

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Кузнецова Дениса Александровича
«Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования процессов разрушения квазихрупких материалов при смешанном нагружении»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Д.А. Кузнецова посвящена одному из важнейших разделов механики деформируемого твердого тела – механике разрушения. Применение ее методов и критериев открывает возможности предотвращать катастрофические разрушения конструкций, управлять живучестью, прогнозировать ресурс тем самым повышая их безопасность. Это особенно значимо для конструкций, работающих в сложных условиях эксплуатации, в которых реализуется смешанное нагружение. Большой опыт изучения причин разрушений таких конструкций показывает, что в реальных условиях трещины практически никогда не развиваются по идеальному сценарию чистого отрыва или сдвига, поскольку конструкции зачастую подвергаются одновременному действию нескольких типов нагружения – растяжению, сжатию, изгибу или кручению.

Таким образом, смешанное нагружение одновременно активизирует разрушающую моду I (отрыв) и моды II/III (поперечный и продольный сдвиг), что кардинально меняет поведение материала по сравнению со стандартными лабораторными испытаниями. В итоге в соответствующем поле напряжений трещина меняет свое направление, искривляется, и предсказать ее траекторию классическими методами становится затруднительно.

Экспериментальное изучение смешанного разрушения материалов (обычно комбинации мод I и II) – нетривиальная задача, так как нужно создать контролируемое соотношение отрыва и сдвига в вершине трещины. Для этого необходимо использовать специфические формы образцов, которые не всегда легко изготовить и испытать. Для таких образцов связь разрушающей нагрузки и напряженного состояния в вершине трещины уже не описывается традиционными критериями механики разрушения. Помимо главного сингулярного поля напряжений, на траекторию трещины сильно влияют несингулярные составляющие (T -напряжения). Их недооценка может приводить к расхождению эксперимента и моделирования.

Таким образом, тема диссертации Д.А. Кузнецова, цель которой состоит в развитии критериев разрушения на основе компьютерного моделирования и экспериментальной верификации смешанного разрушения квазихрупких материалов является **актуальной**.

Структура и содержание работы

Диссертация объемом 122 страницы состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 111 источников, содержит 42 рисунка и 5 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и анализируется степень ее разработанности. На основе этого формулируются цель и задачи работы, выделяются научная новизна и значимость. Далее приводятся положения, выносимые на защиту, данные об апробации работы и публикациях автора. Введение завершается описанием структуры и кратким содержанием работы.

Первая глава содержит обзор видов и критериев разрушения, в котором упоминаются как классические работы, так и работы непосредственно по теме диссертации.

Во второй главе исследуется образец на трехточечный изгиб с эксцентричной трещиной. Проводится конечно-элементный анализ его нагружения для расчета параметров формы коэффициента интенсивности напряжений (КИН), а также оценивается уровень T -напряжений при различном положении трещины и нагрузки. Численные результаты сравниваются с экспериментальными по нескольким критериям разрушения.

В третьей главе проводятся аналогичные исследования прямоугольного образца, но при нагружении по схеме четырехточечного изгиба. Рассматривается расширенный набор критериев для оценки разрушающей нагрузки и направления роста трещины.

Четвёртая глава посвящена изучению разрушения образца в виде бразильского диска с центральным отверстием и двумя внутренними краевыми трещинами. Исследуется зависимость параметров механики разрушения от угла ориентации трещин. Результаты испытаний также сравниваются с расчетами по различным критериям разрушения для смешанного нагружения.

В заключении описаны основные результаты работы и сформулированы выводы.

Оценка научной новизны, обоснованности и достоверности

Следующие результаты работы обладают **научной новизной**:

1. Модифицированные конфигурации образцов с трещинами для определения КИН в диапазоне смешанных режимов нагружения от моды I до моды II.
2. Параметры формы КИН и уровни T -напряжений для исследованных образцов в зависимости от условий смешанного нагружения, полученные методом компьютерного моделирования.
3. Экспериментально определенные критические нагрузки для образцов из эбонита и сферопласта для различных условий смешанного нагружения.

4. Оценки направления трещины и величины критической нагрузки для исследованных образцов, полученные с учетом T -напряжений.

5. Характер влияния коэффициента Пуассона на угол инициации трещины по деформационному (EMTSN) и энергетическому (GSED) критериям разрушения.

Высокая степень обоснованности выводов и рекомендаций обусловлена согласованностью численных результатов с результатами натурного физического эксперимента.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается корректным применением традиционных экспериментальных и численных методов механики, в том числе применением программного обеспечения для конечно-элементного моделирования сертифицированного NAFEMS.

Наиболее существенным результатом диссертации являются зависимости угла инициации трещины и разрушающей нагрузки от условий смешанного нагружения полученные по различным критериям для испытанных образцов. Они позволяют качественно судить о применимости того или иного критерия разрушения и его соответствии экспериментальным данным.

Практическая ценность и значимость диссертации состоит в возможности применения полученных численных и экспериментальных результатов для оценки прочности высокоответственных конструкций по критериям механики разрушения, в частности при принятии решений о продлении срока службы или снятия с эксплуатации.

Диссертация по области исследования **соответствует** паспорту специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»: п. 1 «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых», п. 10 «Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел», п. 12 «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела», п. 13 «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях».

Работа написана с использованием общепринятой технической и научной терминологии. Ее оформление соответствует предъявляемым требованиям. Автореферат **достаточно полно соответствует** содержанию диссертации.

Представленные в диссертации результаты апробированы и опубликованы в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; в зарубежном издании, индексируемом в базах Web of Science и Scopus; в сборниках трудов всероссийских конференций.

Замечания по диссертации

1. Структура текста диссертации имеет следующие логические недостатки:

- обзор критериев и обоснование их выбора целесообразно было привести в начале, а не распределять по главам;
- описание эбонита следовало привести при первом упоминании в 3 главе;
- метод численного расчета КИН с помощью J -интеграла было бы логичнее вынести в отдельный раздел в начале работы, поскольку его описание повторяется в диссертации трижды.

2. Проведенные в работе эксперименты описаны недостаточно подробно:

- не указано испытательное оборудование и применяемая оснастка, в частности радиус опор и условия закрепления;
- не упоминаются стандарты по испытаниям в области механики разрушения, на которые автор ориентировался в проведенном исследовании;
- не приводятся диаграммы нагружения и фотографии изломов образцов, по которым можно было бы судить о заявленном квазихрупком характере разрушения.

3. В диссертации имеется ряд прочих неосвещенных аспектов:

- в главе 2 для образцов на трехточечный изгиб вычисляются коэффициент смешанности мод M_e и коэффициент двухосности B , однако в главах 3 и 4 для других образцов эти коэффициенты почему-то не приводятся;
- в положениях, выносимых на защиту, заявлено о более точном методе вычисления T -напряжений, но в работе не приводятся оценок точности;
- не понятно, зачем для образца в виде бразильского диска в числе прочих рассматривается критерий EMTSN для плосконапряженного состояния, ведь размер образца выбран, чтобы удовлетворять условию плоской деформации;
- в выводах по главе 4 написано, что фиксировался угол инициации трещины для образцов в виде бразильского диска, но эти результаты не представлены.

Отмеченные замечания не являются критичными и не снижают общую положительную оценку проведенного исследования.

Заключение

Оценивая диссертационную работу в целом, следует отметить качество и полноту проведенного анализа, наличие перспективных решений, обоснованность выводов и практическую ценность полученных результатов. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в

Диссертация «Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования процессов разрушения квазихрупких материалов при смешанном нагружении» соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор Кузнецов Денис Александрович достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

« 24 » 08 2026 г.

Егор Владимирович Москвичев

<http://www.ict.nsc.ru>

Красноярского филиала ФИЦ ИВТ, к.т.н.

Наталья Александровна Чернякова

« 24 » августа 2026 г.

