

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Стуровой Изольды Викторовны на диссертацию Рогожниковой Елены Григорьевны «Использование интерференции возбуждаемых в ледяном покрове изгибно-гравитационных волн для повышения эффективности его разрушения резонансным методом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» в диссертационный совет Д 212.092.07 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КНАГУ»)

### **Актуальность темы исследования**

Диссертационная работа Рогожниковой Е.Г. посвящена экспериментальному и теоретическому изучению возбуждаемых движущейся нагрузкой деформаций плавающего на поверхности жидкости ледяного покрова. Эта проблема гидроупругости имеет большую историю и связана с важным прикладным значением как для обеспечения безопасного движения транспортных средств по замерзшим водным путям, так и с разрушением ледяного покрова для продления навигации и борьбы с ледовыми осложнениями. Эти приложения актуальны для ряда северных стран, в том числе и для России.

В коллективе, руководимом профессором Козиним В.М., в течение многих лет разрабатываются способы разрушения льда на основе резонансного метода. В представленной диссертации изучена возможность увеличения эффективности этого метода с помощью использования системы движущихся нагрузок за счет интерференции возбуждаемых ими изгибно-гравитационных волн (ИГВ).

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

При выполнении экспериментальных исследований использованы известные методы, апробированное оборудование и современные регистрирующие средства. При формулировании математических постановок задач автор опирается на физические законы, общепринятые в гидродинамике и теории упругости, приемлемые упрощающие предположения и аппарат математического анализа.

## **Научная новизна полученных результатов**

В лабораторных условиях выполнены экспериментальные исследования закономерностей деформирования ледяного покрова при одновременном движении двух моделей судов на воздушной подушке (СВП) для различных типов их взаимного расположения. Теоретические результаты о генерации ИГВ системой двух равномерно движущихся нагрузок получены на основе решения линейной задачи гидроупругости с использованием вязкоупругой модели Кельвина-Фойгта для ледяного покрова.

## **Анализ содержания диссертации**

Работа объемом 131 страницу включает введение, четыре главы основного текста, заключение и список литературы из 151 наименования.

Во *введении* обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и методы, их научная новизна, достоверность и практическая значимость полученных результатов.

В *первой главе* приводится обширный обзор литературы по экспериментальным и теоретическим методам исследования ИГВ, возбуждаемых в ледяном покрове движущимися нагрузками. Список используемой литературы отражает знакомство соискателя с наиболее важными публикациями, представленными как в российских, так и в зарубежных изданиях. Описан и проиллюстрирован опыт использования СВП для разрушения ледяного покрова путем возбуждения ИГВ. Обосновано одновременное использование группы СВП, когда нагрузки для разрушения льда от одного судна окажется недостаточной.

Однако в списке литературы отсутствует работа

Доценко С.Ф. Установившиеся гравитационно-упругие трехмерные волны от движущихся возмущений// Цунами и внутренние волны. Морской гидрофизический институт АН УССР. Севастополь. 1976. С. 144-155.

Я считаю, что это была первая теоретическая работа, в которой полностью исследована линейная стационарная задача о прямолинейном и равномерном движении области независимых от времени давлений по упругому ледяному покрову, плавающему на поверхности жидкости конечной глубины. Результаты этой работы были позднее повторены в монографии

Черкесов Л.В. Гидродинамика волн. Киев: Наукова думка, 1980, 259 с.

*Вторая* глава является центральной в данной диссертации и посвящена экспериментальному исследованию закономерностей деформирования ледяного покрова при равномерном движении одной или двух моделей

СВП. Опыты проведены как в бассейне с искусственным льдом (упругая полимерная пленка), так и в ледовом бассейне с использованием естественного льда в зимних условиях. Первоначально исследовано влияние глубины бассейна и скорости движения нагрузки на параметры ИГВ, возбуждаемых одиночной нагрузкой. Так, например, на рис. 2.15 представлены зависимости максимальных прогибов упругой пленки от скорости движения по ней модели СВП. Однако не указано в какой конкретно точке по горизонтальным координатам и в какой момент времени имеют место эти максимальные прогибы. В представленных экспериментах не дано значение модуля Юнга для естественного льда, а также значения плотности и коэффициента Пуассона как для упругой пленки, так и для льда.

Возбуждение ИГВ парными нагрузками изучено при исследовании движения двух одинаковых моделей фронтом или кильватерным строем. В обоих случаях результаты приведены для относительных прогибов, т.е. отношения максимального прогиба упругого покрова при движении двух нагрузок к максимальному прогибу при движении одиночной нагрузки. Изучено влияние глубины бассейна и расстояния между моделями СВП. Скорость движения соответствовала скорости генерации максимальных ИГВ одиночной моделью. Показано, что, как правило, максимальные значения относительных прогибов возникают при полном счаливании СВП и только при движении кильватерным строем для относительно малой глубины жидкости наибольший эффект имеет место при значительном расстоянии между судами.

В *третьей* главе построено теоретическое решение задачи о деформациях ледяного покрова под действием движущихся нагрузок. В математической формулировке задачи жидкость рассматривается идеальной однородной и несжимаемой, ее глубина предполагается постоянной, а движение – потенциальным. Ледяной покров моделируется изначально ненапряженной однородной изотропной вязкоупругой тонкой пластиной в модели Кельвина-Фойгта. Задача решается в линейной постановке, т. е. колебания жидкости и ледяного покрова предполагаются малыми. Независящая от времени внешняя нагрузка движется равномерно и прямолинейно, т. ч. в подвижной системе координат, связанной с нагрузкой, задача является стационарной. Для одиночной нагрузки решение этой задачи было получено ранее Козиным В.М. и Погореловой А.В. [78]. Автор диссертации в (3.12) использует частный вид этого решения для поверхностного давления, равномерно распределенного по прямоугольной области:  $q(x, y) = q_0 = \text{const}$  при  $|x| \leq L/2, |y| \leq L/(2\omega)$ . К сожалению, в диссертации этот конкретный вид нагрузки не указан, и о нем можно догадаться только после сравнения с результатами работы [78]. В силу

линейности исходной задачи решение для системы нагрузок получается методом суперпозиции. На основе этого решения наряду с прогибами  $w(x, y)$  определены также и изгибные напряжения  $\sigma_x(x, y)$ . Выполнено сопоставление экспериментальных и теоретических результатов для зависимости относительных прогибов от взаимного расположения нагрузок (рис. 3.1-3.3). Однако параметры льда, жидкости и нагрузки указаны для натуральных СВП, тогда как графические результаты, судя по масштабу величин  $L_x, L_y$ , относятся к модельным значениям. Следовало указать эти значения, используемые при проведении экспериментов и расчетов.

На основе теоретического решения разработаны рекомендации для повышения эффективности резонансного метода разрушения ледяного покрова при движении нескольких внешних нагрузок. В качестве критерия для оценки ледоразрушающих способностей СВП принято теоретическое значение максимальных изгибных напряжений, уровень которых соответствует началу полного разрушения льда за движущимся СВП  $\sigma_x = 2.1\sigma_u$ , где  $\sigma_u$  - средний предел прочности пресноводного льда на изгиб. Для проверки работоспособности выбранного критерия проведены расчеты максимальных относительных напряжений  $\bar{\sigma}_x$  для двух СВП «Мурена» при движении их фронтом или кильватерным строем при различных глубинах жидкости и расстояниях между судами (рис. 3.5-3.8). Показано, что условия полного разрушения льда соответствовали экспериментальным наблюдениям, изложенным в главе 2.

В *четвертой* главе даны рекомендации по выполнению ледокольных работ при использовании системы СВП, если нагрузка от одного судна окажется недостаточной для разрушения ледяного покрова при заданных ледовых условиях.

В *заключении* сформулированы основные результаты и выводы работы.

### **Наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**

- Выполнены лабораторные экспериментальные исследования ИГВ, генерируемых равномерным движением системы двух идентичных нагрузок при их различных расположениях.
- На основе известного теоретического решения для движущейся одиночной нагрузки определены суммарные прогибы и изгибные напряжения при движении двух нагрузок.

- Разработаны рекомендации по использованию интерференции ИГВ, возбуждаемых парными нагрузками, для повышения эффективности разрушения ледяного покрова СВП резонансным методом.

### Замечания к диссертации

- 1) Рис. 1.4 и 1.6 полностью совпадают.
- 2) В разделе 1.4 «Физическая сущность резонансного метода разрушения ледяного покрова» имеется ряд неточностей. Кинематические свойства ИГВ, возникающие в жидкости под ледяным покровом, подробно описаны в монографиях [102], [143]. Критической скоростью ИГВ называется их минимальная фазовая скорость  $c_{\min}$ , которая всегда меньше длинноволнового предела  $c_0 = \sqrt{gH}$  для поверхностных волн и ИГВ. Значение  $c_{\min}$  зависит только от свойств жидкости и ледяного покрова, но не зависит от вида конкретных возмущений, вызывающих ИГВ. В разделе 1.4 отсутствует четкое определение используемых величин  $v_p$  и  $v_0$ , но если под ними подразумеваются значения  $c_{\min}$  и  $c_0$ , то рассмотрение случаев  $v_0 < v < v_p$  (стр. 32) и  $v_p = v_0$  (стр. 33) не имеет смысла.
- 3) Не понятен масштаб для величины  $v$  на рис. 2.15 б), в), г).
- 4) Не понятно, зачем настолько подробно давать вывод известного теоретического решения для одиночной нагрузки (стр.87-96 в диссертации и стр. 6-9 в автореферате), которое было получено еще в 2009 г. Козиным В.М. и Погореловой А.В. [78]. Достаточно было ограничиться приведением окончательного интегрального представления для прогиба ледяного покрова  $w(x,y)$  (формулы (3.12) и (10) в диссертации и автореферате, соответственно). Запись уравнений в конце стр. 90 является недопустимой с точки зрения математики, т.к. приравниваются функции, зависящие от различного числа переменных.
- 5) Имеются недостатки в оформлении работы и опечатки, как в тексте, так и в формулах на стр. 10, 12, 37, 52, 60, 108, 112, 113.
- 6) Фраза «В стационаре это уравнение примет вид» (стр. 6 автореферата и стр. 88 диссертации) является жаргоном.
- 7) В тексте автореферата целесообразно было указать соответствие тематики, цели и задач диссертации конкретным пунктам паспорта специальности.

Сделанные замечания не отражаются, однако, на общем положительном заключении по диссертации.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат отражает основные положения, сформулированные в диссертации.

### **Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научной печати**

Результаты, представленные в диссертации, отражены в одной монографии и пяти журнальных статьях из списка ВАК, а также докладывались на многочисленных всероссийских и международных конференциях. Программа расчета на ЭВМ прогибов и угла наклона плавающей вязкоупругой пластины при стационарном движении по ней нагрузки имеет государственную регистрацию. Получено 2 патента на способ разрушения ледяного покрова на мелководье и 13 патентов на способ разрушения ледяного покрова.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»**

Считаю, что диссертация Рогожниковой Е. Г. является завершенной научно-квалификационной работой, в рамках которой предложены методы повышения эффективности резонансного метода разрушения льда с помощью системы движущихся нагрузок. Результаты этих исследований имеют большое практическое значение для решения проблемы гарантированного разрушения ледяного покрова.

Работа выполнена на хорошем научном уровне, содержит необходимый объем экспериментальных и теоретических материалов, подтверждающих достоверность основных результатов, положений и выводов. Тематика и содержание работы соответствует специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пп. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Рогожникова Е.Г. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Я, Стурова Изольда Викторовна, согласна на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Рогожниковой Елены Григорьевны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, <http://hydro.nsc.ru/>

Доктор физико-математических наук



Стурова И.В.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 15

Тел. 8 (383) 3331612

E-mail: [sturova@hydro.nsc.ru](mailto:sturova@hydro.nsc.ru)

17.01.2018

Подпись д.ф.-м.н. Стуровой И.В. заверяю

Ученый секретарь ФГБУН Института

Гидродинамики СО РАН



к.ф.-м.н.



Любашевская И.В.