсутствии существенных течений волновым демпфированием и вязким трением водной среды можно пренебречь. Тогда с учётом (2) и (3) уравнение движения упругой пластины (1) можно представить в виде

$$D\nabla^4 w + D\tau\nabla^4 \dot{w} + \rho_s h \ddot{w} + \rho_w g w + \rho \cdot \frac{\partial\varphi}{\partial t} = p_o. \quad (9)$$

Численная модель решения уравнения (9) построена с применением

метода конечных элементов. Ледяная пластина моделируется изопараметрическими четырёхугольными конечными элементами с линейной аппроксимацией узловых параметров: прогибов и углов поворота. Соответствующее уравнению (9) матричное уравнение имеет вид

$$[K]\{q\} + [C]\{\dot{q}\} + [M]\{\ddot{q}\} = \{F_0\}, \quad (10)$$

где  $[K] = [K^*] + [K^w]$  – матрица жёсткости, включающая матрицы жёсткости пластины  $[K^*]$  и упругого основания (от гидростатических сил)  $[K^w]$ ;  $[C] = \tau [K^*]$  – матрица коэффициентов внутреннего сопротивления;  $[M] = [M^o] + [\mu]$  – матрица масс, включающая матрицы инерции упругой пластины  $[M^o]$  и прилегающей жидкости  $[\mu]$ ;  $\{q\}$  – вектор обобщённых перемещений;  $\{F_0\}$  – вектор гидродинамических инерционных сил на поверхность льда от движения подводного судна.

Для численного определения гидродинамического воздействия использовался метод граничных элементов. Краевые задачи, описываемые уравнениями (4)–(8), преобразуются к граничным интегральным уравнениям, численная модель которых может быть записана в виде

$$[H]\{\varphi\} = [G]\{v\},$$

где  $[H]$  и  $[G]$  – матрицы коэффициентов;  $\{\varphi\}$  и  $\{v\}$  – векторы узловых значений функций  $\varphi$  и  $\partial\varphi/\partial n$ . Учитывая, что граничная поверхность состоит из двух частей ( $\Gamma = \Gamma_s + \Gamma_w$ ), это уравнение можно разложить по блокам

$$\begin{aligned} [H_{ss}]\{\varphi_s\} + [H_{sw}]\{\varphi_w\} &= [G_{ss}]\{v_s\} + [G_{sw}]\{v_w\}, \\ [H_{ws}]\{\varphi_s\} + [H_{ww}]\{\varphi_w\} &= [G_{ws}]\{v_s\} + [G_{ww}]\{v_w\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Исключая неизвестные на поверхности судна  $\{\varphi_s\}$ , получим

$$\{\varphi_w\} = [H_{ww}^*]^{-1} \left( [G_{ww}^*]\{\dot{w}\} + \{V\} \right), \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} [H_{ww}^*] &= [H_{ww}] - [H_{ws}] [H_{ss}]^{-1} [H_{sw}], & [G_{ww}^*] &= [G_{ww}] - [H_{ws}] [H_{ss}]^{-1} [G_{sw}], \\ \{V\} &= \left( [G_{ws}] - [H_{ws}] [H_{ss}]^{-1} [G_{ss}] \right) \{v_s\} \end{aligned}$$

В узлах гидродинамические силы  $\{F_{wo}\}$ , действующие на ледяную пластину со стороны жидкости, выражаются через узловые давления  $\{p\}$  с помощью вектора распределения  $\{N\}$ :

$$\{F_{wo}\} = \{N\}\{p\}.$$



С учётом (3) и (12) гидродинамические силы в узлах пластины будут определяться следующим выражением:

$$\{F_{wo}\} = \{F_w\} + \{F_o\},$$

где  $\{F_o\} = -\rho_w \frac{\partial}{\partial t} ([N][H_{ww}^*]^{-1}\{V\})$ ,  $\{F_w^n\} = -\rho_w [N][H_{ww}^*]^{-1}[G_{ww}^*]\{\ddot{w}\} = -[\mu]\{\ddot{w}\}$ .

Поверхности судна и ледяного поля были разделены нерегулярной сеткой (рис. 1). Сетка конечных элементов по поверхности ледяной пластины принималась по размерам такой же, как и сетка граничных элементов.

Расчёты включали в себя два этапа: на первом по методу граничных элементов определялись давления на лёд в предположении его жёстким; на втором вычислялись прогибы во льду по методу конечных элементов в гидроупругой постановке задачи.

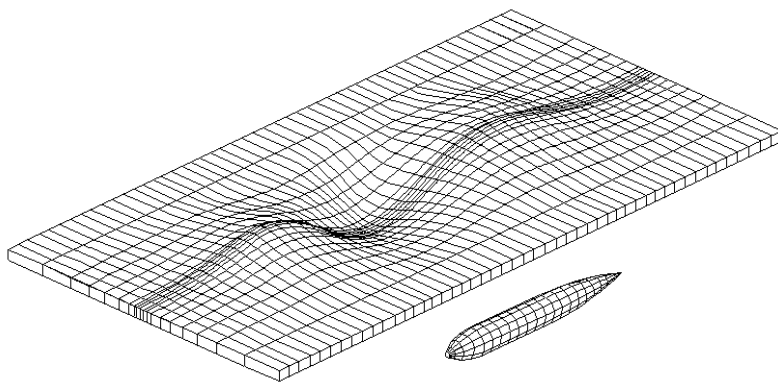


Рис. 1

В расчетах подводное судно принималось в виде тела вращения с относительным удлинением корпуса  $L/B = 6,5$  и водоизмещением  $D_n = 12000$  т. Толщина льда составляла

$h=0,5-2$  м с параметрами: модуль Юнга  $E = 5 \cdot 10^3$  МПа; коэффициент Пуассона  $\mu=0,35$ ; время релаксации деформаций  $\tau=10$  с. Ширина разводий  $b$  принималась равной:  $b_1=3$  м,  $b_2=6$  м,  $b_3=9$  м и  $b_4=12$  м. Относительная ширина разводий  $\bar{b} = b/b_c$  (где  $b_c$  – ширина судна) соответственно составляла  $\bar{b}_1 = 0,2$ ,  $\bar{b}_2 = 0,4$ ,  $\bar{b}_3 = 0,6$ ,  $\bar{b}_4 = 0,8$ .

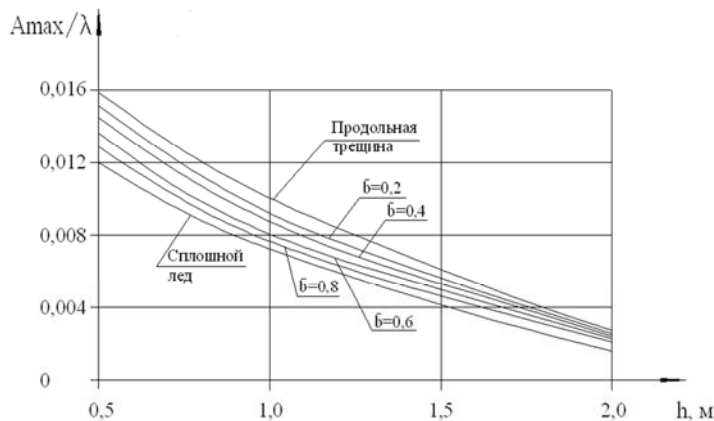


Рис. 2

Основные результаты расчетов приведены на рис. 2, где показана зависимость отношения максимальной амплитуды к длине волны  $A_{max} / \lambda$ , характеризующая кривизну изгибно-гравитационных волн, от толщины льда  $h$  для

резонансных скоростей  $v_p$  движения подводного судна. Из графика видно, что с ростом  $h$  кривизна существенно снижается, т.к. возрастает длина волн, а их амплитуды уменьшаются. В свою очередь величина  $v_p$  возрастает с ростом  $h$  (рис. 3). С ростом относительного заглубления судна  $\bar{h} = h_0 / L$  (где  $h_0$  – заглубление судна,  $L$  – длина судна) кривизна изгибно-гравитационных волн также падает (рис. 4).

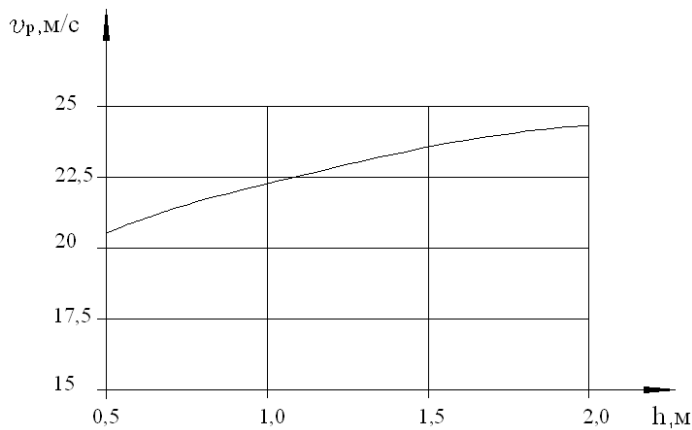


Рис. 3

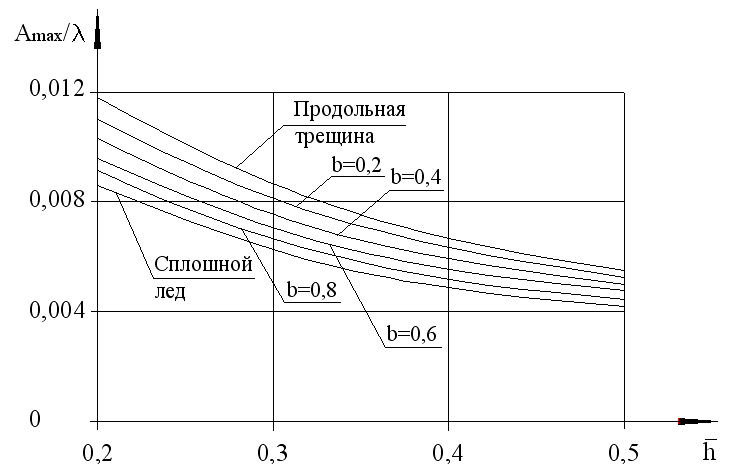


Рис. 4

В третьей главе приводится методика моделирования изгибно-гравитационных волн с применением естественного ледяного покрова, а также с использованием полимерной пленки при экспериментах в опытовом бассейне.

Для моделирования изгибно-гравитационных волн, возбуждаемых в естественном ледяном покрове, использовался пресноводный водоем, имеющий ровное дно, глубиной  $H=2,2$  м. Ледовый бассейн представлял собой канал, выпиленный в естественном льду толщиной 0,82 м, размеры которого составляли  $L \times V \times H = 8 \times 3,3 \times 2,1$  м. Модельный лед приготавливался путем намораживания льда заданной толщины естественным холодом при температуре воздуха  $t = -(13-27)^{\circ}C$ . Модель судна, выполненная в масштабе 1:100, была геометрически подобна модели, использовавшейся в численных расчетах.

Моделирование изгибно-гравитационных волн, возбуждаемых в неразрушаемом ледяном покрове, проводилось в опытовом бассейне размерами  $5,0 \times 1,8 \times 0,6$  м. В качестве модельного льда применялась листовая резина

толщиной 2 мм. Значение модуля упругости резины составляло  $E_m=6$  МПа, что обеспечивало возможность проведения исследований в масштабе 1:500.

Буксировка моделей судна во всех случаях проводилась в диапазоне скоростей  $v_n=14-30$  м/с, после пересчета на натуру, и относительных заглублениях  $\bar{h}=0,2-0,3$ . Во льду моделировались продольная трещина и разводья с относительной шириной:  $\bar{b}_1=0,2$ ;  $\bar{b}_2=0,4$ ;  $\bar{b}_3=0,6$ ;  $\bar{b}_4=0,8$ .

В четвертой главе с целью подтверждения достоверности полученных данных численных расчетов проведено их сопоставление с результатами модельных экспериментов по разрушению естественного льда изгибно-гравитационными волнами от движения подводного судна, а также с результатами исследований влияния различных ледовых условий на параметры изгибно-гравитационных волн с использованием неразрушаемой модели льда.

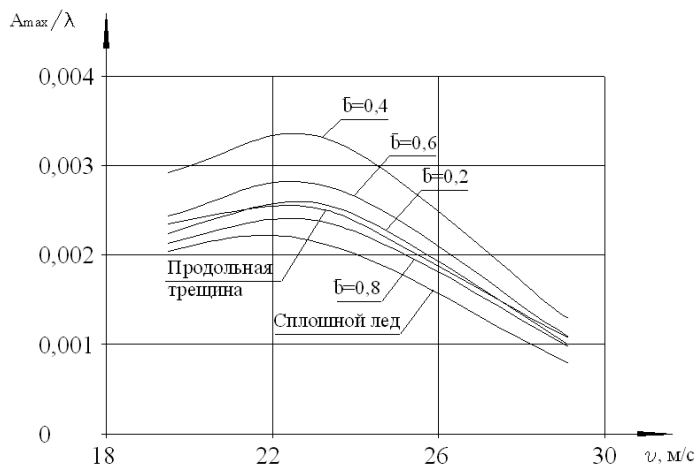


Рис. 5

Эксперименты показали, что при скорости модели около 23 м/с, после пересчета на натуру, во льду возникали резонансные изгибно-гравитационные волны. Наличие неоднородностей в ледяном покрове на значение резонансной скорости практически не влияло, а кривизна волн принимала максимальные значения при  $v_p$  (рис. 5). Волны

наибольшей амплитуды распространялись от движения модели подводного судна вдоль разводья с относительной шириной  $\bar{b}=0,4$ , что можно объяснить интерференцией волн. Несмотря на то, что кривизна волн приобретала наибольшие значения при скорости, равной резонансной, разрушение ледяного покрова происходило как при меньших, так и при больших скоростях движения модели.

Буксировки модели судна в различных ледовых условиях позволили определить предельную толщину льда, разрушаемого изгибно-гравитационными волнами. Для наиболее благоприятного случая (разводье  $\bar{b}=0,4$ ) она составила  $h_m=9$  мм. С ростом  $h$  происходило увеличение  $v_p$  и длин

волн, вследствие чего интенсивность разрушения льда снижалась. Разрушающая способность изгибно-гравитационных волн уменьшалась и при возрастании  $\bar{h}$ .

Из-за сложности проведения экспериментов с естественным льдом, серия экспериментов по исследованию влияния глубины акватории и подледного течения на параметры изгибно-гравитационных волн была выполнена в опытовом бассейне.

Глубина акватории определялась безразмерным параметром  $\bar{H} = H_0 / L$ , где  $H_0$  – заглубление подвесного дна. В экспериментах он составлял 0,35, 0,45, 0,55 и 0,65. Значения  $\bar{h}$  судна в зависимости от глубины акватории принимались 0,2, 0,25, 0,3, 0,4, 0,5. Толщина модельного льда после пересчета на натуру равнялась 1 м. Скорость перемещения модели и ее геометрические характеристики, как и для предыдущих экспериментов, соответствовали масштабу моделирования 1:500.

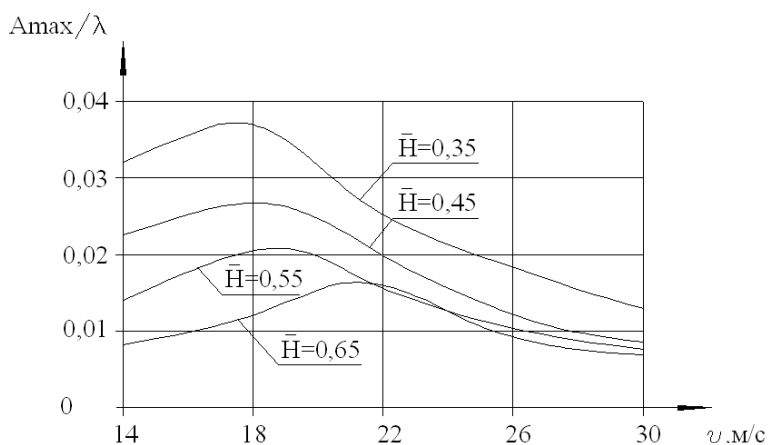


Рис. 6

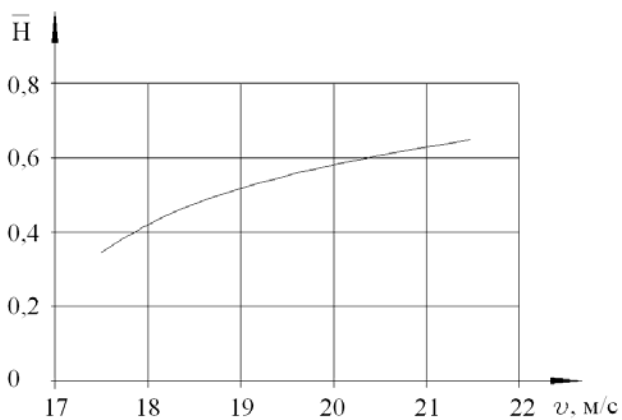


Рис. 7

Графики зависимости отношений  $A_{\max} / \lambda$  от скорости перемещения модели судна при различной относительной глубине акватории  $\bar{H}$  представлены на рис. 6. Полученные результаты сопоставлялись с данными для сплошного льда при бесконечной глубине водоема. Эксперименты показали, что при движении подводного судна в условиях мелкой воды со скоростью, близкой к резонансной, кривизна волн возрастала от 1,5 до 3,5 раз. С ростом  $\bar{H}$  величина резонансной скорости увеличивалась (рис. 7).

Для анализа влияния подледных течений под ледяным покровом создавался ламинарный поток по всей ширине бассейна со скоростью  $v_m = 0,09$  –

0,15 м/с, что при пересчете на натуру составляло  $v_n = 2 - 3,3$  м/с. Для каждого случая систематически изменялся угол между направлением движения модели и направлением течения в пределах от  $0^0$  до  $180^0$  с шагом  $18^0$ .

Сопоставляя полученные данные с результатами для стоячей воды, можно сделать вывод о существенном влиянии подледного течения на исследуемые параметры. Так прогибы ледяного покрова в зависимости от скорости течения и угла между векторами скоростей возрастали на 20 – 90%, причем максимальный эффект возникал при условии, когда угол между направлением движения модели и моделируемым потоком воды лежал в диапазоне от  $0^0$  до  $35^0$  и от  $145^0$  до  $180^0$ . Длина изгибно-гравитационных волн в описанных случаях становилась наименьшей, а кривизна – наибольшей (рис. 8). Значения этих углов оказались устойчивыми для всего диапазона исследуемых скоростей.

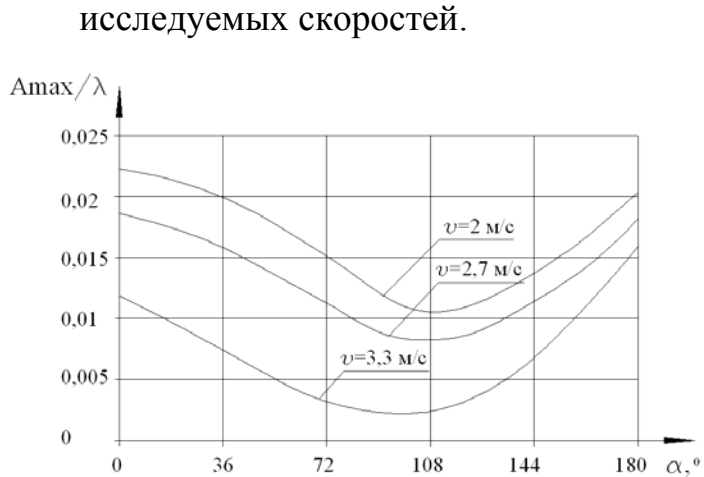


Рис. 8

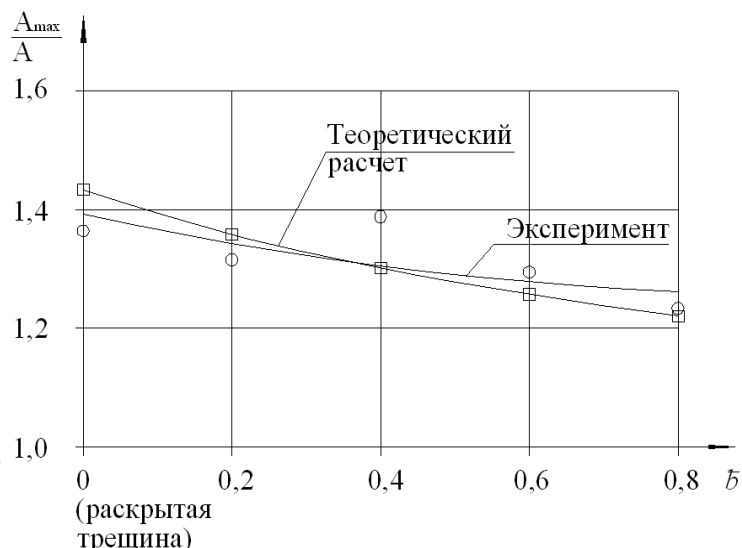


Рис. 9

С целью проверки точности численной модели данные экспериментов с естественным льдом сравнивались с результатами теоретических расчетов. Для этого были построены зависимости относительных амплитуд от рассматриваемых ледовых условий. Под относительной амплитудой понималось отношение  $A_{max} / A$ , где  $A_{max}$  – максимальная амплитуда изгибно-гравитационных волн во льду, имеющем раскрытую трещину или разводе различной ширины;  $A$  – максимальная амплитуда сплошного ледяного покрова. Результаты сопоставления для льда толщиной 2 м приведены на рис. 9.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработана численная модель деформирования ледяного покрова изгибно-гравитационными волнами от движения подводного судна, работоспособность которой подтверждена соответствующими экспериментальными исследованиями.

2. Предложен алгоритм учета неоднородностей ледяного покрова в виде сквозной трещины и разводий.

3. Получены зависимости, позволяющие повысить эффективность разрушения сплошного ледяного покрова подводным судном резонансным методом за счет использования конкретных ледовых условий.

4. Получены теоретические зависимости, позволяющие рассчитать максимальную толщину ледяного покрова, разрушаемого подводным судном с заданными параметрами и условиями подледного плавания.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Земляк В.Л., Козин В.М. Обеспечение всплытия подводных судов в сплошных льдах в различных ледовых условиях // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008. №6. С.27–34.

2. Земляк В.Л., Козин В.М., Чижиумов С.Д. Исследования влияния ледовых условий на эффективность резонансного метода разрушения ледяного покрова, реализуемого подводными судами // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т.51. №3. С.118 – 125.

3. Земляк В.Л., Козин В.М., Чижиумов С.Д. Исследование безопасности всплытия подводных судов в разводьях при воздействии на ледяной покров возбуждаемыми изгибно-гравитационными волнами // Дальневосточная весна 2007 : материалы тр. междунар. науч.-практич. конф. Комсомольск-на-Амуре : КНАГТУ, 2007. С. 175–179.

4. Земляк В.Л., Козин В.М. Влияние ледовых условий на эффективность разрушения ледяного покрова подводными судами // Новые математические модели механики сплошных сред: материалы всерос. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2009. С. 65 – 66.

5. Земляк В.Л., Козин В.М. Влияние толщины льда и разводий различной ширины на резонансную скорость движения подводного судна //

Успехи механики сплошных сред : материалы всерос. науч.-практич. конф. Владивосток, 2009. С. 82.

6. Земляк В.Л., Козин В.М. Зависимость деформированного состояния ледяного покрова от заглубления судна в условия мелководья // Прикладные задачи механики деформируемого твердого тела и прогрессивные технологии в машиностроении : сб. статей. Комсомольск-на-Амуре : ИМиМ ДВО РАН, 2009. С.179 – 183.

7. Земляк В.Л. Лаборатория механики сплошных сред // Вестник Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования “КнАГТУ” : сб. науч. тр. Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2009. С. 244 – 246.

8. Zemlak V.L., Kozin V.M., Chizhiumov S.D. Mathematical Model of Ice Sheet Deformation Caused by Submarine Motion // ISOPE–2010 : The Twentieth International Offshore and Polar Engineering Conference. Beijing, 2010. P.1171–1177.

9. Земляк В.Л., Козин В.М. Возможности разрушения ледяного покрова подводными судами резонансным методом в различных ледовых условиях // XXXV Дальневосточная математическая школа-семинар имени академика Е.В. Золотова, Владивосток : сб. докл. [Электронный ресурс]. Владивосток : ИАПУ ДВО РАН, 2010. С. 518 – 522.

10. Земляк В.Л. Влияние глубины акватории на параметры изгибно-гравитационных волн // Актуальные проблемы математики, физики, информатики в вузе: материалы всерос. научн.-практ. конф. Комсомольск-на-Амуре : АмГПГУ, 2010. С. 17 – 21.

11. Пат. 2353540 РФ, Кл. В63В 35/08. Способ разрушения ледяного покрова / В.М. Козин, А.В. Погрелова, В.Л. Земляк [и др.] (РФ); заявитель и патентообладатель АмГПГУ (RU). – №2067144688; заявл. 30.11.2007; опубл. 27.04.2009. Бюл. № 30 – 4с.: ил.

12. Пат. 2353542 РФ, Кл. В63В 35/08. Способ разрушения ледяного покрова / В.М. Козин, А.В. Погрелова, В.Л. Земляк [и др.] (РФ); заявитель и патентообладатель АмГПГУ (RU). – №2067144690; заявл. 30.11.2007; опубл. 27.04.2009. Бюл. № 30 – 4с.: ил.

13. Пат. 2389635 РФ, Кл. В63В 35/08. Способ разрушения затороженного ледяного покрова / В.М. Козин, С.Д. Чижиумов, В.Л. Земляк [и др.] (РФ); заявитель и патентообладатель АмГПГУ (RU). – №2067144690; заявл. 30.11.2007; опубл. 27.04.2009. Бюл. № 30 – 4с.: ил.

др.] (РФ); заявитель и патентообладатель АмГПГУ (RU). – №2008116061; заявл. 23.04.2008; опубл. 20.05.2010. Бюл. № 30 – 3с.

14. Пат. 2389636 РФ, Кл. В63В 35/08. Способ разрушения заторошенного ледяного покрова / В.М. Козин, С.Д. Чижиумов, В.Л. Земляк [и др.] (РФ); заявитель и патентообладатель АмГПГУ (RU). – №2008128259; заявл. 10.07.2008; опубл. 20.05.2010. Бюл. № 30 – 4с.: ил.

Личный вклад автора. Работы [7, 10] выполнены автором лично. В работах [1-6, 8, 9] в рамках сформулированной научным руководителем проблемы автор получил необходимые для теоретического анализа и численных расчетов соотношения, выполнил необходимые вычисления, провел модельные эксперименты.

Земляк Виталий Леонидович

ВЛИЯНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ  
ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПОДВОДНЫМИ СУДАМИ РЕЗОНАНСНЫМ  
МЕТОДОМ

Автореферат

Подписано к печати 15.02.2011

Усл. печ. л. 1

Уч.-изд. л. 1,8

Формат 60x84/16

Тираж 100 экз.

Заказ №

---

Издательство Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета: 681000, Комсомольск-на-Амуре, ул. Кирова, 17 корп. 2.

Отпечатано в типографии издательства: ФГОУ ВПО “Амурского гуманитарно-педагогического государственного университета”, 981000, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Кирова, 17 корп. 2.