

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Матюшина Анна Александровна

**Исследование и разработка программного обеспечения  
напряженно-деформированного состояния ледяного покрова от  
действия движущейся нагрузки**

Направление подготовки  
09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Анализа конструкций и  
процессов» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-  
Амуре государственный университет» Козин  
Виктор Михайлович

Рецензент: Кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник лаборатории «Механика  
деформирования» ФГБУН «Институт  
машиноведения и металлургии ДВО РАН»

Защита состоится «29» июня 2018 года в 14 часов 00 мин. На заседании  
государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки  
09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» в Комсомольском-на-  
Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-  
Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 321/3.

Автореферат разослан 23 июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

М.Е. Щелкунова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние годы возрос интерес к освоению полярных районов с целью разработки нефте- и газоносных месторождений. В связи с этим возникает необходимость создания воздушной навигации в эти труднодоступные районы. Строительство аэродромов в данной местности весьма трудоемко и требует значительных экономических затрат. Использование для этих целей ледяного покрова позволит сократить их объем. При этом возникает проблема определения влияния толщины ледяного покрова, глубины акватории, места расположения взлетно-посадочной полосы (ВПП) на характер волнообразования при использовании льда в качестве аэродромов, т.е. на его гарантированную (минимально-достаточную) несущую способность.

Исследованию воздействия на ледяной покров различного вида динамических нагрузок посвящено немало работ. Однако, задача о посадке самолетов на ледяной покров остается до настоящего времени недостаточно изученной. При посадке самолета на ледяной покров задача прогнозирования разрушения плавающей пластины по-прежнему остается важной.

В ходе данного научного исследования разрабатывается программное обеспечение (ПО), позволяющее производить расчеты несущей способности ледяного покрова при использовании его в качестве ледовых аэродромов.

**Целью** данной работы является исследование процесса деформации ледяного покрова при воздействии на него движущейся нагрузки и разработка ПО для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) ледяного покрова.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- подбор и анализ литературы по теме исследования;
- получение аналитического решения задачи о деформировании ледяного покрова при движении по нему распределенной нагрузки;

– Разработка ПО для расчета НДС ледяного покрова от действия на него движущейся нагрузки.

**Объект исследования** – процесс деформирования ледяного покрова при воздействии на него движущейся нагрузки.

**Предмет исследования** – алгоритмы приложения для расчета НДС ледяного покрова при воздействии на него движущейся нагрузки.

**Научная новизна** – разработаны алгоритмы расчета для оценки несущей способности ледяного покрова при движении по нему распределенной нагрузки.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается:

- 1 соблюдением принципов математического моделирования;
- 2 согласованием результатов данной работы с некоторыми результатами, полученными другими авторами.

**Практическая значимость.** Разработанное ПО позволит проводить оценку возможности разрушения ледяного покрова при различных ледовых условиях и параметрах нагрузки.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- трехмерная математическая модель деформирования ледяного покрова при движения по нему распределенной нагрузки;
- Программный комплекс для расчета НДС ледяного покрова от воздействия на него движущейся нагрузки.

**Личный вклад.** Автор принимал активное участие в определении задач исследования, в разработке математического аппарата для достижения поставленной цели, разработке вычислительных алгоритмов, а так же при анализе и обобщении полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

- 26th International Ocean and Polar Engineering Conference (2016 г., г. Родос);

- 12th Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium (2016 г., г. Голд-Кост);
- 27th International Ocean and Polar Engineering Conference (2017 г., г. Сан-Франциско);
- Четвертой Всероссийской конференции Полярная механика (2017 г., г. Санкт-Петербург).

**Публикации.** Основные результаты диссертации изложены в 4 печатных изданиях.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 80 страниц с 10 рисунками, 1 таблицей и 15 приложений. Список литературы содержит 115 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, а также приводится общая характеристика работы, включающая в себя следующие структурные элементы:

- цель исследования;
- задачи исследования;
- объект и предмет исследования;
- методы исследования;
- новизна полученных результатов;
- достоверность и обоснованность полученных результатов исследования;
- практическая значимость и ценность работы;
- личный вклад автора;
- основные положения работы, выносимые на защиту;
- публикации;
- структура и объем магистерской диссертации.

**В первой главе** представлен обзор исследований по теме диссертации. При этом отмечено, что значительный вклад в разработку теоретических вопросов поведения плавающей на слое жидкости пластины при воздействии на нее различного вида нагрузок, внесли такие ученые как: А.Е. Букатов, С.С. Голушкевич, А.А. Коробкин, А.В. Марченко, А.В. Погорелова, И.В. Стурова, Л.А. Ткачева, Д.Е. Хейсин и др. Экспериментальными исследованиями деформирования и разрушения ледяного покрова от действия движущихся нагрузок занимались: С.А. Бернштейн, Л.В. Голд, К.Е. Иванов, Н.Н. Кашкин, А. Крери, В.М. Козин, И.С. Песчанский, Ф. Пресс, Г.Я. Седов, В. Сквайер, В.Н. Смирнов, Т. Такизава и др.

Составлены требования, предъявляемые к разрабатываемому программному продукту. Поставлены задачи исследования.

**Во второй главе** приведены результаты теоретических исследований НДС ледяного покрова от действия на него движущейся нагрузки.

Рассматривается задача о нестационарном движении распределенной нагрузки (на примере самолета) по сплошному ледяному покрову. Нагрузка от самолета представлена областью давления  $q'(x', y', t')$ , движущаяся со скоростью  $u'(t')$ . Система координат совмещена с самолетом. Плоскость  $x'O'y'$  совпадает с невозмущенной поверхностью раздела лед–вода, ось  $x'$  совпадает с направлением движения самолета, ось  $z'$  направлена вертикально вверх. Предполагается, что вода – идеальная несжимаемая жидкость плотностью  $\rho_2$ , движение жидкости потенциальное. Глубина водоема  $H$ , толщина ледяного покрова  $h$ . Ледяной покров моделируется упругой, изначально ненапряженной однородной изотропной пластиной плотностью  $\rho_1$  (рисунок 1).

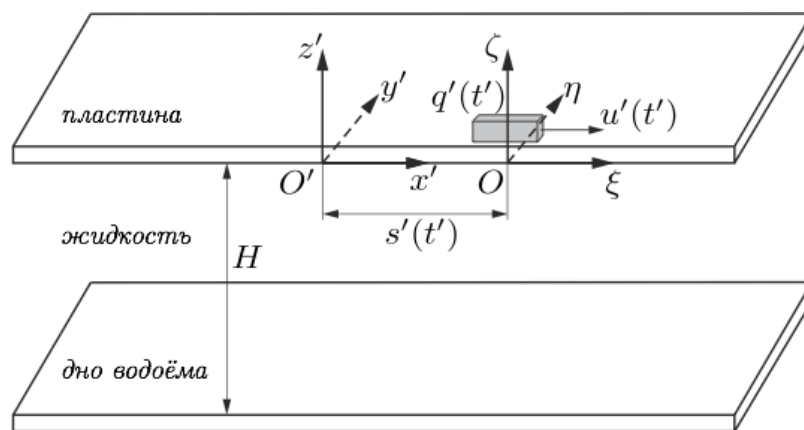


Рисунок 1 – Схема задачи

С помощью интегральных преобразований Фурье и Лапласа было получено решение задачи о движении распределенной нагрузки по плавающей ледяной пластине. Формула для вычисления прогиба ледяной пластины при движении по ней нагрузки:

$$w = w_1 + w_2,$$

$$w_1(x, y, t) = -\frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{\lambda d\lambda}{1 + \kappa\lambda^4} \int_0^\lambda \frac{D_1 d\alpha}{\sqrt{\lambda^2 - \alpha^2}} \int_0^t \beta \sin(\beta(t - \tau)) q(\tau) \times \\ \times \cos(\alpha(s(t) - s(\tau)) + \alpha x + \sqrt{\lambda^2 - \alpha^2} y) d\tau,$$

$$w_2(x, y, t) = -\frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{\lambda d\lambda}{1 + \kappa\lambda^4} \int_0^\lambda \frac{D_1}{\sqrt{\lambda^2 - \alpha^2}} q(0) \times \\ \times \cos(\alpha s(t) + \alpha x + \sqrt{\lambda^2 - \alpha^2} y) d\alpha,$$

Для расчета нормальных напряжений в ледяном покрове используется формула:

$$\sigma_{xx} = -\frac{6}{h^2} \left( D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right).$$

Произведена верификация полученной математической модели. Получено хорошее согласование результатов расчетов, выполненных для модели с известными теоретическими и экспериментальными результатами других авторов.

**В третьей главе** магистерской диссертации описывается практическая реализация программного обеспечения. Данный раздел содержит подробную информацию по всем разработанным модулям.

Разрабатываемый программный продукт состоит из двух модулей – графического и математического, схематично изображенных на рисунке 2.

Модульный принцип позволяет вносить изменения в различные части ПО не затрагивая и не нарушая работу других.

Графический модуль	Математический модуль
Главное окно программы, ввод параметров для расчетов	Подсистема для расчета прогибов пластины
Построение графиков	Подсистема для расчета напряжений в пластине
Вывод результатов расчетов в html-файл	
Просмотр html-файлов	

Рисунок 2 – Структура программного обеспечения

На рисунке 3 представлено главное окно программы. Пользователю необходимо ввести следующие параметры для выполнения расчетов НДС ледяного покрова: толщину пластины, модуль упругости льда, коэффициент Пуассона льда, плотность льда, глубину водоема, длину взлетно-посадочной полосы, а также выбрать тип самолета. Поля ввода защищены от ввода некорректных данных путем установления диапазона наиболее вероятных значений переменных.

После ввода параметров льда и пластины, пользователю необходимо выбрать один из вариантов нагрузки. После определения всех необходимых данных для расчетов, пользователь инициализирует процесс обработки данных, путем нажатия на кнопку «Выполнить расчеты». Математические расчеты производятся с помощью библиотеки, написанной с использованием языка C++, который является компилируемым, что позволяет ускорить процесс



расчетов по созданной математической модели деформирования ледяного покрова.

По результатам работы математического модуля будут получены данные для построения графиков профилей прогибов ледяного покрова в различные моменты времени при взлете и посадке самолета, а также график зависимости напряжений в ледяном покрове в зависимости от времени. Поскольку в качестве критерия оценки возможности использования льда в качестве ВПП используется средний предел прочности льда на изгиб, то оценку можно будет провести визуально сравнивая показания абсолютной величины нормальных напряжений с выбранным критерием.

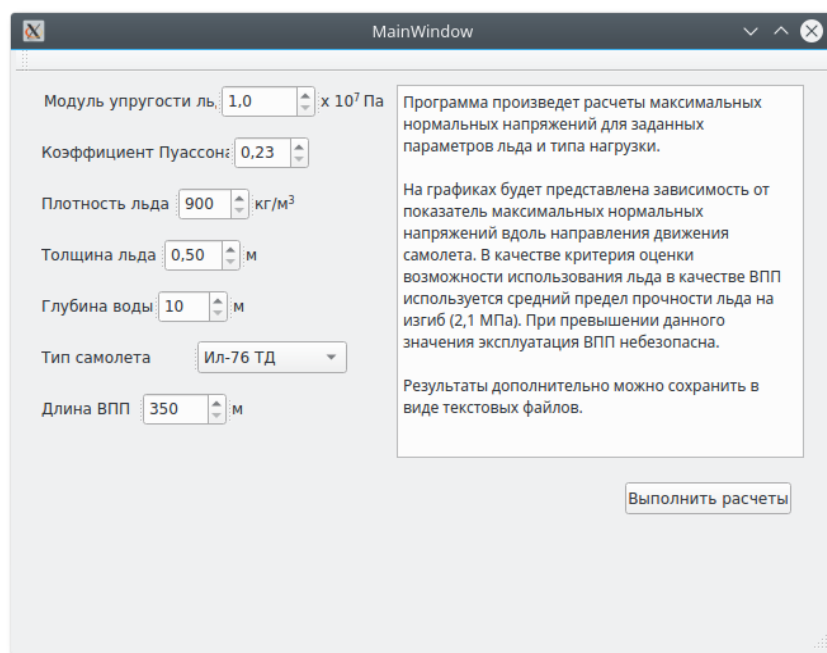


Рисунок 3 – Главное окно программного продукта

Вывод отчета работы программы осуществляется в виде html-файла, который будет отображен в одном из окон разработанного программного продукта. Для последующей работы с полученными результатами предусмотрена возможность сохранения html-файла на компьютере пользователя.

**В заключении** приведены основные результаты работы.

**В приложении** содержится исходный код программы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам выполнения магистерской диссертации была достигнута поставленная цель и решены следующие задачи:

- получена трехмерная математическая модель деформирования плавающего на слое жидкости ледяного покрова при движении по нему распределенной нагрузки;
- разработано ПО для расчета НДС ледяного покрова при воздействии на него движущейся нагрузки.

В ходе выполнения работы была подготовлена пояснительная записка, включающая в себя: постановку задачи на научное исследование, обзор и анализ литературы по проблеме исследования, описание принципа действия разработанного ПО, а также исходный код программы. Текст пояснительной записки содержит рисунки, схемы и таблицы, что позволяет наглядно раскрыть решение поставленных задач.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА МД**

- 1 Matiushina, A.A. Modelling of an Airplane Take-off and Landing on the Ice Cover in Variable Water Depth Conditions [Text] / A.A. Matiushina [et al.] // Proceeding of the 26th (2015) International Ocean and Polar Engineering Conference, Rhodes (Greece), June 26 – July 1, 2016. – Cupertino: ISOPE, 2016. – P. 1187 – 1191. – ISBN 978-1-880653-88-3.
- 2 Pogorelova, A.V. Effect of a load on the cover of variable thickness [Text] / A.V. Pogorelova [et al.] // Proceeding of the 12th (2016) ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, Gold Coast/Brisbane (Australia), 3 – 7 October, 2016. – Cupertino: ISOPE, 2016. – P. 553 – 557. – ISBN 978-1-880653-98-2.

- 3 Kozin, V.M. Methods of Assessment of Ice-Breaking Capacity of Flexural-Gravity Waves Generated by Moving Loads [Text] / V.M. Kozin [et al.] // Proceedings of the 27th (2017) International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco (USA), June 25 – 30, 2017. – Cupertino: ISOPE, 2017. – P. 1326 – 1331. – ISBN 978-1-880653-97-5.
- 4 Козин, В.М. Нестационарное движение нагрузки по ледяному покрову [Текст] / В.М. Козин, А.А. Матюшина, В.Л. Земляк // Тезисы докладов III Всероссийской конференции «Полярная механика». – СПб: ФГБУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2017. – С. 59 – 60.