

ОТЗЫВ

официального оппонента Л.А. Назаровой
на диссертацию В.П. Епифанова
“Акустические методы в механике деформирования и разрушения
пресноводного поликристаллического льда”,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности
01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации. В последнее десятилетие в России увеличивается интенсивность исследований и освоения природных ресурсов Арктики. Возведение нефтедобывающих платформ на шельфе северных морей, ледовое бурение, проектирование судов ледового класса, оценка устойчивости зимних переправ, аэродромов и горных ледников – вот далеко не полный перечень проблем, при решении которых необходима информация о деформационно-прочностных характеристиках льда, а также параметрах уравнений состояния, описывающих его поведение при термомеханических воздействиях. Развитию методов и подходов, а также технических средств для получения такой информации и посвящена диссертация, *актуальность* темы которой не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Научные положения диссертации сформулированы на основе интерпретации большого объема данных лабораторных (оригинальная установка “ТРЕК”) и натуральных испытаний, выполненных с использованием сертифицированного оборудования и калиброванных датчиков. Ряд разработанных методов и приборов защищен авторскими свидетельствами на изобретение. Для интерпретации экспериментальных данных применялись классические модели механики сплошной среды (упругие, вязкоупругие, накопления повреждений), часть из них реализована с использованием пакета ANSYS. Текст диссертации четко структурирован, изложение материала логично, полученные результаты не противоречат общим представлениям о деформировании и разрушении упруговязкопластических сред, соответствуют сформулированным целям и задачам исследования. Все это позволяет утверждать, что основные выводы,

положения и практические рекомендации диссертационной работы являются обоснованными.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на:

- репрезентативном объеме экспериментальных данных, воспроизводимости опытов, корректной обработке результатов методами математической статистики;
- количественной сопоставимости установленных в результате испытаний значений механических характеристик льда (например, скачка скорости продольных волн при изменении фазового состояния) с таковыми, полученными другими исследователями;
- положительных результатах внедрения разработанного экспресс-метода и устройства “Пенетрометр” для оценки локальной твердости льда и снега;
- корректном применении математического аппарата механики сплошных сред и использовании апробированных моделей упруго-вязкопластического деформирования твердых тел.

Все представленные в диссертации результаты являются **новыми**. **Наиболее существенными**, на мой взгляд, являются следующие.

1. Теоретически обоснован и экспериментально апробирован акустический метод, позволяющий в широком диапазоне отрицательных температур и скоростей нагружения проводить количественную оценку механических характеристик льда на различных стадиях деформирования (от упругости и нелинейной упругости до остаточной прочности). Для этого созданы оригинальные методики испытаний и интерпретации результатов, а также соответствующее оборудование.

2. На основе механизма накопления повреждений разработаны реологические модели, устанавливающие количественную связь между характеристиками процессов деформирования на различных масштабных уровнях и, следовательно, выявить информативные параметры акустической эмиссии, позволяющие: определять макроскопические свойства льда (пределы

упругости, текучести etc.); в процессе мониторинга оценивать состояние ледового массива по кинетике накопления микродефектов, в частности, идентифицировать стадию предразрушения.

3. Установлены диапазоны (по напряжениям, частоте и температуре), в которых реализуется амплитудно-независимый режим деформирования поликристаллического льда и, следовательно, могут быть определены его деформационные характеристики на допредельной стадии с помощью предложенного акустического метода.

4. Построены уравнения состояния, описывающие реологическое деформирование и разрушение гетерогенного пресноводного льда, получены эмпирические зависимости констант этих уравнений от скорости нагружения и структурных параметров материала.

5. Обоснован механизм формирования и установлены закономерности эволюции зон локализованных пластических деформаций, возникающих в окрестности контакта льда и твердой стенки. Определены макроскопические характеристики (динамическая вязкость, коэффициент трения) этих зон и их связь с параметрами акустической эмиссии. Это является теоретической основой для разработки уточненных расчетных методик для оценки ледовых нагрузок на сооружения различного назначения.

Работы соискателя опубликованы в профильных высокорейтинговых журналах и в полной мере отражают полученные результаты, выводы и защищаемые научные положения. Следует особо отметить, что подавляющее большинство статей написано без соавторов.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе необходимо сделать следующие **замечания**.

1. В экспериментах на растяжение в средней (цилиндрической) части образца действительно реализуется однородное двухосное напряженное состояние $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ и полученная зависимость $\sigma_1 = \sigma_1(\varepsilon_1)$ адекватно описывает квазистатическое деформирование (растяжение). Однако, в окрестности торцов образца возникают области концентрации напряжений, являющиеся

основным источником акустической эмиссии, параметры которой регистрируются пьезодатчиками и ассоциируются со всем образцом. Как учитывается это обстоятельство при количественной оценке эволюции поврежденности материала образца?

2. В некоторых случаях не обосновывается выбор типа вязкоупругой модели для обработки результатов испытаний, например, формула (3.30).
3. Рассмотренная в п. 4.3.1 обратная задача не является таковой в классическом определении этого понятия. На самом деле, в рамках простейшей модели проводится оценка линейных размеров «носителей» по резонансной частоте. Следует четко объяснить термин ««равновесный» размер зерна».
4. При интерпретации экспериментальных данных, связанной с необходимостью моделирования 2D и 3D полей напряжений, целесообразно придерживаться единообразного подхода. Так, если для оценки K_{IC} (п. 3.1.2) напряжения в области с разрезом рассчитывались с помощью метода конечных элементов, то в задаче о вдавливании штампа (более сложной с вычислительной точки зрения) использован инженерный подход (п. 3.1.3).
5. Из обзора выпали исследования школы В.Л. Шкуратника по диагностике состояния горных пород на основе анализа параметров акустической эмиссии.
6. Следует использовать одинаковую терминологию для коэффициента интенсивности напряжений (stress intensity factor): на стр. 113 K_{IC} – вязкость разрушения, на стр. 103 K_{IC} – критический коэффициент концентрации напряжений. Что такое «расчетная упругость» (стр. 184, подпись к рисунку 4.25)? Лед – твердое тело, поэтому использовать термин «коэффициент внутреннего трения», подразумевая под ним вязкость (стр. 79) не совсем корректно.
7. При изложении материала следует избегать неопределенностей типа «образец должен иметь достаточную толщину» (стр. 140). Какую?

Сделанные замечания не меняют общей высокой оценки диссертационной работы.

Диссертация аккуратно оформлена, изложена грамотным литературным языком, научная терминология использована корректно.

Диссертационная работа является выполненным на актуальную тему завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором на базе оригинальных экспериментов созданы теоретические положения деформирования и разрушения льда при термомеханических воздействиях, совокупность которых можно квалифицировать как важный вклад в фундаментальную науку, имеющий очевидные приложения в задачах проектирования, возведения и эксплуатации промышленных объектов различного назначения в высоких широтах. Работа отвечает квалификационным требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Епифанов Виктор Павлович - заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Главный научный сотрудник лаборатории горной информатики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук

доктор физ.-мат. наук



Л.А. Назарова

12 апреля 2018 г.

Назарова Лариса Алексеевна

Тел.: +7-913-206-58-67 (моб.)

e-mail: lanazarova@ngs.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук
630091 Новосибирск, Красный проспект, д.54.

Подпись д.ф.-м.н. Л.А. Назаровой удостоверяю.

Ученый секретарь ИГД СО РАН,

к.т.н.



А.П. Хмелинин