

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Орловой Юлии Николаевны «Комплексное теоретико-экспериментальное исследование поведения льда при ударных и взрывных нагрузках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа Ю.Н. Орловой посвящена исследованию процессов деформирования и разрушения льда в условиях ударных и взрывных нагрузений.

Актуальность исследования процессов деформации, распространения волн сжатия, растяжения, а также процессов разрушения для различных модификаций льда связана с потребностью в создании и отработке моделей разрушения преград из озерного, речного, морского льда, а также ледовых масс в астероидах. Целый ряд особенностей этих процессов, связанных с зависимостью механических характеристик льда от его начальной температуры деформирования, выраженной зависимости механических характеристик льда от изменения температуры в процессе деформирования и разрушения, анизотропии механических характеристик льда из-за наличия текстуры, ставят исследования процессов деформации льда в разряд особо сложных. Информация о механических свойствах льда в условиях динамических нагрузений в научной литературе ограничена, а кроме того, механические свойства для различных модификаций льда отличаются существенным разбросом. Поэтому исследования процессов деформации льда, проведенные и с помощью методов численного моделирования и с использованием натуральных экспериментов, как это сделано в предложенной диссертационной работе, являются наиболее предпочтительными. Диссертационная работа состоит из пяти связанных между собой разделов, введения и заключения. Во введении дается детальный критический обзор

работ по данной тематике. Судя по проведенному анализу, диссертант **глубоко изучил проблему** исследований, что позволило ему сформулировать основную цель работы и методы ее достижения. Диссертантом реализован системный подход в организации исследований, который обусловил **научную ценность** полученных результатов.

В первом разделе диссертации приведена математическая модель упругопластического деформирования и разрушения в волнах сжатия и растяжения изотропной пористой среды в динамической постановке, которая используется для численного моделирования процессов деформирования льда при его ударном и взрывном нагружении. Разрушение пористого льда моделируется различными критериями разрушения в условиях растягивающих напряжений при отрыве, либо с использованием величины удельной работы девиаторных напряжений при пластических деформациях сдвига. Приведен используемый в работе алгоритм сглаживания контактной границы, применяемый при больших степенях ее искажения. Он используется для корректного моделирования воздействия продуктов детонации на поверхность ледовой массы, с возникшими в ней в процессе разрушения многочисленными изломами и трещинами и позволяет увеличить точность получаемых расчетов за счет исключения нефизичных эффектов на границе раздела “газ-твердое тело”. Приведен оригинальный алгоритм перестроения расчетной сетки путем деления крупных элементов на более мелкие. Этот алгоритм разработан для увеличения точности расчетов при численном моделировании воздействия продуктов детонации на лед при его разрушении. Увеличение точности расчетов при делении крупных элементов, содержащих продукты детонации, на более мелкие, происходит в зонах границ раздела “газ-твердое тело” за счет увеличения количества элементов. Предложенный алгоритм является оригинальным и при численном моделировании деформирования и разрушения в условиях высокоскоростного нагружения, таких хрупко разрушающихся материалов

как лед, расширяет возможности применения для численного моделирования лагранжевых численных методов.

Во втором разделе диссертации для тестирования предложенной численной методики представлены результаты расчетов некоторых тестовых задач. При численном моделировании соударения двух стальных цилиндров, соударении металлических и изо льда цилиндров по жесткой стенке, ударе цилиндра изо льда по тонкой пластине показано, что предложенная численная методика позволяет анализировать особенности деформирования и разрушения льда при ударном и взрывном нагружении. Отличия результатов численных расчетов и полученных в натуральных экспериментах, в рассмотренном диапазоне начальных скоростей ударного нагружения, составляли от 2% до 20% по различным параметрам. К сожалению, из-за сложности происходящих процессов разрушения в таком материале, как лед, в натуральных экспериментах удастся определить только интегральные характеристики процесса разрушения и это увеличивает ценность исследований процессов разрушения льда с помощью методов численного моделирования.

В третьем разделе приведены результаты исследования влияния формы компактных ударников при внедрении их в ледовую преграду на особенности процесса деформирования и разрушения такой преграды при различных скоростях нагружения до 325 м/с. Благодаря применению алгоритма фрагментирования преграды изо льда при ее разрушении, исследованы особенности возникновения откольных тарелок с лицевой и тыльной поверхностей преграды при применении компактных ударников различных форм.

Четвертый раздел диссертации посвящен исследованию напряженно-деформированного состояния и особенностей разрушения преград изо льда при внедрении в них удлиненных ударников с одинаковой массой с плоской, конической или оживальной формами головных частей. В расчетах показано, что наименьшие диаметры кратеров во льду формируются при

использовании ударников с оживальной формой головных частей. Время внедрения ударников такой формы в ледяную преграду было максимальным. При внедрении удлинённых ударников с плоской формой головной части получено, что при увеличении начальной скорости ударника до 200 м/с диаметр кратера в ледовой преграде растёт, при дальнейшем увеличении начальной скорости наблюдается его уменьшение.

В пятом разделе приведены результаты исследования процессов ударного и взрывного нагружения льда с помощью натуральных экспериментов. Ударное нагружение льда проведено стальными шариками, а также разрушение преграды из льда толщиной 2 м проведено экспериментально с помощью взрыва. Приведены результаты исследования с помощью численного моделирования влияния глубины закладки взрывчатого вещества на различных высотах по толщине ледовой преграды на процесс разрушения в ледовой преграде. Исследуемая преграда из льда толщиной 2,5 м, находилась на воде, толщина слоя которой составляла также 2,5 м. В результате проведенных исследований получено, что максимальное разрушение преграды такой толщины реализуется при закладке взрывчатого вещества в середине преграды. Приведен анализ разрушения преград из льда при внедрении крупногабаритных ударников с инертным наполнителем (235 кг) с учетом упругопластического деформирования материалов ударников. Глубина внедрения такого ударника в ледовую преграду достигала 1,62 м при начальной скорости ударника 300 м/с.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Вынесенные на защиту научные результаты, несомненно, **являются новыми**. Достоверность их подтверждается сравнениями результатов натуральных экспериментов и имеющихся экспериментальных данных с результатами, полученными автором с методом численного моделирования. **Обоснованность** основных результатов и выводов обеспечивается

применением в качестве базового апробированного численного метода решения, математической корректностью постановки задач.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

1. Ни в автореферате, ни в диссертационной работе не приведено определение “параметра поврежденности”, зависимости которого от времени при численном моделировании разрушения льда приведены на рисунках в разделах 3, 4 и 5.
2. В диссертационной работе приведены критерии разрушения льда и критерий удаления ячейки в процессе численного моделирования деформирования льда. Из текста диссертации неясно, по каким соотношениям моделировались процессы деформации в преграде изо льда после выполнения какого-либо критерия разрушения, но до выполнения критерия удаления ячейки.
3. При численном моделировании взрывного разрушения льда на воде не приведены пояснения выбора толщины водного слоя (2,5 м), а также влияния учета наличия водного слоя на результаты расчетов процессов деформирования и разрушения льда.
4. В работе приведены результаты исследований по разрушению речного льда при взрыве в натуральных экспериментах, проведенных автором. При численном моделировании взрывного нагружения льда в постановке задачи не было учтено и не исследовано наличие лунки, через которую в ледовую преграду закладывалось взрывчатое вещество, что могло привести в расчетах к завышению объема разрушенного льда. В условиях взрывного нагружения преграды изо льда представляется важным исследование влияния размеров лунки на процесс разрушения льда именно в динамической постановке.

Отмеченные замечания не влияют на положительную оценку работы в целом.

Полученные результаты и разработанная методика могут быть использованы в организациях, занимающихся исследованием свойств льда при динамических нагрузках: РФЯЦ – ВНИИТФ (г. Снежинск), РФЯЦ –

ВНИИЭФ (г. Саров), НИИПММ ТГУ (г. Томск), МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва), ООО «ТехКомплект» (г. Москва).

Основные научные результаты диссертационной работы соответствуют специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Результаты исследований опубликованы в 18 работах, из которых 4 – статьи, опубликованные в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций. Результаты исследований неоднократно докладывались на Международных и Всероссийских конференциях.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертационной работы. Представленные в ней результаты достаточно убедительно говорят о значительном вкладе Ю.Н. Орловой в исследование заявленной в названии работы темы. **Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу.**

Считаю, что диссертационная работа Орловой Юлии Николаевны «Комплексное теоретико-экспериментальное исследование поведения льда при ударных и взрывных нагрузках» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Доктор физико-математических наук,

Старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения

Российской академии наук 

Кривошеина Марина Николаевна

10.12.2014 г.

лаборатория физики нелинейных сред

634055, Томск, пр. Академический 2/4, 8(382)228-6701, marina@ispms.tsc.ru

Подпись Кривошеиной Марины Николаевны ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения

Российской академии наук

Доктор технических наук





Плешанов Василий Сергеевич