

## Отзыв

члена диссертационного совета Полянского Владимира Анатольевича на диссертацию

Волкова Григория Александровича «Инкубационные характеристики предельных состояний сплошных сред», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа Волкова Г.А. посвящена исследованию инкубационных процессов при быстром разрушения материалов и при кавитации в жидкостях.

### **Актуальность темы диссертации**

Актуальность работы обусловлена большим значением быстрых переходных процессов в современной технике и технологиях. Ударные нагрузки для разрушения хрупких материалов являются рабочим режимом в горнодобывающих, горнообогащительных и многих других машинах. Процессы кавитации возникают в компрессорах и насосах, перекачивающих различные жидкости, на кромках гребных винтов кораблей, при быстром вскипании жидкости в момент сброса давления, а также многих других случаях. Для решения задач проектирования, расчета на прочность современных машин и управления быстропеременными процессами необходимо, прежде всего, знать, какие общие закономерности имеют процессы быстрого разрушения сплошных сред. Инкубационные процессы являются одним из важнейших механизмов такого быстрого разрушения.

### **Новизна полученных результатов**

Разработана методика обработки данных высокоскоростных динамических испытаний. Сделан важный шаг к стандартизации и унификации методов определения параметров инкубационных процессов, который позволяет использовать эти параметры в инженерном расчете. Определен доверительный интервал для измеряемых по данным эксперимента значений инкубационного времени.

Впервые вибрационное акустическое воздействие учтено при анализе фазовых превращений, получены соотношения, позволяющие корректировать кривые фазового равновесия при акустическом воздействии на сплошную среду.

Исследовано влияние сверхзвуковой фазы контактного ударного взаимодействия на энергию процессов разрушения.

Разработан новый аналитический метод анализа экспериментальных данных, позволяющий скоростную чувствительность режима разрушения и механизмов пластического деформирования в металлах по скоростной зависимости прочности материала и данных статических испытаний, без привлечения данных о микроструктуре изломов.

PK №33-06-1222 от 11.12.2024

Дана новая интерпретация параметров критерия инкубационного времени, которая позволяет применять его не только к задачам ударного разрушения, но и к широкому классу задач о разрушении материалов, что открывает новые направления исследований в механике разрушения.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов**

Теоретическая ценность исследования состоит в том, что полученные результаты позволяют обобщить критерий инкубационного времени, который первоначально был разработан для разрушения хрупких материалов, на широкий класс задач механики разрушения материалов, вскипания и кавитации в жидкостях. Это открывает новое направление исследований механизмов разрушения и кавитации.

Проведенные в работе исследования создают базу для стандартизации методов определения инкубационного времени, рассмотренные примеры исследования разрушения имеют непосредственное практическое значение. В частности, большой интерес для технологий обработки материалов, а также технологий, измельчения и обогащения рудных материалов представляют результаты исследования влияния акустического воздействия на основные параметры разрушения материалов. Результаты исследований скоростной чувствительности режимов разрушения материалов и методы ее предсказания имеют большое значение для проектирования ударопрочных конструкций.

### **Оценка содержания и оформления работы**

Диссертация состоит из введения, введения, пяти глав и заключения, 41 рисунков, 7 таблиц, библиографии из 188 наименований. Объем диссертации составляет 204 страницы.

Во введении сделан обзор литературы, обоснование актуальности и практической значимости исследования, сформулированы цели и задачи, описаны методы и общая методология исследования, основные научные результаты, положения, выносимые на защиту, описана теоретическая и практическая значимость полученных результатов, их апробация, личный вклад автора, структура и объем диссертации.

В первой главе рассмотрена задача о разрушении хрупкого материала при нагружении с постоянной скоростью деформации. Рассмотрены способы оценки значений критического напряжения и инкубационного времени разрушения. Метод знаковозмущающих сумм применен для оценки параметра инкубационного времени по экспериментальным данным. Показано, что экспериментальные данные с доверительной вероятностью лежат между двумя расчетными зависимостями, полученными для границ доверительного интервала параметра инкубационного времени.

Во второй главе критерий инкубационного времени был применен для прогнозирования кавитации в жидкостях с учетом дополнительного акустического возмущения жидкостей. Получены расчетные зависимости порога акустической кавитации воды от температуры при различных давлениях, которые с учетом погрешности измерений полностью соответствуют экспериментальным данным. Проведен анализ энергетического баланса при возникновении и схлопывании кавитационных пузырьков. Вид полученных зависимостей качественно полностью согласуется с результатами экспериментальных исследований, что позволяет сделать обобщение инкубационного критерия на жидкие среды.

В третьей главе исследован энергетический баланс при высокоскоростном разрушении упругой сплошной среды. Показано критическое влияние жесткости ударника и его формы на процесс разрушения. Исследованы дозвуковые и звуковые скорости взаимодействия ударника и сплошной среды. С помощью критерия инкубационного времени вычислены пороговые энергии разрушения. Сделаны сопоставления с экспериментальными данными. На основании полученных зависимостей проведена оптимизация энергозатрат при вибрационной обработке различных материалов, в том числе, имеющих значительную пластичность (деформацию до разрушения). Показано, что построенная на основании критерия инкубационного времени модель позволяет количественно определить оптимальные по энергоемкости режимы вибрационной обработки и разрушения различных материалов.

В четвертой главе рассмотрена двумерный случай метода знаковозмущенных сумм, который позволят оценивать не только инкубационное время, но и значение критического напряжения. Метод применен к реальным экспериментальным данным. Показано, что для определения значений критического напряжения могут быть применены два различных подхода, но напряжение, определенное по наименьшему сечению доверительного множества (минимальным значениям ширины доверительного интервала) более точно описывает разрушение ряда марок бетонов.

В пятой главе проведено сравнение наиболее известных критериев разрушения с критерием инкубационного времени. На экспериментальных данных показано, что критерий инкубационного времени работает в более широком диапазоне скоростей разрушения для широкого круга материалов. В том числе, при экспериментальном определении степенного параметра инкубационного критерия, он работает для пластичных материалов при быстром нагружении и позволяет предсказать значение динамического предела текучести.

В заключении дано краткое описание основных полученных результатов.

Оформление соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. По содержанию диссертации следует отметить следующие замечания:

1) Обзор литературы включен во введение, но не сформулированы выводы по обзору литературы.

2) Несмотря на наличие фундаментальных результатов, автор не сформулировал в явном виде новые направления исследований, которые можно открыть, опираясь на эти результаты.

3) В тексте имеются нарушения согласования слов в предложении, например «Разработанная в диссертации новый способ оценки значения» в Заключении.

6) На графиках 3.6, 3.5, 3.4, 3.2 изображена нормированная неким инвариантом безразмерная кинетическая энергия ударной частицы, а в подписи к рисункам указана «кинетическая энергия», что заставляет читателя искать на графике ее размерность в [Дж].

5) В подписи к рисункам 2.3, 2.9 произведение круговой частоты на инкубационное время (имеющее размерность [радиан]) названо частотой или частотой в безразмерном виде, что не соответствует физическому смыслу этой величины.

Непонятно также, какая частота ультразвука имеется ввиду на рисунке 2.4, круговая, имеющая размерность [рад/с] (что, в общем, - следует из текста), или просто частота, имеющая обычно размерность [Гц]. Путаницу вносит то, что размерность обеих частот может обозначаться как [1/с], величины частот отличаются почти на порядок, а в специальной литературе при характеристике звуковых, а тем более - ультразвуковых сигналов обычно используют просто частоту, имеющую размерность [Гц].

### Заключение

Представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Волков Григорий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушений пунктов 9 и 11 указанного Порядка не обнаружены.

Директор  
ИПМаш РАН, д.т.н.,



Полянский В.А.

09 Декабря 2024 года