ОТЗЫВ

председателя/члена диссертационного совета Волкова Александра Евгеньевича на диссертацию Михайловой Натальи Валерьевны на тему «Разрушение сплошных сред при пороговых динамических нагрузках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация посвящена исследованию особенностей разрушения конденсированных сред при динамических воздействиях. Этой теме в настоящее время посвящено много экспериментальных и теоретических работ, что связано с возрастающим количеством технических задач, предполагающих сопротивление материалов разрушению или инициация разрушения при действии ударных и вибрационных нагрузок. К таким задачам относится создание защиты космических аппаратов от воздействия микрометеоритов, предсказание сохранения целостности горных пород при землетрясениях или взрывах, связанных с геологической разведкой или добычей полезных ископаемых, дробление камня или добываемой руды, а также образования и схлопывания кавитационных пузырьков. Во всех этих примерах необходимо уметь описывать и предсказывать новые наблюдаемые эффекты поведения материалов в условиях кратковременных интенсивных ударных нагрузок. Отмеченные обстоятельства обусловливают **актуальность** темы диссертации и ее **практическую значимость**.

Фундаментально-научное значение диссертации связано с развитием идей о природе динамической прочности материалов и способах ее расчета с учетом особенностей динамического воздействия. Имеющиеся модели не позволяют учитывать такие параметры нагружения, как длительность и форма импульса воздействия. Также следует отметить, что для описания разрушения зачастую используется довольно много параметров и функций, которые либо являются корректировочными, либо сложно определимы в прямых натурных испытаниях. Это приводит к сложностям и ограничениям для применения таких моделей в инженерной практике. В трудах Ю.В. Петрова с соавторами показано, что динамическую прочность материалов нельзя свести к заданию зависимостей разрушающего напряжения от скорости деформации, но необходимо учитывать зависимость приложенного воздействия (напряжения, давления и т.д.) от времени, для чего наиболее эффективным является использование нелокального по времени структурно-временного критерия разрушения. Продуктивность этого подхода убедительно продемонстрирована диссертанткой в настоящей работе. В частности, при описании откольного разрушения в диссертации выполнен расчет не только откола под действием нагружающих импульсов напряжения различной формы, но и выполнен расчет явления множественного откола, наблюдаемого на опыте при определенных соотношениях между длиной импульса, размеров и физических характеристик образцов.

Достоверность результатов обусловлена физической обоснованностью предположений, сделанных при построении моделей, использованию методов описания разрушения материалов при динамических воздействиях, ранее разработанных и хорошо апробированных в СПбГУ, аккуратностью проделанных расчетов и соответствием между результатами расчетов и данными известных экспериментальных исследований.

Среди наиболее важных результатов автора следует отметить построение модели и расчет резания материалов с наложением ультразвуковых колебаний. Теоретически обосновано снижение сопротивления процесса сверления материалов и найдены технологические параметры, при которых этот эффект максимален. Отмечено более высокое качество поверхности получаемых отверстий.

Особое место в диссертации занимает моделирование процесса кавитации жидкостей под действием ультразвука. Применение структурно-временного критерия с учетом зависимости инкубационного времени от температуры позволило рассчитать пороговую амплитуду ультразвука для возникновения кавитации в зависимости от частоты ультразвука, температуры жидкости и гидростатического давления, а также определить диапазон радиусов пузырьков, участвующих в кавитации, в зависимости от параметров ультразвука и физических характеристик жидкости.

В заключительном параграфе в диссертации построена полуэмпирическая модель очень интересного и мало изученного явления – звукокапиллярного эффекта. Опираясь на немногие известные из литературы экспериментальные данные, свидетельствующие о кавитационной природе этого эффекта, диссертантка рассчитала зависимость дополнительного давления, создаваемого кавитацией, от диаметра капилляра, амплитуды и частоты ультразвука. Данная модель заслуживает дальнейшего совершенствования в направлении определения параметров модели и учета новых экспериментальных данных.

Диссертация хорошо иллюстрирована, содержит большое количество литературных ссылок по теме работы. Результаты работы опубликованы в ведущих российсих и зарубежных научных журналах, доложены на ряде международных научных конференций, обсуждены на семинарах кафедры Теории упругости Санкт-Петербургского государственного университета.

Замечания по тексту диссертации касаются неточностей изложения и опечаток, не затрагивают полученных в ней результатов и не снижают общей положительной оценки работы.

1. Не понятно, зачем так много места в литературном обзоре отведено моделям описания вязкого разрушения.
2. Упомянуто, но никак не поясняется в чем состоит механика разрушения переменного порядка (Variable-order fracture mechanics).
   Совершенно непонятно утверждение «В представленной авторами модели для расчета разрушения вводится переменная поврежденности, являющаяся оператором дробного переменного порядка». То есть переменная величина модели является оператором? Что такое оператор дробного переменного порядка?
3. Если в формуле 1.1. $\sigma(t)$ и σ_0 положительны, то согласно указанному неравенству $\sigma(t) > \sigma_0 > 0$. Но тогда отрицательное значение будет возводиться в степень λ. По всей видимости, в формуле имеется опечатка.
4. На с.82 указано, что «установлена температурная зависимость инкубационного времени, используя с аналогию термофлуктуационной теорией». Хотелось бы увидеть объяснение, в чем состоит эта аналогия.

5. На с. 85 утверждается: «Связать кавитацию с частотой ультразвука можно при помощи выражения для резонансного радиуса пузырька R_r». Однако в идущей вслед за этой фразой формуле устанавливается связь не вообще частоты ультразвука, а связь резонансной частоты с резонансным радиусом.
6. На с.91 утверждается, что «параметр G изменяется при варьировании внешнего гидростатического давления». Однако, в таком случае теряется смысл использования формулы (4.3), вместо которой можно просто подбирать зависимость $\tau(T,P)$.
7. Имеется довольно много неясных выражений, неточностей и опечаток.

   а) В цели диссертационной работы сказано, что «Исследуемыми переходными процессами являются разрушение твердых тел и кавитация жидкости.» Неясно, почему эти процессы квалифицируются как переходные. Переходные от чего? К чему?

   б) Из подписи к рис. 2.3 (а) следует, что это «График зависимости расстояния от времени, показывающий распространение фронта волны в образце и ударнике». При этом не видно, где ударник.

   в) На с.33 сначала указано, что «c — скорость звука в материале» (какого звука?), а затем в формуле (2.7) фигурирует скорость c_b.

   г) На с.82 параметр G определен как «доля энергии, необходимая для начала кавитации». Доля от какой энергии?

   д) на с.32: «по скорости свободной оценивают прочность материала»

Диссертация Михайловой Натальи Валерьевны на тему: «Разрушение сплошных сред при пороговых динамических нагрузках» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Михайлова Наталья Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, без звания,
профессор кафедры Теории упругости СПбГУ Волков А.Е.

17.11.2022