

Отзыв официального оппонента

доктора физико-математических наук Стуровой Изольды Викторовны на диссертацию Шишмарева Константина Александровича «Поведение ледового покрова канала под действием движущейся внешней нагрузки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

1. Оценка актуальности темы диссертационного исследования

Диссертационная работа посвящена теоретическому исследованию поведения ледового покрова, образующегося на поверхности прямоугольного канала под действием динамической нагрузки. Задача о поведении плавающего ледяного покрова бесконечной протяженности активно изучается в последние десятилетия в связи с интенсивным освоением полярных районов Мирового океана. Однако для северных стран, например России, актуальным является также изучение поведения ледового покрова, образующегося на реках и каналах в зимнее время. Также изучение различий в поведении безграничного и ограниченного ледового покрова важно для интерпретации экспериментальных исследований, проводимых в искусственно созданных лабораторных ледовых бассейнах. Предсказание поведения ледового покрова важно как для обеспечения безопасности движения транспортных средств, так и для возможного разрушения ледового покрова в канале, например, судном на воздушной подушке.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и практических рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 90 наименований. Объем составляет 131 страницу.

Во **Введении** приводится обзор результатов исследований других авторов по изучению поведения ледового покрова при движении внешней нагрузки, а также взаимодействия льда и погруженного в жидкость тела. Отмечается, что полученные к настоящему времени результаты относятся в основном к случаю безграничного однородного ледового покрова. Определена актуальность исследований, представленных в диссертации, сформулированы цели и задачи работы, отражена научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.

В первой главе работы, которая является центральной в данной диссертации, получено решение линейной задачи гидроупругости о движении локализованной области внешнего давления с постоянной скоростью вдоль центральной линии бесконечно длинного канала. В системе координат, движущейся совместно с нагрузкой, данная задача является стационарной. Канал имеет горизонтальное дно и заполнен идеальной несжимаемой жидкостью. Ледовый покров моделируется как тонкая вязкоупругая пластина в рамках модели Кельвина – Фойгта. Края ледового покрова приморожены к стенкам канала. Данная задача не была рассмотрена ранее и ее решение значительно отличается от решения для неограниченного ледового покрова. Для решения задачи используется преобразование Фурье по продольной координате и разложение образа Фурье для вертикального прогиба по нормальным модам упругой балки с защемленными краями. Ранее это разложение использовалось в работе [26], одним из авторов которой является научный руководитель диссертанта, для пластины в модели Кирхгофа – Лява. Задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений для коэффициентов разложения и вычислению интегралов при выполнении обратного преобразования Фурье. Определены прогибы ледового покрова и на их основе – максимальные деформации для различных параметров задачи.

Выполнены численные расчеты прогибов ледового покрова и распределения максимальных деформаций в зависимости от скорости движения нагрузки и ширины канала. Показано существенное различие результатов при докритических и сверхкритических скоростях движения нагрузки. При увеличении ширины канала прогибы льда и его деформации приближаются к своим значениям для неограниченного ледового покрова. Рассмотрены приближенные постановки исходной задачи: модель сухой пластины, жестко закрепленной на стенках, и гидростатическая модель. В этих моделях удастся существенно уменьшить объем вычислений. Определены области применимости этих моделей.

Большой интерес представляет п. 1.5, в котором представлено доказательство единственности решения рассматриваемой задачи, что выгодно отличает эту работу от большого числа других, которые посвящены только получению численных результатов.

Вторая глава посвящена решению нестационарной задачи о развитии течения

при мгновенном разгоне области давления и последующем ее движении с постоянной скоростью. Ледовый покров моделируется тонкой упругой пластиной в модели Кирхгофа – Лява. Метод решения во многом повторяет решение стационарной задачи в гл. 1, однако теперь неизвестные функции в разложении по модам зависят не только от переменной преобразования Фурье, но и от времени. Окончательное решение при больших временах в подвижной системе координат для каждой моды представляет собой локальный прогиб в области нагрузки и систему двух волн, распространяющихся от нагрузки соответственно вверх и вниз по течению. В п. 2.3 представлены результаты численных расчетов, выполненных для экспериментального волнового бассейна в Приамурском государственном университете им. Шолома Алейхема. Представлены трехмерные картины деформаций в ледовом покрове. Отмечено, что деформации вдоль центральной линии канала перед нагрузкой всегда больше, чем деформации на стенках, однако в области за нагрузкой имеет место обратная картина. Изучена эволюция прогибов ледового покрова во времени и выход на установившийся режим при больших временах. Однако в диссертации отсутствует сопоставление теоретических и экспериментальных результатов, что существенно бы обогатило данную работу.

В третьей главе исследована стационарная задача об определении прогиба и деформаций в ледовом покрове канала, вызванных равномерным движением погруженной сферы. Погруженное тело моделируется суммой диполей, в которой горизонтальные и вертикальные границы канала учитываются с использованием метода зеркальных отображений. Для ледового покрова используется модель Кельвина - Фойгта вязкоупругой пластины. Определены безразмерные параметры задачи, при которых могут быть использованы линеаризованные условия на верхней границе жидкости: медленное движение диполя, узкий канал, слабый диполь. Используя результаты гл. 1, для последнего случая исследовано влияние несимметричного расположения диполя относительно боковых стенок канала.

В **Заключении** приводятся основные результаты диссертационной работы.

При решении поставленных задач К.А. Шишмарев применял математический аппарат механики сплошной среды, гидродинамики и линейной теории гидроупругости.

3. Достоверность, новизна и практическая значимость исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в

диссертации

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием известных моделей гидродинамики и теории упругости, применением апробированных численных методов.

Научная новизна полученных результатов состоит в исследовании задач, которые не были рассмотрены ранее. В отличие от задач с безграничным ледовым покровом, которые были исследованы ранее, в рассмотренных задачах существует счетное число дисперсионных соотношений для периодических гидроупругих волн, распространяющихся вдоль канала, что приводит к необходимости разработки нового метода решения.

Теоретическая значимость работы определяется разработкой метода решения гидроупругой задачи о взаимодействии жидкости и ледового покрова канала при наличии движущихся конструкций или внешних нагрузок. Для нестационарной задачи доказана единственность классического решения. Исследована корректность гипотез линейной теории гидроупругости в постановке задачи о взаимодействии вязкоупругого ледового покрова и движущегося диполя подо льдом в канале с учетом нелинейных кинематического условия и интеграла Коши – Лагранжа.

Практическая значимость работы состоит в возможности подготовки рекомендаций для безопасного движения транспортных средств по замерзшим каналам и рекам, а также возможности разрушения ледового покрова движущимися судами на воздушной подушке. Полученные результаты полезны при тестировании численных методов, которые будут разрабатываться в будущем для прямого численного решения рассматриваемых задач.

4. Личный вклад соискателя состоит в активном участии в постановке задач, их численном исследовании, обсуждении полученных результатов, а также оформлении результатов в виде публикаций и научных докладов.

5. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации
В представленной работе я не смогла найти принципиальных недостатков, тем не менее, определенные, на мой взгляд, недочеты, на которых следует остановиться отдельно, присутствуют.

1) На стр. 7 говорится, что «В работе [23] показано, что деформации и напряжения в ледовом покрове, которые вызваны движением внешней нагрузки вблизи одной

вертикальной стенки, сильно зависят от расстояния между нагрузкой и стенкой.» (Эта же фраза повторена в автореферате на стр. 4 для работы [9].) Однако эти исследования проведены в работе [33], а работа [23] посвящена решению двумерной задачи о набегании плоской волны на вертикальную стенку.

2) К сожалению, не редко используются некорректные формулировки. Так, например, задача (1.1.6) – (1.1.10) на стр. 26 называется системой уравнений, тогда как уравнением здесь является только (1.1.7), а остальные соотношения – граничные условия, для ряда которых не полностью выписана область определения, например, в (1.1.8), (1.1.9).

3) На стр. 30 и на стр. 112 перед изложением численных результатов приведены исходные параметры, однако в них не указана используемая плотность жидкости.

4) На рис. 1.13б и рис. 1.15а,б отсутствуют обозначения по вертикальной оси.

5) Следует исправить уравнение (1.5.30).

6) В уравнении (1.5.32) пропущены скобки для третьего слагаемого.

7) В уравнении (1.5.33) используется функция $Y(x,y,t)$, тогда как на стр. 60 введена функция $Y(t)$, зависящая только от t .

8) На стр. 66 не понятно, зачем уравнению (2.1.11) следует удовлетворять условию (2.1.10).

9) На рис. 2.11 – 2.14 не указаны размерности величин, отложенных по осям.

10) В списке литературы ссылки [34] и [68] дублируют друг друга, так что фактически список литературы содержит только 89 наименований. В автореферате ссылки [9] и [16] дублируют друг друга.

11) К сожалению, в тексте диссертации имеются опечатки (стр. 12, 29, 42, 44-46, 49, 57, 71, 75, 98, 104, 107, 109, 118, 119).

Сделанные замечания не снижают высокой положительной оценки результатов диссертационной работы, их научной и практической значимости. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

6. Заключение по диссертации

Таким образом, диссертация К.А. Шишмарева является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований построены решения ряда гидроупругих задач о поведении ледового покрова в прямоугольном канале под действием различных динамических нагрузок. Совокупность результатов, полученных в диссертации, соответствует

паспорту специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы, имеет теоретический характер, выполнена на высоком научном уровне и содержит новые результаты теории гидроупругости.

Результаты работы были представлены на многочисленных всероссийских и международных конференциях и с достаточной полнотой опубликованы в 15 печатных работах, из них 5 – в ведущих журналах, входящих в перечень ВАК в действующей редакции.

По актуальности, новизне и прикладной значимости диссертационная работа Константина Александровича Шишмарева «Поведение ледового покрова канала под действием движущейся внешней нагрузки» удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата, согласно Положению о порядке присуждения ученых степеней в текущей редакции, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник лаборатории гидроаэроупругости
Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук по
специальности 01.02.05 — Механика жидкости, газа и плазмы

И. Стурова

Стурова Изольда Викторовна

«28» ноября 2019 г.

ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук
630090, г. Новосибирск, проспект Лаврентьева, 15
Раб. тел.: 8 (383) 333-30-66 Моб. тел.: 8 913 987-23-15
E-mail: sturova@hydro.nsc.ru

Подпись И.В. Стуровой удостоверяю:

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН

к. ф.-м.н.



/И.В. Любашевская/