

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190031  
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21  
E-mail: [doc@pgups.ru](mailto:doc@pgups.ru), <http://www.pgups.ru>  
ОКПО 01115840, ОГРН 1027810241502,  
ИНН 7812009592/ КПП 783801001

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор –  
проректор по научной работе  
д.т.н., профессор



Титова Тамила Семёновна

«29» 09 2024 г.

*29.07.2024 № 005.01.7.29/53*

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Петербургский государственный университет путей  
сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

на диссертационную работу

**Игушевой Людмилы Александровны**

«Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое  
разрушение материалов», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по научной специальности  
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

#### **Актуальность темы диссертации и соответствие специальности**

Изучение динамического разрушения материалов с учетом влияния дополнительных внешних воздействий и разработка моделей, позволяющих рассчитывать прочностные характеристики материалов является важнейшей задачей и имеет свое применение в различных отраслях науки и техники. Представленная в работе модель разрушения стержня, погруженного в упругую окружающую среду, может быть использована для расчета оптимальных частот воздействия при забивании свай в грунт. Расчет динамических прочностных характеристик материалов, подвергнутых предварительной термической обработке, важен при восстановлении зданий и сооружений после пожара при определении прочности и надежности конструкций. При добыче геотермальной энергии, захоронении радиоактивных отходов важно учитывать влияние гидростатического давления и температурного воздействия на прочность и трещиностойкость горных пород. Разработка единого подхода к расчету прочностных свойств и прогнозированию разрушения материалов в широком диапазоне скоростных воздействий с учетом дополнительных внешних факторов позволит сократить количество непредвиденных разрушений и обеспечить безопасность работ.

Таким образом, тема диссертационной работы Игушевой Л. А. является несомненно **актуальной**.

Тематика исследования, формулировка целей и задач работы, используемые методы решения, область приложения полученных результатов указывают, что представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

#### **Содержание диссертации**

Диссертация Игушевой Л. А. посвящена изучению влияния термических и силовых факторов на динамическую прочность и трещиностойкость материалов. Работа содержит 122 страницы, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** объясняется актуальность темы, представлены степень разработанности, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость и методология исследования, приводятся основные научные результаты и положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** перечислены некоторые критерии разрушения, описан структурно-временной подход, используемый в работе для предсказания разрушения материалов и определения предельных значений напряжений. Указаны различные модели стержней, находящихся в средах. Также представлен обзор известных работ, посвященных изучению влияния температурной обработки и гидростатического давления на прочность и трещиностойкость материалов.

**Вторая глава** посвящена моделированию распространения волн в стержне конечной длины, погруженном в упругую окружающую среду. Выделены различные варианты распространения волн в стержне в зависимости от значений коэффициента сопротивления среды и длительности импульса, действующего на стержень. Произведено сравнение результатов моделирования с известными экспериментальными данными. Проанализирован процесс разрушения стержня. Показано, что разрушение может происходить как в результате откола, так и при прямом прохождении волны по стержню.

В **третьей главе** исследовано влияние гидростатического давления на динамическую вязкость разрушения гранита, а также влияние предварительной термической обработки на динамическую вязкость разрушения цементных растворов (баритового и стандартного) и гранита. Для каждого случая построены скоростные зависимости вязкости разрушения, вычислены инкубационные времена, а также найдена связь между инкубационным временем и температурной предварительной термической обработки и гидростатическим давлением.

В **четвертой главе** проведены расчеты динамической прочности на сжатие предварительной термически обработанных цементных растворов и песчаника, а также гидростатического сжатого песчаника для широкого диапазона скоростных воздействий. Аналогично третьей главе найдены зависимости инкубационного времени разрушения материалов от внешних факторов.

В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут использоваться как расчетные схемы в инженерных приложениях по определению прочностных характеристик элементов конструкций. Представленный структурно-временной подход дает возможность с единой точки зрения рассчитывать прочность и трещиностойкость материалов при статических и динамических воздействиях и

учитывать влияние дополнительных силовых и температурных факторов. Фундаментальным понятием данного подхода является инкубационное время разрушения (константа материала), характеризующее длительность подготовительных процессов, предшествующих разрушению материала на макроуровне. Данный подход, в отличие от других представленных в литературе, позволяет избежать введения избыточных прочностных параметров, зависящих от скорости деформации, при построении математических моделей прогнозирования разрушения материалов. Это обеспечивает **новизну и практическую значимость** представленной диссертационной работы.

**Наиболее важные результаты**, полученные в диссертационной работе:

Построена модель продольных колебаний в стержне конечной длины, окруженном упругой средой. Уравнение, описывающее продольные колебания стержня, является известным уравнением Клейна – Гордона. В зависимости от характеристик окружающей среды, стержня и нагружающего импульса наблюдается различный характер распространения волн: дисперсия волн, демпфирование волн и увеличение амплитуды исходного импульса при отражении от свободного края стержня. Впервые выполнен анализ динамического разрушения стержня конечной длины, окруженного упругой средой, с использованием критерия инкубационного времени разрушения. Построены временные зависимости прочности. Показана возможность двух типов разрушения: откольного и при прямом прохождении волны по стержню. Продемонстрирована зависимость прочностных характеристик от параметров внешнего воздействия, свойств стержня и окружающей среды. Изучено влияние гидростатического давления и предварительной температурной обработки 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 возрастанием температуры предварительной обработки в целом наблюдается снижение прочностных характеристик материалов.

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 импульсных воздействиях.

Показана применимость критерия инкубационного времени для объяснения влияния внешних факторов и скорости воздействия на динамическое разрушение конкретных материалов, в частности гранита, песчаника, баритового и стандартного цементных растворов. Полученные теоретические расчеты верифицированы известными экспериментальными данными. Найдена зависимость инкубационного времени разрушения от внешних факторов.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

- 1) На рис. 2.5-2.7 желательнее было указать на графике моменты времени, в которые зафиксировано распространение волны в стержне для понимания эволюции профиля импульса.

- 2) В работе ничего не сказано о соотношении модулей упругости стержня (образца) и окружающей среды. Это было бы полезно для анализа.
- 3) Длина стержня в расчете принята равной 50 м, а если взять, например, 1 м: играет ли роль соотношение коэффициента сопротивления среды  $b$  и длины стержня  $l$ ?
- 4) В п.3.1 указывается, что в экспериментальной схеме для определения динамической вязкости разрушения закладывается линейное по времени нагружение образца. Однако, далее речь идет об экспериментах на основе стержня Гопкинсона, в этом случае также считается, что коэффициент интенсивности напряжений линейно возрастает во времени?
- 5) В работе приведены наборы значений инкубационного времени для различных условий нагружения, – сжатие, растяжение, нагрев материала, внешнее всестороннее давление. Как в инженерной практике пользоваться таким широким диапазоном инкубационного времени?

Сделанные замечание не влияют на общее положительное заключение о диссертации.

#### **Общие выводы и заключение по диссертации**

Оценивая работу в целом, можно отметить, что диссертация хорошо структурирована, материал соотносится с целями, задачами и защищаемыми положениями. По теме исследования опубликованы статьи в академических журналах, работа имеет широкую апробацию, результаты работы докладывались на конференциях и семинарах. Игушевой Л. А. получены важные с практической точки зрения научные результаты, обладающие научной новизной и имеющие прикладное применение для расчетов прочностных характеристик материалов при динамических и статических воздействиях. Автор демонстрирует высокую квалификацию и владение современными методами механики деформируемого твердого тела.

Заключение ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС) на диссертационную работу Игушевой Людмилы Александровны «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов», по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела является положительным.

Диссертация Игушевой Людмилы Александровны на тему: «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Игушева Людмила Александровна 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.

Диссертация Игушевой Людмилы Александровны «Влияние внешних силовых и температурных воздействий на динамическое разрушение материалов» обсуждена на расширенном заседании кафедры «Механика и прочность материалов и конструкций» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный

университет путей сообщения Императора Александра I» (протокол № 13 от 25.06.2024 г.). На заседании присутствовало 13 человек. Результаты голосования: «за» – 13 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором Смирновым Владимиром Игоревичем, научная специальность 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий кафедрой  
«Механика и прочность  
материалов и конструкций»  
ФГБОУ ВО ПГУПС  
к.т.н., доцент



Видюшенков Сергей Александрович

Профессор кафедры  
«Механика и прочность  
материалов и конструкций»  
ФГБОУ ВО ПГУПС  
д.т.н.



Смирнов Владимир Игоревич

Я, Титова Тамила Семеновна, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Игушевой Людмилы Александровны, и их дальнейшую обработку.

Первый проректор – проректор по  
научной работе ФГБОУ ВО ПГУПС  
д.т.н., профессор



Титова Тамила Семеновна

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Адрес: 190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 9

Официальный сайт: <http://www.pgups.ru>

Телефон: 8 (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21

Адрес электронной почты: [dou@pgups.ru](mailto:dou@pgups.ru)