

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2024 году

по проекту **«Экспериментально-теоретическое исследование защитных свойств
слоистых конструкций авиакосмической техники и транспортных систем с
элементами из диссипативных метаматериалов при динамических
воздействиях»**,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 23-29-00349

Руководитель: д-р физ.-мат. наук Скрипняк Владимир Альбертович

1. Разработана верифицированная физико-математическая модель для описания механического поведения слоистых защитных конструкций с элементами из метаматериалов с определенной топологией структуры при воздействиях на поверхность конструкций динамических нагрузок. Выполнена верификация физикоматематической модели с учетом расширения ее возможности описывать реакцию 3D защитных и демпфирующих слоистых конструкций, находящихся при температурах, изменяющихся в диапазоне, соответствующем потенциальной эксплуатации конструкций авиакосмической техники при прогреве и охлаждении (от 113 К до 370 К). Проведена модификация модели для учета изменения физико-механических свойств легких сплавов от температуры (модулей упругости, пределов упругости, пластичности и прочности, предельных деформаций до разрушения, и др.), и возникающих в этом случае термических напряжений в элементах трехслойной конструкции. Исследованы возникающие напряжения в трехслойных конструкциях с внутренним слоем метаматериала при нагреве или охлаждении в зависимости от топологии и геометрических размеров структурных элементов.

2. Разработана верифицированная вычислительная модель, позволяющая численно моделировать процессы механического поведения слоистых защитных конструкций с элементами из метаматериалов с определенной топологией структуры при воздействиях на поверхность конструкций динамических нагрузок, для использования при создании цифровых двойников и решении задач оптимизации проектируемых защитных конструкций. Верифицированная вычислительная модель использует физико-математическую модель механического поведения материала элементов конструкций, учитывающую эффективные характеристики механических свойств метаматериалов.

3. Проведено численное моделирование для определения закономерностей развития высокоскоростного процесса разрушения структуры метаматериалов. Численно исследованы закономерности накопления повреждений и разрушения в элементах структуры ауксетических метаматериалов при высокоскоростной деформации сжатия, растяжения и высокочастотной гармонической деформации. Исследованы процессы зарождения, роста повреждений и разрушения элементов структуры метаматериалов, находящихся при пониженных и повышенных температурах относительно комнатной и при заданных параметрах импульсного нагружения и параметрах (амплитуды и частоты) циклических нагрузок в диапазонах возможной эксплуатации метаматериалов в авиакосмической технике.

4. Проведено численное моделирование, в результате которого определены закономерности поглощения и диссипации механической энергии элементами трехслойных алюминиевых защитных конструкций с объемами двух типов метаматериалов при воздействиях динамических нагрузок. Исследовано влияние температуры и эффективной скорости деформации элементов трехслойных алюминиевых защитных конструкций с промежуточным слоем ауксетических метаматериалов с «ge-entrant» структурой на удельные характеристики поглощения энергии динамических воздействий и удельную величину диссипации механической энергии. Методом численного моделирования исследованы механические реакции трехслойных защитных конструкций из алюминиевых сплавов с двумя типами каркасных структур и геометрическими параметрами структурных элементов слоя из ауксетического метаматериала на интенсивные динамические воздействия.

5. Подготовлены и приняты к публикации в журналах, реферируемых в базах SCOPUS и WoS, статьи с полученными при выполнении проекта результатами, в том числе в журнале, относящимся к квартилю Q1.

6. Подготовлены и представлены доклады на трех международных научных конференциях для апробации полученных результатов, включая приглашенные доклады.

В результате проведенных в 2024 году исследований по проекту получены следующие научные результаты:

1. Разработана верифицированная физико-математическая модель, с расширенной возможностью адекватного описания механического поведения трехслойных защитных конструкций со слоями из метаматериала, с определенной топологией структуры, при воздействиях на поверхность конструкций динамических нагрузок. Разработана верифицированная физико-математическая модель, позволяющая описывать реакцию слоистых конструкций защитного назначения при температурах, изменяющихся в диапазоне, соответствующем потенциальной эксплуатации конструкций позволит учесть зависимости изменений физико-механических свойств легких сплавов (модулей упругости, пределов упругости, пластичности и прочности, предельных деформаций до разрушения, и др.) от температуры. Разработана модификация модели для учета возникающих в элементах трехслойной конструкции термических напряжений.

2. Разработаны верифицированные определяющие соотношения в рамках механики сред с повреждениями для представительного объема метаматериала, позволяющих адекватно описывать процессы деформации и уплотнения слоев ауксетических метаматериалов при динамических нагрузках. Разработана модель для определения эффективных механических характеристик трехслойных защитных конструкций из алюминиевых сплавов. Разработанная модель может быть использована при создании цифровых двойников в случае, когда размеры слоистых.

3. Получены результаты численного моделирования, описывающие закономерности развития разрушения структуры ауксетических метаматериалов и слоистых конструкций при высокочастотном циклическом нагружении.

4. Получены результаты численного моделирования, описывающие закономерности деформации и повреждения элементов структуры ауксетических метаматериалов при динамическом сжатии, растяжении и циклической деформации трехслойных конструкций с внутренним слоем из метаматериала.

5. Получены результаты численного исследования процессов эволюции повреждений и разрушения структурных элементов ауксетических метаматериалов, в диапазоне температур от 113 К до 370 К при импульсном нагружении и при параметрах (амплитуды и частоты) циклических нагрузок в диапазоне возможной эксплуатации метаматериалов в авиакосмической технике.

6. Получены результаты численного исследования закономерностей поглощения и диссипации механической энергии элементами трехслойных алюминиевых защитных конструкций с промежуточным слоем ауксетических метаматериалов при динамических нагрузках. Определены закономерности поглощения и диссипации механической энергии трехслойными алюминиевыми конструкциями со слоями ауксетических метаматериалов при пониженной температуре и при высокоскоростных воздействиях. Получены результаты численного исследования трехслойных защитных конструкций из алюминиевых сплавов с двумя типами каркасных структур ауксетических метаматериалов и с варьируемыми геометрическими параметрами структурных элементов слоя.

Результаты, полученные при выполнении проекта, планируется использовать при проектировании демпферов и защитных конструкций в АО «НПЦ "Полус"» (г. Томск) и в Институте Физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск). Полученные научные результаты планируется использовать при проведении НИОКР по созданию приборов для РКК Энергия (г. Королев) (ГК Роскосмос). Новые результаты и разработанные модели и методики оценки удельных диссипативных характеристик слоистых систем с объемами метаматериалов могут быть использованы при выполнении ОКР в интересах ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М.Ф. Решетнёва» (г. Железногорск). Со всеми указанными выше организациями и учреждениями имеются договоры о научном сотрудничестве и подготовке кадров. Научные результаты, полученные при выполнении проекта, будут использованы при подготовке магистров, аспирантов и докторантов в Томском государственном университете.