

## Введение

Необходимость мониторинга многослойных композитов обусловлена вероятностью появления и развития дефектов в виде трещин, расслоений, разрывов волокон, представляющих угрозу безопасной эксплуатации. Стремление к сокращению расходов на техническое обслуживание в промышленных приложениях путем более эффективного использования ресурсов и материалов, повышение надежности и безопасной работы сложных конструкций из композитных материалов требует усовершенствования старых и создания новых систем мониторинга. Среди уже существующих возможных решений использование волоконно-оптических датчиков (ВОД) на брэгговских решетках становится все более популярным при проектировании систем мониторинга. К отличительным преимуществам оптических волокон можно отнести высокую чувствительность, устойчивость к электромагнитным помехам и долговечность. Также, благодаря их малым размерам, они могут быть размещены как на поверхности исследуемого объекта, так и встроены внутрь структуры ПКМ.

Использование ВОД в ПКМ позволяет отслеживать изменение механического состояния конструкции с помощью измерения деформаций и температуры в режиме реального времени. Некоторые проблемы, связанные с использованием ВОД в качестве датчиков деформации при измерении механического состояния композитных конструкций, могут быть решены при помощи численного моделирования. Численное моделирование позволяет найти геометрические параметры зон несоответствия деформаций в зависимости от расположения оптоволокон. Данные результаты позволяют сделать выводы о характере переноса деформаций от композитного материала к оптическому волокну. Даются рекомендации об оптимальном расположении оптоволоконных линий с ВБР, углов их искривления, а так же рекомендации по закреплению оптических волокон на/в ПКМ.

## Цель исследования

Численное изучение соответствия деформаций реализующихся в оптическом волокне и деформаций в композитном материале при расположении оптического волокна на поверхности и при встраивании его в ПКМ. Анализируется распределение деформаций вдоль длины оптического волокна для двух моделей: модель с оптоволоком, размещенным на поверхности ПКМ; и при встроеном в структуру ПКМ оптоволоком. При этом оптическое волокно расположено не прямолинейно, а с изгибами.

## Конечно-элементная схема для задач расчета НДС в системе ПКМ - оптическое непрямолинейно расположенное волокно

Рассмотрена схема непрямолинейной укладки оптического волокна, при которой возможно измерение деформаций в двух перпендикулярных направлениях. Оптическое волокно может располагаться как на поверхности композитного материала, так и встраиваться в его структуру. Поверхностное крепление осуществляется через клеевое соединение. Радиус изгиба оптического волокна был выбран равным 2.5 мм при проводимых численных экспериментах. Оптическое волокно размещается на фрагменте из композитного материала с длиной стороны  $L = 50$  мм и толщиной 5 мм (рис.1)

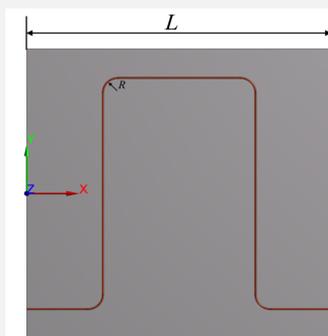


Рис. 1



Рис. 2

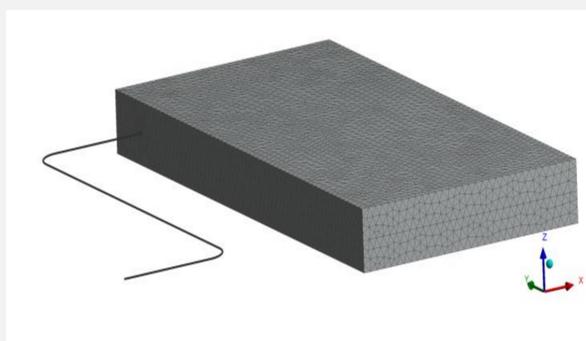


Рис. 3

На рис. 2 представлена конечно-элементная модель композитного материала с непрямолинейным оптическим волокном на его поверхности. На рис. 3 представлена конечно-элементная модель композитного материала со встроеным оптическим волокном. Для исследования напряженно-деформированного состояния системы ПКМ-оптическое непрямолинейно расположенное волокно построены соответствующие численные модели (рис. 2 – оптическое волокно расположено на поверхности композитного материала, рис. 3 – оптическое волокно встроено в структуру материала). Поведение построенной модели анализировалось в условиях одноосного растяжения вдоль оси  $x$ . При численном моделировании композитный материал рассматривался как однородная сплошная среда с ортотропными механическими характеристиками.

## Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-41-590684 p\_a)

## Результаты

Рис. 4

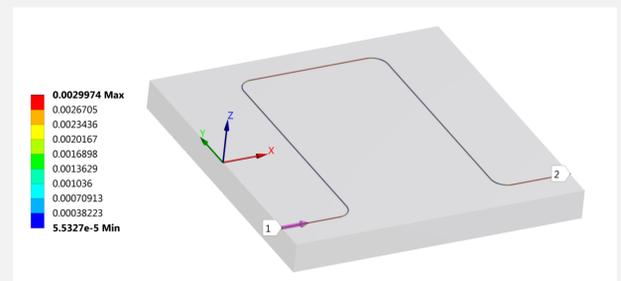


Рис. 5

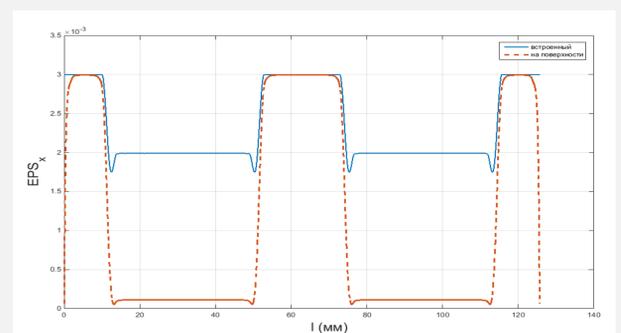
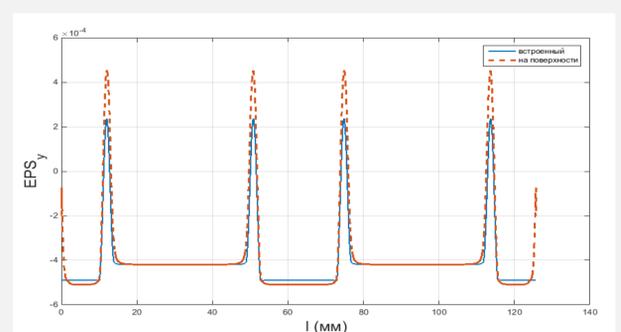


Рис. 6



Анализируется распределение деформаций вдоль длины оптического волокна (рис. 4) для двух моделей: модель с оптоволоком, размещенным на поверхности ПКМ; оптоволоконно встроено в структуру ПКМ. На рис. 5–6 приведены графики распределения компонент  $\epsilon_x$  и  $\epsilon_y$  тензора деформаций по линии, проходящей через центральную ось оптического волокна вдоль всей его длины. Для рассмотренных схем расположения оптического волокна наблюдается существенное различие в осевой деформации  $\epsilon_x$  на участках, где направление осевой деформации не совпадает с направлением оси оптоволокон (рис. 5). Однако в зоне, где брэгговские решетки будут измерять именно данную компоненту тензора деформаций, различия не значительны, как для поверхностного размещения оптоволокон, так и при встраивании его в ПКМ. Тем не менее, есть небольшое различие в размере переходной зоны на данных участках. Схожая ситуация наблюдается при анализе компоненты деформаций  $\epsilon_y$  (рис. 6). Для обоих случаев на участках, где волоконно-оптический датчик будет измерять данную осевую деформацию, значения идентичны.