



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

**РЕЦЕНЗИЯ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Выпускная квалификационная работа выполнена

Студентом (кой)	<u>Долгих Дарьей Алексеевной</u>
Факультет	<u>Прикладной математики и механики</u>
Кафедра	<u>Динамика и прочность машин</u>
Направление	<u>15.04.03 – Прикладная механика</u>
Направленность (профиль)	<u>Динамика и прочность машин, конструкций и механизмов</u>
Наименование темы	<u>Моделирование накопления повреждений и развития дефектов в слоистых композиционных материалах с учетом микроструктурных параметров</u>

Рецензент	<u>Баяндин Юрий Витальевич, к.ф.-м.н., с.н.с. ИМСС УрО РАН</u> (Ф.И.О., место работы, должность, ученое звание, степень)
-----------	---

В представленной на рецензию выпускной квалификационной работе проводится моделирование накопления повреждений и развития дефектов в слоистых композиционных материалах. Несомненно разработка и реализация моделей деформирования и разрушения современных композиционных материалов, в частности слоистых композитов, является актуальной задачей и отражается почти во всех областях промышленности. В данной работе рассматривается поведение слоистых композиционных материалов с учетом процессов накопления повреждений, деградации механических свойств, развития внутренних дефектов, а также процессов расслоения при сложном нагружении.

В работе исследовано поведение различных образцов слоистого полимерного композиционного материала в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. Реализован двухуровневый подход к решению задачи, применены методы прогрессирующего разрушения, метод когезионного слоя и метод виртуального закрытия трещины. Численные расчеты для определения физико-механических характеристик на микроуровне проводились в прикладном пакете Digimat. Задача о деформировании и разрушении образца решалась конечно-элементном прикладном пакете Abaqus.

Проведенные численные расчеты показали, что степень расслоения композиционного материала зависит от направления нагрузки, ее величины, а также от наличия дефектов между слоями. Установлено, что процесс накопления повреждений и как следствие разрушения происходит раньше расслоения, которое в некоторых численных расчетах не наблюдалось. Полученные результаты наглядно показывают

особенности процессов накопления повреждений и разрушения в слоистых композиционных материалах при различных видах нагружения, а также могут быть использованы при расчете полномасштабных конструкций.

Отмечены следующие замечания:

- в обзоре ссылки на литературные источники идут не по порядку, после [2] идет сразу [16], а затем [22,23,34,12];

- в разделе 1.1 правомерно говорится о необходимости моделирования композиционных материалов на трех масштабных уровнях, но формально во втором разделе рассматривается подход гомогенизации (метод среднего поля) как двухуровневый;

- в работе используются не общепринятые обозначения операций над тензорами второго и четвертого рангов, приходится догадываться каким образом перемножаются тензоры, например в (2.1.8), не уточняется какого ранга тензоры A и B , следуя (2.1.6), тензор I обозначается как единичный тензор второго ранга;

- в формулах (3.1.1) и (3.1.3) используется различный знак умножения для вроде бы одинаковой операции;

- рассматриваемая модель повреждений (подраздел 3.3) учитывает только некоторые механизмы разрушения, так например условие $D_{33} = D_{23} = D_{13} = 0$ не позволяет описать расслоение самого монослоя, а также влияние накопления повреждений на сдвиговую прочность в поперечном слою направлении.

В работе автор показал хорошее владение расчетными методиками. Материал изложен грамотно и последовательно. Выпускная квалификационная работа выполнена с применением электронно-вычислительной техники и современного программного обеспечения.

При выполнении магистерской диссертации студент проявил самостоятельность, показал свое умение работать с технической литературой.

В целом выпускная квалификационная работа студентки Долгих Дарьи Алексеевны отвечает всем предъявленным требованиям, выполнена в соответствии с ФГОС ВО и при соответствующей защите заслуживает оценки **«отлично»**.

Уровень подготовленности выпускника соответствует присвоения ему квалификации магистр.

Рецензент выпускной квалификационной работы



(подпись)

«22» июня 2020 г.