

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
*Константина Александровича Шишмарева*  
**«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»

**Целью** исследований, послуживших основой обсуждаемой диссертационной работы, является построение и анализ математических моделей процессов, происходящих в ледовом покрове при движении внешней нагрузки вдоль канала, покрытого льдом. Эти исследования включают также определение свойств вынужденных гидроупругих волн, формирующих прогибы ледового покрова, влияния параметров изучаемых явлений на характеристики таких прогибов и деформаций, выявление областей с максимальными деформациями и их исследование.

**Актуальность** темы диссертационной работы не вызывает сомнений. Она подтверждается не только определенным теоретическим прорывом, обусловленным рассмотрением задач о прогибах и деформациях ледового покрова, а также о гидроупругих волнах в каналах покрытых льдом и обладающих жесткими непроницаемыми стенками. Безусловная практическая связь результатов моделирования взаимодействия таких волн с морскими и прибрежными конструкциями (вертикальные колонны платформ и стенки гидротехнических сооружений) также подтверждает актуальность работы *К.А.Шишмарева*. Нельзя не упомянуть здесь и о чрезвычайно близкой задаче исследования последствий декабрьской 2018 г. катастрофы в покрытом льдом водохранилище Бурейской ГЭС, когда лишь чудом удалось избежать очень серьезных негативных последствий.

Говоря о **теоретической и практической значимости** результатов диссертационной работы *Константина Александровича*, надо отметить, его серьезный вклад в разработку и реализацию аналитических методов решения **теоретических** задач гидроупругости, в изучение систем уравнений в частных производных для конфигураций «упругое тело – жидкость». **Практическая** же ценность работы определяется возможностью

использования ее результатов при выборе средств и методов разрушения ледового покрова (вспомним «бурейскую» катастрофу) или при решении задач о безопасной транспортировке грузов вдоль покрытых льдом рек и каналов. Полученные *К.А.Шимаревым* аналитические соотношения окажутся также полезны при планировании натуральных и лабораторных экспериментов и интерпретации их результатов.

Все положения, выводы и рекомендации, сделанные автором диссертации хорошо **обоснованы**. Их **достоверность** подтверждается тщательностью и строгостью аналитических выкладок, разумным выбором параметров используемых методов численного интегрирования.

*Константин Александрович* очень разумно организовал текст диссертации так, что ему удалось найти способы сопоставления результатов решения рассмотренных задач, находя такие области изменения параметров изучаемых явлений, которые позволили ему довольно четко выявить аналогии и различия процессов в зависимости от сделанных предположений и допущений.

**Научная новизна** диссертационного исследования в первую очередь определяется особенностью ее постановки, учитывающей наличие жестких боковых стенок канала и дна. В такой задаче в отличие от постановки с неограниченным ледовым покровом, существует счетное число критических скоростей движения нагрузки и их решения значительно различаются.

На мой взгляд, следует согласиться с автором, говорящим о **новизне** следующих результатов.

- Построено оригинальное решение для установившихся прогибов и деформаций в ледовом покрове для задачи о движении внешней нагрузки с постоянной скоростью вдоль вязкоупругой ледовой пластины в канале. Найдена зависимость прогибов льда от скорости движения нагрузки и соотношения этой скорости с критическими скоростями гидроупругих волн, получена оценка влияния жестких стенок на прогибы и деформации в ледовом покрове.
- В терминах прогибов ледового покрова впервые построено и исследовано асимптотическое решение при больших временах нестационарной задачи о движении внешней нагрузки с постоянной скоростью вдоль упругой ледовой пластины (в приближении упругой ледовой пластины). Решение нестационарной задачи исследовано и при конечных временах.
- Доказана единственность классического решения нестационарной задачи о колебаниях ледового покрова (в приближениях упругой и вязкоупругой ледовой пластины) в канале под действием движущейся нагрузки.
- Построено решение задачи о прямолинейном движении диполя малой интенсивности под вязкоупругой ледовой пластиной в канале. Определено влияние положения диполя на прогибы и деформации льда.

- Исследована корректность гипотез линейной теории гидроупругости для постановки задачи о взаимодействии вязкоупругой ледовой пластины и движущегося диполя в канале с учетом нелинейных кинематического условия и интеграла Коши-Лагранжа. Впервые выделены три случая (в зависимости от параметров задачи), приводящие к трем разным системам уравнений, в которых линейная теория гидроупругости остается корректной.

Возвращаясь к структуре диссертационной работы и краткому изложению ее содержания, отмечу наиболее удачные разделы и не оставлю без внимания некоторые недостатки. Итак, диссертация *К.А.Шимарева* состоит из Введения, трех глав, Заключения и Списка литературы.

**Введение** содержит весьма глубокий, детальный и, может быть, даже чрезмерно подробный исторический обзор теоретических и экспериментальных работ в рассматриваемой диссертантом проблемной области.

Переходя к содержанию глав, еще раз отметим, что автором установлена и выдержана разумная структура текста. В первых параграфах каждой из глав он излагает постановку задачи, во вторых (за исключением третьей главы, где применяющийся метод совпадает в основном с методом, представленным в первой главе) – рассказывает о методике решения этих задач, а заключительные параграфы посвящает изложению полученных результатов.

**Первая глава** посвящена численному и аналитическому исследованию прогибов и деформаций, возникающих в ледовом покрове при движении внешней нагрузки с постоянной скоростью вдоль канала. Предположение о постоянстве скорости движения нагрузки позволяет автору перейти к рассмотрению стационарной задачи в системе координат, движущейся вместе с нагрузкой.

В результате решения этой задачи находятся прогибы ледового покрова и определяются его максимальные деформации для заданных значений параметров. Здесь также указываются условия, при которых использование линейной теории гидроупругости для определения деформаций в ледовом покрове является корректным. Для решения задачи используется преобразование Фурье в направлении движения нагрузки.

Очень удачным представляется содержание параграфа 1.4, в котором рассматриваются две упрощенные модели и показывается, что для задач взаимодействия ледового покрова и внешних нагрузок в канале динамическая компонента давления жидкости имеет важнейшее значение и должна учитываться даже для пластин большой толщины и медленной скорости движения нагрузки.

Безусловно, следует отметить важный теоретический результат, изложенный в параграфе 1.5, где доказана единственность классического решения задачи о колебаниях ледового покрова в канале в результате

движения внешней нагрузки. При этом рассматриваются случаи упругой и вязкоупругой ледовой пластины. Этот результат формулируется в виде Теоремы.

Во **второй главе** диссертации рассматривается уже *нестационарная* задача, в которой ледовый покров моделируется тонкой *упругой* пластиной в рамках теории Кирхгофа-Лява и коэффициент запаздывания  $\tau$  отсутствует. Здесь движущаяся с постоянной скоростью нагрузка вызывает прогиб льда и может создавать нестационарные гидроупругие волны. Эти волны затухают в отдалении от нагрузки при конечных временах. Методика решения задачи в основном сохраняется и приводит к решению бесконечной системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Основным результатом главы является вывод асимптотических формул, дающих интерпретацию формирования прогибов льда. С использованием численных методов для вычисления необходимых значений по асимптотическим формулам автор воспроизводит условия экспериментального ледового бассейна. Он показывает, что короткие волны генерируются перед нагрузкой, а длинные волны позади нее, так, что короткие волны имеют меньшую амплитуду, но большую кривизну, а деформации вдоль центральной линии канала перед нагрузкой всегда выше, чем деформации на стенках. Однако деформации на стенках больше деформаций вдоль центральной линии позади нагрузки.

В **третьей главе** рассматривается задача определения прогибов льда и деформаций ледового покрова, порожденных движением подводного тела, которое моделируется трехмерным диполем с постоянной интенсивностью, перемещающимся с постоянной скоростью. Основным результатом этой главы стал анализ влияния положения диполя в сечении канала на искомые характеристики исследуемого явления. Автору удалось показать, что это влияние довольно существенно также, как и асимметричность траектории его движения. При этом максимальные деформации достигаются в большинстве случаев над диполем и перед ним, или возле стенки, если диполь движется вблизи одной из них.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Теперь о замечаниях. Они разделены на 4 группы. Это – Содержательные замечания Неточности в обозначениях, Стилистические неточности и Опечатки.

### **Содержательные замечания**

1. На мой взгляд, следовало в самом начале работы уточнить смысл термина «численное исследование», под которым часто понимают проведение вычислительных экспериментов с использованием численных алгоритмов, аппроксимирующих некоторую математическую модель исследуемого процесса. Здесь же речь идет об использовании численных методов вычисления довольно сложных

интегральных выражений.

2. Говоря о применении численных методов вычисления интегралов, автор указывает на проведенные им предварительные расчеты с целью выбора оптимальных параметров вычислительных алгоритмов, для оценки сходимости получаемых результатов. И я ему верю, но, тем не менее, работа, безусловно, выиграла бы, если бы в ее состав были включены соответствующие иллюстрации (графики, таблицы и т.п.). Здесь же надо сказать об употреблении выражений «хорошая точность», «высокая точность», «быстро сходится» (см., например, Стр. 93, Стр. 113 и др.), которые нуждаются в количественном подтверждении.
3. (Стр. 55) – Формируя постановку задачи, автор требует существования «непрерывных в области  $\Pi$  производных функции  $w(x,y,t)$  до третьего порядка, ...». Этого требования недостаточно, так как указанная функция в указанной области подвергается действию оператора, содержащего дифференцирование 4-го порядка.
4. (Стр. 86) – Здесь автор говорит об учете «слабой» диссипации, ссылаясь при этом на рисунок 2.6, не поясняя, однако, каким образом результаты, изображенные на этом рисунке, учитывают слабую диссипацию.
5. Упомянув результаты исследования в условиях, соответствующих условиям экспериментального ледового бассейна, автор, к сожалению, не приводит информации о сопоставлении собственных «теоретических» результатов с данными лабораторных экспериментов,

Далее следуют замечания, которые я позволяю себе включить в отзыв, исключительно надеясь, что они окажутся полезными в дальнейшей работе *К.А.Шимарева*.

#### **Неточности в обозначениях**

(Стр. 23) – Здесь буквой  $E$  обозначен модуль Юнга, а на Стр. 26 этой же буквой, правда с зависимостью от  $(x,y)$  – тензор деформации.

(Стр. 24) – Здесь буквой  $\tau$  обозначено «время запаздывания», на Стр. 25 это уже «коэффициент..., отвечающий за затухание колебаний», а на Стр. 97 – «коэффициент затухания». На мой взгляд, этому параметру следовало уделить чуть больше места, уточнив физический смысл эффекта «запаздывания» в контексте работы.

#### **Стилистические недостатки**

(Стр. 11) – неудачная фраза «анализ с использованием как классических, так и методов, описанных в [35]».

(Стр. 13) – «...с телом, погруженным под ледовым покровом ... ».

(Стр. 20) – «Представлено исследование влияния скорости движения нагрузки, коэффициента запаздывания и ширины канала.» («влияния» на

что?).

(Стр. 28) – неудачная фраза «Подставляя разложение ... в уравнение ... и после последовательного умножения обеих сторон уравнения на ... , интегрирования результата по  $y$  ..., и с учетом ....., уравнение ... сводится к бесконечной системе .....

(Стр. 29) – неудачная фраза «Эти собственные значения дают дисперсионные соотношения ...».

(Стр. 32) – неудачная фраза «Движение нагрузки не создает гидроупругие волны, ...».

(Стр. 49) – неудачная фраза в подписи к рисунку 1.14 «Дисперсионные соотношения ( $a$ ) ....»; здесь изображены соответствующие кривые, а не соотношения.

(Стр. 53) – неудачная фраза «...на стенках канала в области  $y = \pm L$ .»; скорее не «в области», а «при».

(Стр. 58) – неудачное употребление выражений «в последнем равенстве» и «из последнего равенства», затрудняющее ориентацию читателя.

(Стр. 66) – неудачная фраза «Уравнение (2.1.7) используется только ...»; на мой взгляд, (2.1.7), скорее, не «уравнение», а «выражение».

(Стр. 87) – неудачная фраза «прогибы льда достигают форму волны».

(Стр. 101) – неудачное выражение «Суммарный поток жидкости, ... является потенциальным»; лучше говорить о «суммарном течении».

(Стр. 102) – неудачное выражение «...диполь является стационарным...».

(Стр. 103) – неудачно выражение «Если  $R$  сравнимо с размерами сторон канала  $L$  и  $H$  и прогибом льда пренебрегается, тогда диполь будет ...»; лучше «Если..., то».

(Стр. 116) – неудачное выражение «спереди диполя»; лучше «вперед диполя» или «перед диполем».

(по Главе 3) – На мой взгляд, неудачным является использование термина «замороженный канал»; здесь речь идет о канале, «покрытом льдом».

(По все работе) – Имеют место несовпадения времен; Например, «Для заданной длины волны **определены** частоты и ... . Линейная задача гидроупругости **сводилась** к задаче...».

(По всей работе) – Чрезмерное употребление слова «данный» в смысле «этот».

(По всей работе) – Имеют место неточности в подписях к рисункам – автор называет «пунктиром» то, что называется «штриховой линией», а настоящий «пунктир» – «точечной линией».

### Опечатки

(Стр.7) – «Эксперименты проводились в ледовых бассейнах ... с целью исследования эффекта вертикальных стенок на эффективность разрушения льда...»; пропущено слово «влияния» .

(Стр. 8) – «Для неограниченной ледовой пластины [1] существует только одно дисперсионное соотношение между частотой и длиной гидроупругой

волны и, соответственно»; дисперсионные соотношения устанавливают связь между частотой и волновым числом, либо между периодом и длиной волны.) (Стр. 11) – «для задачи с неограниченным ледовым покровом»; надо «ледовым».

(Стр. 43) – «Матрица присоединенных масс  $M$  отсутствует уравнениях...; пропущен предлог «в».

(Стр. 46) – «в отличие от моделей СМП ...»; должно быть МСП.

(Стр. 57) – доказывая единственность решения рассматриваемой задачи, автор пишет «Докажем, что решением задачи ... является  $w = 0$  и  $\varphi = 0$ »; на мой взгляд, здесь более уместен знак тождества.

(Стр. 74) – «...произведения этих функций на  $t$  стремится к...»; надо «стремятся».

(Стр. 84) – Говоря о «направлениях максимальных деформаций в разных точках ледового покрова» автор ссылается на Рисунок 2.7; однако отсутствие «стрелочек» на элементах «векторного» поля, изображенного на этом рисунке, не позволяет определить направление деформаций однозначно.

(Стр. 100) – «Диполь, движущейся»; должно быть «движущийся».

Подводя итог, начну с цитаты из Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842. В нем говорится: «п.9 ... *Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.*

*п.10. Диссертация должна быть написана автором самостоятельно, обладать внутренним единством, содержать новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствовать о личном вкладе автора диссертации в науку....*

*... в диссертации, имеющей теоретический характер, должны приводиться рекомендации по использованию научных выводов. Предложенные автором диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями».*

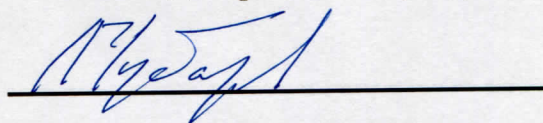
Я высоко оцениваю работу *К.А.Шимарева* и считаю, что его диссертация написана математически грамотно, качество полученных автором результатов, как и методы исследования, использованные им для их достижения, без сомнения говорят о том, что *Константин Александрович* является сложившимся квалифицированным математиком-исследователем, обладает всеми необходимыми профессиональными знаниями и умениями. Изучив текст диссертации *К.А. Шимарева*, с ответственностью утверждаю, что эта работа полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», а соискатель заслуживает присуждения искомой степени.

*Я даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.*

Доктор физико-математических наук  
по специальности 05.13.16 – применение  
вычислительной техники,  
математического моделирования и  
математических методов в научных  
исследованиях,  
главный научный сотрудник  
лаборатории анализа и оптимизации  
нелинейных систем  
Института вычислительных технологий  
Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИВТ СО РАН)

Леонид Борисович Чубаров



08 декабря 2019 года

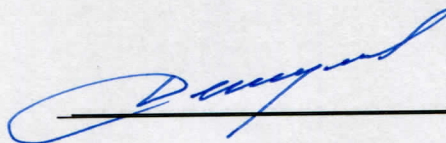
**Адрес организации:**

630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. Академика М.А.Лаврентьева, дом 6, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук,  
лаборатория анализа и оптимизации нелинейных систем,  
общий электронный адрес организации [ict@ict.nsc.ru](mailto:ict@ict.nsc.ru)  
телефон: +7(383) 333-18-82,  
e-mail: [chubarov@ict.nsc.ru](mailto:chubarov@ict.nsc.ru),

Подпись  
*Леонида Борисовича Чубарова*

Заместитель директора  
ИВТ СО РАН

«УДОСТОВЕРЯЮ»



В.А.Детушев

