

УТВЕРЖДАЮ

Проректор ННГУ им. Н.И.Лобачевского
по научной работе

Гурбатов С.Н.

« 10 » _____ Декабря _____ 2014г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Орловой Юлии Николаевны «Комплексное теоретико-экспериментальное исследование процессов ударного и взрывного нагружения льда», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа Орловой Ю.Н. посвящена исследованию динамических процессов деформирования и разрушения льда в широком диапазоне начальных условий нагружения.

Актуальность темы диссертации объясняется необходимостью развития Арктического региона, борьбой с ледовыми заторами и т.д. Поэтому в настоящее время актуальны как модели физико-математического поведения льда при динамических нагрузках, так и методы расчета его напряженно-деформированного и термодинамического состояния с учетом характера разрушения. Для реализации целей работы соискателем проведен аналитический обзор по теме исследований, модифицирован численный метод расчета для решения задач взрывного нагружения льда, получены оригинальные теоретические и экспериментальные научные данные.

Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка используемых литературы и источников, содержит 69 рисунков, 6 таблиц, библиографический список литературы из 117 наименований – всего 189 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, новизна и практическая ценность полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

Первый раздел посвящен математической постановке задачи ударно-взрывного нагружения льда. Для ее решения используется феноменологическая модель механики сплошных сред, в основе которой лежит упругопластическое поведение материала. Основная система уравнений базируется на законах сохранения массы, импульса и энергии. Лед описывается пористой сжимаемой средой с учетом совместного образования отрывных и сдвиговых разрушений. Определяющие соотношения задаются уравнениями Прандтля – Райса при условии текучести Мизеса. Приведены уравнения состояния льда, воды и продуктов детонации. Поведение других материалов описывается уравнением состояния Уолша. Действие продуктов детонации описывается уравнениями Ландау – Станюковича. Системы уравнений замыкают граничные и начальные условия.

Приведены уравнения для двумерного осесимметричного случая, а также их конечно-разностная аппроксимация. В качестве основного метода исследований использовался лагранжев метод, модифицированный для решения современных динамических многоконтактных задач МДТТ. Кратко приведен метод расчета подвижных контактных границ, состоящий из алгоритмов построения свободной поверхности, упорядочения контактной границы, а также «эрозии» расчетных элементов и их «расщепления». Для сглаживания контактной границы при больших деформациях разработан оригинальный алгоритм повышающий точность расчетов. Показана блок-схема нового алгоритма, а также блок-схема отечественного оригинального программного

комплекса в целом, при помощи которого проводились расчеты. Наличие данных механизмов и алгоритмов в расчетной части модели имеет важное значение для решения задач ударно-взрывного нагружения льда.

Во втором разделе проведены тестовые расчеты, которые направлены как на проверку качества самого решения, так и заложенной в алгоритме модели среды. Разработки тестировались на соответствие значений скорости и амплитуды ударной волны по аналитическим соотношениям Ренкина – Гюгонио и по разработанному численному методу. Во всех случаях расхождение не превышало 0,2%. Решена классическая задача о торцевом соударении двух стальных цилиндров, которая доказала выполнение принципа симметрии как относительно контактной поверхности, так и относительно оси взаимодействующих тел. Осуществлялся контроль за сохранением энергии в системе. Решена задача о нормальном соударении ледяного цилиндра с тонкой дюралюминиевой пластиной. Численно воспроизведены известные эксперименты (начальная скорость ударников составляла 62,4 и 125,9 м/с). Результаты расчетов процесса соударения в целом соответствуют экспериментальным данным по формам ледяного цилиндра и прогибам пластины. Для апробации разработанного алгоритма отслеживания контактных границ решена тестовая задача о подводном взрыве подо льдом. Сравнивался диаметр взрывной майны. Расхождения между расчетными и экспериментальными результатами были незначительными, что подтверждает адекватность математической и численной модели.

В третьем разделе численно исследуется процесс внедрения стальных компактных ударников в массивный ледяной цилиндр в диапазоне скоростей от 50 до 325 м/с. Основной целью исследований являлось выявление влияния формы ударников на процесс деформирования и разрушения льда. Проанализирована эволюция деформационных картин и областей разрушения льда, в том числе время и место зарождения первых очагов разрушения и дальнейшее распространение по льду. В некоторых вариантах процесс внедрения компактных ударников сопровождался образованиям тыльного и лицевого отколов и кольцевых трещин. Построены временные зависимости скорости ударника, глубины внедрения, объема поврежденности льда и скорости изменения поврежденности и получены их конкретные значения для 12 вариантов расчета. Вычислены также диаметры, глубины кратеров и время процесса внедрения ударников в лед. Установлено, что давления были заметно больше, чем сдвиговые напряжения. Выявленные закономерности процесса внедрения соответствуют физике процесса.

В четвертом разделе численно исследуется процесс внедрения удлиненных ударников с различной формой головных частей в лед в диапазоне начальных скоростей до 300 м/с. Результаты расчетов представлены многочисленными конфигурациями «ударник – мишень», иллюстрирующих процесс внедрения на всех стадиях, а также в виде графиков и таблиц. Получено, что в большинстве случаев сценарий разрушений льда при действии удлиненных ударников, был аналогичен сценарию разрушения льда при действии компактных ударников. Наибольшие значения глубины внедрения отмечены при внедрении ударника с оживальной головной частью (ГЧ), а наименьшие при внедрении ударника с плоской ГЧ. Объем разрушений во льду был незначительным и формировался, в основном, за счет образования областей разрушений в зоне контакта «ударник – лед». Скорость изменения объема поврежденности достигала своего максимального значения вначале процесса внедрения. Минимальное значение было при внедрении ударника с плоской ГЧ, а максимальное – ударника с оживальной ГЧ. При действии ударников с оживальной ГЧ зафиксированы минимальные диаметры кратеров. Колебания на кривых гидростатического давления и девиаторных напряжений автор объясняет волновым характером деформационного процесса.

В пятом разделе представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов ударного и взрывного нагружения льда. В лабораторном эксперименте рассмотрен процесс соударения сферического ударника с ледяными цилиндрами. Получено, что диаметр кратера больше его глубины и не зависит от высоты

цилиндра. Моделировался процесс внедрения крупно-габаритного ударника с инертным наполнителем в ледяную преграду. Получены конкретные значения некоторых параметров процесса соударения для четырех вариантов расчета. Выявлено, что процесс внедрения сопровождался радиальной и осевой деформацией ударника и формированием во льду конического кратера. Установлено, что глубина кратера увеличивалась пропорционально начальной скорости удара. Объем разрушенного льда был незначительным. Анализировалось давление, возникающее в наполнителе. Численно изучен процесс взрывного нагружения толстого льда зарядом безоболочечного ВВ. Приведен детальный анализ напряженно-деформированного состояния, деформационных картин и областей разрушения системы «Лед – ВВ – Вода», построены временные зависимости скорости лицевой свободной поверхности льда, параметра поврежденности и скорости изменения поврежденности, а также гидростатического давления и девиаторных напряжений. Вычислены размеры взрывных майн во льду в результате подрыва ВВ на различных глубинах закладки. По результатам проведенных исследований выработаны рекомендации – для более эффективного разрушения льда в данных условиях закладывать ВВ в середине по толщине ледяной преграды.

В заключение сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Достоверность результатов численного моделирования установлена путем решения целого ряда тестовых задач. Полученные результаты соответствуют аналитическим решениям и экспериментальным данным.

Научная новизна работы заключается в развитии физико-математической модели деформирования и разрушения льда при ударно-взрывных нагрузках. В расчетную часть модели добавлен оригинальный алгоритм сглаживания контактных границ при больших деформациях, который позволяет описывать гладкую контактную границу между продуктами детонации и другими материалами, и более точно моделировать процессы взрывного нагружения льда. Выявлены основные механизмы и закономерности процесса деформирования и разрушения льда при внедрении однородных компактных и удлиненных ударников, а также крупногабаритного ударника с инертным наполнителем. Новыми являются результаты расчетов взрывного нагружения толстого льда, расположенного на воде, а также экспериментальные результаты по взрывному нагружению заснеженного льда, а именно: подводный взрыв заряда ВВ подо льдом в полиэтиленовой оболочке.

Практическая ценность работы заключается, в первую очередь, в проведенных исследованиях по взрывному нагружению льда, которые позволили сформулировать рекомендации по наиболее эффективному разрушению толстого речного льда. Рекомендации были реализованы весной 2014 года на р. Томи в Кемеровской области ОАО «КузбассСпецВзрыв» и оформлены заявкой на патент от 5.09.2013. Полученные результаты включены в научно-технические отчеты по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009–2013» (ГК 14.В37.21.0227) и (ГК № 14.740.11.0585).

Полученные результаты диссертации рекомендуются к внедрению в НИИ им. акад. Крылова и других предприятиях ОСК, ОАК, МЧС. Основные результаты диссертационной работы прошли широкую апробацию на Международных и Всероссийских научных конференциях, а также опубликованы в 18 работах, четыре из которых в научном журнале «Известия вузов. Физика», включенном в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК. Материалы конференции «Современные техника и технологии» включены в базу данных “Scopus”.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает ее содержание.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

1. В обзорной части присутствуют ссылки на исследовательские работы, посвященные статическому нагружению льда. Ссылки на работы 59, 60, 75, 17, 19, 13 не соответствуют заявленной теме исследований.

2. При описании математической постановки задачи встречаются опечатки, модуль сдвига в разных подразделах обозначается «G» и «μ». Недостатком следует считать то, что

не указаны границы применимости разработанного метода расчета и применяемых моделей нагружения льда.

3. В разделе «Исследование процесса внедрения компактных ударников в ледяную преграду» представлены расчеты поврежденности массива льда. Результаты приведены во всех подразделах в виде графиков временных зависимостей поврежденности льда. Однако, автором не описано, что является мерой поврежденности и как проводились расчеты данного параметра. Менялись ли в расчетах значения пороговых значений работы пластических деформаций и откольной прочности.

4. В подразделе 5.1.1 не описана экспериментальная установка для проведения лабораторных экспериментов по соударению сферического ударника со льдом. Автор в работе не указывает конкретные начальные значения пористости льда.

В целом, несмотря на замечания, диссертация Орловой Юлии Николаевны «Комплексное теоретико-экспериментальное исследование процессов ударного и взрывного нагружения льда» соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждения 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, вполне заслуживает присуждения искомой степени.

Диссертация рассматривалась на семинаре лаборатории №9 НИИМ ННГУ 09.12.2014 (протокол №5).

Заведующий лабораторией НИИМ
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»
Доктор физико-математических наук,
профессор

Кочетков Анатолий Васильевич

603950, Н.Новгород, пр. Гагарина, 23
www.unn.ru, kochetkov@mech.unn.ru, +79047811742

10.12.2014