

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана

Математико-механического факультета

Елена Владимировна Кустова

*Елена Владимировна Кустова*  
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 07 »

2024 г



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

По итогам рассмотрения и обсуждения  
Диссертации Игушевой Людмилы Александровны  
(*ФИО соискателя ученой степени*)

представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

*Ученая степень*

по теме «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов»

*(тема диссертации)*

по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

*шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)*

и выполненной в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», 2024

*наименование организации и год представления*

а также представленных соискателем научных публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, приняты следующие решения, замечания и рекомендации:

Диссертация Игушевой Людмилы Александровны посвящена исследованию влияния различных внешних факторов на динамическое разрушения материалов. В данной работе рассматривается как силовые и температурные воздействия изменяют динамические прочностные характеристики материалов (прочность и трещиностойкость). Для описания процессов разрушения используется структурно-временной подход, являющийся перспективным методом для описания эффектов высокоскоростного деформирования материалов, который основывается на фундаментальном понятии инкубационного времени разрушения.

Актуальность данной работы обеспечивается применимостью указанных в работе методик расчета прочностных характеристик материалов для решения прикладных задач, в которых требуется прогнозирование разрушения материалов, подвергнутых воздействию дополнительных внешних факторов. Например, расчет надежности и прочности конструкций при послепожарном восстановлении зданий и сооружений. В горнодобывающей промышленности, в ходе добычи геотермальной

энергии, при захоронении радиоактивных отходов – определение прочности горных пород, находящихся на большой глубине, которые подвергаются как действию гидростатического давления, так и температурному воздействию. Правильный расчет прочности и трещиностойкости материалов, учитывающий возможные импульсные, ударные нагрузки и влияние дополнительных внешних факторов обеспечит безопасное проведение технологических процессов и снизит риски непредвиденных разрушений.

Работа содержит 122 страницы и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе произведен обзор некоторых критериев разрушения, представлено описание структурно-временного подхода, перечислены существующие модели разрушения стержней, находящийся в различных средах и обсуждается влияние гидростатического давления и температуры на прочностные свойства материалов, указаны представленные в литературе варианты учета данного влияния.

Во второй главе произведено моделирование ударно-волнового деформирования и распространения волн в стержне конечной длины, находящемся в упругой окружающей среде. Рассматриваются различные варианты распространения волн в стержне, в зависимости от коэффициента сопротивления среды и длительности внешнего воздействия. Исследованы возможные варианты разрушения стержня: как в результате откола, так и при прямом прохождении волны по стержню, построены графики зависимости пороговой амплитуды нагружающего импульса от длительности внешнего воздействия. Производится сравнение полученных результатов моделирования с известными экспериментальными данными.

Третья глава посвящена изучению влияния предварительной температурной обработки на динамическую вязкость разрушения конкретных материалов (гранита, стандартного и баритового цементных растворов). Произведен расчет и построены скоростные зависимости вязкости разрушения для различных значений температурной обработки и гидростатического давления, полученные результаты верифицированы известными экспериментальными данными. Найден зависимости инкубационного времени разрушения, соответствующего условию определения трещиностойкости, от внешних факторов.

В четвертой главе изучено влияние силовых и температурных факторов (предварительной термообработки и гидростатического давления) на динамическую прочность на сжатие песчаника и цементных растворов. Построены соответствующие скоростные зависимости прочности на сжатие. И найдены зависимости инкубационного времени разрушения, соответствующего условию определения прочности на сжатия, от гидростатического давления и температуры предварительной обработки.

#### **Наиболее значимые научные результаты, полученные автором лично:**

1. Моделирование и анализ волновых процессов, происходящих в стержне конечной длины, окруженном упругой средой. В результате влияния окружающей среды в зависимости от характеристик среды, стержня и нагружающего импульса выделено три возможных варианта: дисперсия волн, демпфирование волн и увеличение амплитуды исходного импульса при отражении от свободного края стержня.
2. Впервые проведен анализ динамического разрушения стержня конечной длины, окруженного упругой средой, с использованием критерия инкубационного времени разрушения. Построены зависимости пороговой амплитуды воздействия от длительности нагружающего импульса. Обсуждается возможность разрушения как

при прохождении волны в прямом направлении по стержню, так и в результате откола. Выявлено соответствие расчетных профилей деформаций в стержне из ПММА, находящемся в силиконе, результатам экспериментов.

4. Изучено влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическую прочность на сжатие некоторых материалов (песчаника, баритового и стандартного цементных растворов), а также на динамическую трещиностойкость (гранита, баритового и стандартного цементных растворов). Показано, что с ростом гидростатического давления происходит увеличение прочности и трещиностойкости, а с увеличением температуры воздействия в целом наблюдается снижение прочностных свойств материалов.

5. Проведены расчеты и дано объяснение эффекта инверсии прочности на сжатие и эффекта инверсии трещиностойкости, когда при сравнении двух образцов материала, обработанных при различных температурах, один образец демонстрирует более высокую прочность (трещиностойкость) при квазистатических нагрузках, однако обладает меньшей прочностью (трещиностойкостью) при высокоскоростных воздействиях.

6. Показана применимость критерия инкубационного времени для объяснения влияния внешних факторов и скорости воздействия на динамическое разрушение на примере конкретных материалов (гранита, песчаника, баритового и стандартного цементных растворов). Полученные теоретические расчеты верифицированы известными экспериментальными данными. Кроме того, продемонстрировано, что для учета влияния дополнительных факторов достаточно минимального набора свойств материала (статический предел прочности (трещиностойкости) и инкубационное время разрушения).

Игушева Людмила Александровна окончила с отличием программы бакалавриата (2014–2018 гг.) и магистратуры (2018–2020 гг.) Санкт-Петербургского государственного университета по специальности «Механика и математическое моделирование», обучается по основной образовательной программе аспирантуры «Механика» с 2020 г. по настоящее время. Научный руководитель – профессор, член-корреспондент РАН, доктор физ.-мат. наук Петров Юрий Викторович. Результаты научных исследований Игушевой Л.А. были представлены на 9 конференциях. Всего диссертантом опубликовано 6 работ по теме исследования, из которых 1 статья опубликована в изданиях, индексируемых базами Scopus и Web of Science, 3 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Научные исследования диссертанта выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта мегагранта (соглашение № 075-15-2022-1114 от 30.06.2022) и гранта РФФИ (№ 22-11-00091).

Считаем, что диссертация Игушевой Людмилы Александровны на тему «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов» представляет теоретический и практический интерес, вносит вклад в развитие области механики деформируемого твердого тела. Работа диссертанта содержит новые интересные результаты для данной области. Работа хорошо оформлена, удовлетворяет всем необходимым требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук и рекомендуется к защите по специальности 1.1.8 Механики деформируемого твердого тела.

---

Нарушения со стороны Игушевой Людмилы Александровны

ФИО соискателя

п. 11 Приказа СПбГУ от «19» ноября 2021 г. №11181/1

НЕ ВЫЯВЛЕНЫ

*не выявлены, выявлены*

и Приказа СПбГУ от 03.07.2023 № 9287/1

не выявлены

*не выявлены, выявлены*

Все основные выносимые на защиту научные материалы диссертации опубликованы в предложенных соискателем статьях.

**Коллектив сотрудников Кафедры теории упругости**

*наименование подразделения*

**рекомендовал**

*рекомендовал / не рекомендовал / рекомендовал при условии устранения замечаний*

диссертацию Игушевой Людмилы Александровны

*ФИО соискателя*

по теме «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов»

*тема диссертации*

к защите на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

*ученая степень*

по научной специальности \_\_\_\_\_

**1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

*шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)*

При проведении голосования коллектива сотрудников Кафедры теории упругости (протокол заседания № 44/8/22-02-3 от 02.05.2024) в количестве 15 человек, участвовавших в заседании из 18 человек штатного состава:

Проголосовали «за»: 15,

«против»: 0,

«воздержались»: 0.

Подписал: профессор

*(должность)*

Кафедры теории упругости

*(наименование структурного подразделения)*

д.ф.-м.н.

*(ученая степень)*

профессор

*(ученое звание)*

*(подпись)*

Н.Ф. Морозов / 02.05.2024

*Расшифровка подписи, дата*

Личную подпись  
Н.Ф. Морозов  
заверяю  
И.О. начальника отдела кадров №2  
И.И. Константиновз

