

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и цифровому развитию
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)»

д.э.н., профессор П.А. Дроговоз



«20» 12 2023 г.

Отзыв

**ведущей организации на диссертационную работу
Хомченко Антона Васильевича**

**«Численное моделирование поведения слоистых элементов конструкций
из полимерных композиционных материалов при наличии внутренних
дефектов под действием динамических нагрузок», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела»**

Актуальность

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в ответственных элементах конструкций. В процессе производства изделий с неизбежностью возникают дефекты, снижающие эксплуатационные характеристики деталей и, соответственно, надежность всего изделия. В связи с этим разработка методов численного моделирования поведения слоистых элементов конструкций из ПКМ является актуальной и практически важной научно-технической задачей.

Работа Хомченко А. В. посвящена разработке методов анализа влияния чувствительности к наличию межслоевых дефектов эллипсоидальной, круговой и произвольной формы, размеров и расположения в конструктивно подобных силовых элементах авиационных конструкций из ПКМ при различных внешних воздействиях. В качестве элементов моделирования выбраны цилиндрическая оболочка, подкрепленная стрингерами и шпангоутами и, панель, подкрепленная стрингерами. Выполнено сравнение с

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«27» 12 2023.

расчётами элементов конструкций без подкрепления, так и с подкреплениями при наличии и отсутствии дефектов.

В научно-квалификационной работе Хомченко А.В. разработан метод расчёта тонкостенных слоистых элементов конструкций их полимерных композитов при наличии дефектов при стационарном, нестационарном и низкоскоростном ударном нагружении.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из списка сокращений, введения, 4-х глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем составляет 142 страницы, 83 рисунка и 14 таблиц. Список используемой литературы содержит 145 наименования.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 57 печатных работах, из них 12 статей в журналах из перечня, рекомендуемого ВАК РФ, 3 статьи из перечня SCOPUS.

В **первой главе** формулируется постановка задачи, включающая геометрию конструкций, уравнения движения с учетом дефектов (повреждений) различной формы. Проведён анализ типов конечных элементов и методов решения поставленных краевых задач. Представлен анализ критериев предельного состояния ПКМ.

Во **второй главе** решены задачи определения собственных форм и частот колебаний конструктивно-подобных элементов из слоистых тонкостенных ПКМ при наличии дефектов и построены амплитудно-частотные характеристики конструкций при стационарных, в частности, гармонических воздействиях. Показано, что при наличии дефектов возникают дополнительные формы колебаний и происходит смещение спектра в область более высоких частот, вызванное локальным снижением жёсткости в зоне повреждений.

В **главе 3** рассмотрены нестационарные воздействия на конструктивно подобные элементы конструкций без и с наличием дефектов с учётом динамики развития последних. Рассмотрено воздействие нестационарных полей давлений, представленных с помощью гармонических и обобщённых функций, на прямоугольную пластину и гладкую цилиндрическую панель с повреждениями. Рассмотрено влияние дефектов на поведение и прочность подкреплённых панелей и оболочек при действии взрывной волны сферической формы. Выявлено, что по сравнению с формой, превалирующее влияние на прочность конструкции оказывает площадь дефекта.

В **главе 4** проведён анализ влияния дефектов при низкоскоростном ударном воздействии дискретных источников: жесткого ударника полусферической формы, пневматика и града на динамику развития повреждений при различных начальных условиях, таких как скорость, масса и

точка соударения. В частности, для решения задачи воздействия пневматиком используются соотношения теории упругости больших деформаций, а именно потенциал Огдена, адекватно соответствующий механическому поведению пневматика. Воздействие града отражает возможность потери его сплошности в процессе удара и для решения используется метод гидродинамики сглаженных частиц (SPH). Показано, что отслоение силового элемента конструкции является наиболее опасным в случае ударного воздействия.

Проведённое сравнение результатов натуральных испытаний однопролётной четырёхстрингерной панели из углепластика при ударном воздействии с численным расчётом показало хорошее согласие.

В качестве основных результатов диссертационной работы можно выделить следующее:

1. Разработаны методы расчёта композитных тонкостенных элементов конструкций, позволяющие учитывать влияние на их деформирование, прочность и несущую способность дефектов различной формы, размера и расположения при стационарных и нестационарных (в том числе ударных) воздействиях.

2. Расчёт напряжённо-деформированного состояния выполнен с помощью разработанного алгоритма, позволяющего выполнять автоматизированное моделирование поврежденности конструктивно-подобных элементов из ПКМ при различных внешних воздействиях.

3. Проведена валидация по результатам натурального эксперимента определения повреждений в четырёхстрингерной панели при низкоскоростном ударном воздействии.

Анализ диссертационной работы позволяет сделать следующие замечания:

1. Для учета влияния скорости деформации, в частности, при воздействии града, соискателем были использованы соотношения вязкоупругости с ядром в виде экспоненциального ряда Прони. Не ясно, как были использованы предложенные определяющие соотношения и чему равны их параметры.

2. Рисунки в главе 3 (3.2.2, 3.3.6, 3.3.8), иллюстрирующие распределение запасов прочности по критериям Фишера, Пака и LARC требуют пояснения.

3. В работе присутствуют некоторые стилистические и терминологические неточности и опечатки.

Указанные замечания не оказывают принципиального влияния на общую положительную оценку работы, на ее научную новизну и практическую значимость.

В целом научно-квалификационная работа Хомченко А.В. на тему «Численное моделирование поведения слоистых элементов конструкций из полимерных композиционных материалов при наличии внутренних дефектов под действием динамических нагрузок» по содержанию может считаться завершенной, она выполнена на достаточно высоком уровне и отвечает требованиям П.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), и её автор, Хомченко Антон Васильевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела.

Отзыв обсуждён и утверждён на заседании кафедры СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции» «19» декабря 2023 г., протокол № 10. Заключение принято единогласно.

Заведующий кафедрой СМ-13 «Ракетно-космические композитные конструкции»
д.т.н., профессор. Специальность 05.07.01
Резник Сергей Васильевич
(тел.: +7 (499) 263-6514,
электронная почта: kafsm13@bmstu.ru, sreznik@bmstu.ru)

Подпись С.В. Резника заверяю:

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Адрес: РФ, 105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1
телефон: +7(499)2636391, факс: +7(499)2674844,
e-mail: bauman@bmstu.ru, сайт <https://bmstu.ru/>

С отзывом ознакомлен
27.12.2023
/Хомченко А.В./



Механика Управления АДГОВ
А.В.В.
+7-499-263-60-45