

ОТЗЫВ

официального оппонента

Брагова Анатолия Михайловича

на диссертацию **В.П. Епифанова** на тему

**«Акустические методы в механике деформирования и разрушения
пресноводного поликристаллического льда»,**

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Актуальность темы диссертации

Активное освоение природных богатств крайнего Севера вызвало значительный интерес к исследованиям процессов деформирования и разрушения льда, определению его физико-механических характеристик в зависимости от скорости деформации, температуры, вида НДС и т.д. Во всех случаях, при эффективном разрушении льда, например, при эксплуатации ледостойких сооружений и намерзании льда на поверхность элементов конструкций, а также при решении практических задач по упрочнению льда в случае создания композитных ледовых переправ и аэродромов, ледовых островов и причалов, важно знать прочностные и деформационные характеристики льда и механизмы его разрушения. Применение акустических методов для этих целей вполне оправдано, поскольку физическая акустика занимает важное место в исследованиях строения вещества. Кроме того, подходы, развиваемые в механике деформирования и разрушении льда как модельного материала, могут с успехом применяться и для других материалов, и для создания материалов с принципиально новыми свойствами. Сказанное свидетельствует о **несомненной актуальности** темы данной диссертационной работы.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы. Промежуточные выводы по главам даются в конце глав в виде заключений. Работа содержит 23 таблицы и 130 иллюстраций. Объем диссертации 211 страниц. Список цитируемой литературы насчитывает 329 источников. По объёму и структуре работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям.

Апробация работы и публикации

По теме диссертации В.П. Епифановым опубликовано 65 печатных работ, в том числе 24 статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, а также 30 статей ВАК, сделаны десятки докладов на всероссийских и международных конференциях.

Общая характеристика работы

Диссертация имеет продуманную структуру. Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации и сформулированы цели диссертации. Представлены сведения об апробации результатов и дается традиционная формулировка выносимых на защиту положений. Дано описание структуры диссертации с ее кратким содержанием. Во введении также отмечается новизна, практическая значимость и личный вклад автора.

В **первой главе** приводится обзор литературы, посвящённой применению методов акустоупругости в механике деформирования и разрушения пресноводного льда для исследования деформационных процессов. Приведено описание измерительного акустического комплекса, созданного автором в Институте проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН.

Вторая глава посвящена исследованию упругости пресноводного поликристаллического льда при линейных и нелинейных деформациях. Установлены необходимые и достаточные условия применения ультразвуки для исследования амплитудно-независимого механизма деформаций льда. Особого внимания заслуживает предложенный диссертантом способ определения физического предела упругости льда. Приведены данные о параметрах дислокационной сетки, а также о размерах и концентрации кинетических элементов структуры льда вблизи пределов упругости и текучести. Показан различный ход температурных зависимостей коэффициентов внутреннего трения, обусловленных смещением дислокаций. Определён баланс диссипации энергии упругих волн на вязкие потери и рассеяние межкристаллитными поверхностями. Предложен способ выделения подобластей реологии пресноводного льда: пластического течения, трещинной дилатансии и хрупкого разрушения.

В **третьей главе** количественно исследованы закономерности деформационных изменений структуры льда при нелинейных деформациях в испытаниях на растяжение, сжатие, удар и экструзию, включая механизмы роста магистральной трещины и кинетику трещинообразования. Деформационные изменения структуры пресноводного льда количественно представлены параметром дефектности, входящим в определяющее реологическое уравнение. Установлена количественная связь избыточного коэффициента ослабления ультразвука с размером искусственно созданных и деформационных дефектов при когезионном разрушении. Предложены модели, в которых количественно учитываются деформационные изменения структуры льда.

Четвертая глава посвящена исследованию контактного разрушения льда и моделированию промежуточного слоя. Применён метод интенсивной пластической деформации, получены и исследованы макроскопические образцы со структурой промежуточного слоя. Установлен эффект усиления пластичности при наложении фронтов упругих волн, установлена количественная связь между микроскопическими и макроскопическими характеристиками льда. Исходная идея связи микроскопических характеристик деформируемого материала с их макроскопическими параметрами подтверждена обширными экспериментальными данными. Осуществлена визуализация текстуры ледяного потока.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность результатов, полученных в диссертации, основана на использовании известных методов механики деформируемого твердого тела, физической акустики и спектрального анализа. Достоверность аналитических решений обеспечивается корректной постановкой задач и аккуратным использованием аналитических методов. Достоверность полученных в работе результатов подтверждается их сравнением и совпадением с данными, опубликованными другими исследователями.

Научная **новизна** результатов диссертации состоит в количественном определении деформационных дефектов и кинетики их накопления непосредственно в процессе механических испытаний во всей области механического нагружения, включая процесс разрушения, а также в разработке реологических моделей, учитывающих деформационные изменения структуры и позволяющих прогнозировать механическое поведение льда данной структуры в широком диапазоне граничных условий. Впервые изучен механизм деформирования и разрушения поликристаллического пресноводного льда непосредственно в процессе ударного нагружения и сдвига в условиях гидростатического сжатия. Установлен эффект усиления пластичности при наложении фронтов упругих волн.

Наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем

1. Впервые получены количественные данные о деформационных изменениях структуры исследуемого материала непосредственно в процессе механических испытаний в широком диапазоне термо-механических условий и при различных видах напряженного состояния. Конкретно для пресноводного льда установлена связь между микроскопическими характеристиками и макроскопическими параметрами, причем эта связь подтверждена обширными экспериментальными данными.
2. Разработан комплексный подход к исследованию деформационных изменений структуры и разрушения с помощью акустических методов, который позволяет обоснованно строить математические модели, учитывающие изменения структуры в процессе механических деформаций и прогнозировать его поведение в широком интервале граничных условий.
3. Исследованы механизмы роста магистральной трещины, кинетика трещинообразования и влияние импульсов напряжений на структуру льда в промежуточном слое (эффект усиления пластичности при наложении фронтов упругих импульсов).

Замечания по диссертации

1. В п. 3.2.2. главы 3 при обсуждении связи между размерами дефектов и акустическими параметрами льда указывается, что при определении тарировочных зависимостей избыточного поглощения от нормированного сечения дефектов трещины во льду создавали механическим способом или лазерным лучом. На рисунках 1.16 и 3.14 показаны

кольцевые трещины отрыва и медианные трещины. К этому необходимо было бы добавить, какие принципиальные различия обнаружены для этих типов искусственных дефектов?

2. В п. 4.3.1 главы 4 показано, что количество частиц n , «участвующих» в формировании акустического импульса разрушения, может быть рассчитано по значениям упругости для различных n по известным характеристикам структуры льда и экспериментально наблюдаемым частотам спектров. Действительно, определённые с помощью акустического метода силовые константы соответствуют силовым константам, характеризующим растяжение и изгиб гидроксильной связи О-Н-О и Н-О-Н, которые получены методом ядерного магнитного резонанса. При этом сделано неявное предположение, что в спектре разрушения выбирается именно низкочастотная (первая) мода акустического сигнала, как наиболее достоверная. Однако, в диссертации это предположение практически никак не обосновано.

3. При оценке влияния структуры льда на механику деформирования и разрушения режимы движения льда представлены уравнением (4.9), из которого следует, что механизм скоростей деформации определяется соотношением скоростей деформации и ползучести льда. При этом отмечается, что время релаксации необратимых деформаций зависит от температуры и изменяется в широком интервале значений. Действительно, в условиях высокого гидростатического сжатия формируется структура, аналогичная структуре льда в промежуточном слое (с малым размером зерна и повышенной текучестью), при этом базисный механизм сдвига перестаёт быть определяющим. Однако такая модель не учитывает возможность присутствия плёнки талой воды, что никак не обсуждается.

Указанные замечания не снижают положительной оценки работы в целом.

Заключение

Все результаты автора опубликованы в научных журналах из списка ВАК и доложены на отечественных и международных конференциях. Автореферат и публикации автора отражают содержание диссертации. Работа в целом достаточно компактна, однако отличается большим объемом представленного экспериментального материала: акустические, реологические и прочностные характеристики пресноводного льда исследованы при различных видах напряженного состояния и широком диапазоне термодинамических условий.

Диссертация Елифанова Виктора Павловича «Акустические методы в механике деформирования и разрушения пресноводного поликристаллического льда» представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области механики влияния деформационных дефектов на реологические и прочностные свойства пресноводного поликристаллического льда, являющуюся новым перспективным направлением в механике деформируемого твердого тела. По своим целям, задачам, содержанию и

научной новизне работа полностью соответствует Требованиям п.9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

Считаю, что диссертационная работа В.П. Епифанова удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент: доктор технических наук, профессор,
Заведующий лабораторией динамических испытаний материалов Научно-исследовательского института механики Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
603950, Нижний Новгород, ГСП-1000
пр-т Гагарина, 23, корп.6
(831) 465-16-22
e-mail bragov@mech.unn.ru



Брагов Анатолий Михайлович

« 10 » апреля 2018 г.

Подпись Брагова А.М.
Заведую. Ученый секретарь ННГУ
Л.Ю. Черноморская
Тел. 462-30-21

