

## ОТЗЫВ

официального оппонента, к.ф.-м.н. Волкова-Богородского Д.Б.,

на диссертационную работу

**БАБАЙЦЕВА Арсения Владимировича**

**«МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,  
РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ И СООТВЕТСТВИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Диссертационная работа посвящена изучению осесимметричных толстостенных составных композитных конструкций, работающих в условиях высокоскоростного нагружения под действием интенсивных поверхностных нагрузок и противодействующих им объемных инерционных сил. Обычно для таких конструкций применяются металлические сплавы, однако возможный выигрыш от замены металлических сплавов на композиционные материалы (КМ) может существенно повысить их прочностные и массовые характеристики. Большинство существующих конструкций, в которых эффективно применяются композиционные материалы, являются в основном тонкостенными или сетчатыми, и для них хорошо разработаны методы их расчета и проектирования. Однако, моделированию и расчету полноценных объемных конструкций из КМ, и тем более в экстремальных условиях интенсивного воздействия инерционных нагрузок, посвящено не так много работ. Эта задача является более сложной, предполагает нетрадиционные схемы объемного армирования изделий и требует привлечения неклассических теорий пластин и оболочек или решения трехмерных уравнений анизотропной теории упругости с учетом сложных критериев прочности.

Таким образом, тема диссертационной работы соискателя Бабайцева Арсения Владимировича является **актуальной и соответствует** специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 130 страницах машинописного текста и включает 79 рисунков.

**Во введении** автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и решаемые задачи, в том числе с применением современного программного обеспечения, а также экспериментальные методы исследования механических характеристик КМ при статическом и динамическом нагружении. Приведен обзор с известными результатами по влиянию искривления волокон на жесткостные и прочностные характеристики волокнистых КМ. На основе их анализа обоснована теоретическая и практическая значимость работы, научная новизна полученных автором результатов. Дано описание научных мероприятий и публикаций, на которых проводилась апробация работы, приведены основные публикации автора по теме диссертации.

**В первой главе** диссертационной работы описано современное состояние по существующим разработкам в области исследования. Приведены основные цели и задачи исследования, также представлен краткий патентный обзор по различным схемам армирования объемных изделий из композитных материалов, работающих в условиях высокоскоростного нагружения.

**Во второй главе** приводится постановка задачи с изложением двух аналитических методик, которые с различной степенью приближения позволяют получить экспресс оценку НДС исследуемых конструкций. Представлены упрощенные методы расчета без учета и с учетом обжатия конструкции. Полученные результаты на основе приближенных аналитических решений сопоставлялись с результатами полноценного численного моделирования методом конечных элементов. При этом композиционный материал рассматривался в виде однородного квазиизотропного материала без учета его структуры. На основе полученных решений производился параметрический анализ напряженно-деформированного состояния конструкции при статическом нагружении. В этих условиях произведена оптимизация конструкции для снижения уровня критических напряжений.



*В третьей главе* приводятся результаты экспериментального исследования композитного материала, применяемого в конструкции изделия. В рамках данного исследования проводились статические и динамические испытания на сжатие образцов с прямолинейной и криволинейной укладкой образцов. В рамках данного исследования были определены пределы прочности и предельные деформации материала. Представлены методики проводимых испытаний. В ходе испытаний было выявлено, что предел прочности при высокоскоростном нагружении, превышает предел прочности, полученный в ходе статического нагружения. Также зафиксировано снижение пределов прочности для образцов с искривленными волокнами по сравнению с прямолинейными образцами.

*Четвертая глава* посвящена полноценному численному конечно-элементному анализу напряженного состояния конструкции при динамическом нагружении с учетом внутренней структуры КМ и его прогрессирующего разрушения. Исследуются варианты конструкции с различными схемами армирования. Исследуется влияние изменения модуля упругости композитного материала на уровень напряжений в конструкции. В результате исследования выбрана оптимальная схема армирования ведущего устройства.

*В заключении* сформулированы основные результаты работы.

*Список литературы* состоит из 97 наименований.

Таким образом, в работе проведено полноценное исследование осесимметричных толстостенных составных композитных конструкций, работающих в условиях высокоскоростного нагружения под действием интенсивных поверхностных нагрузок и противодействующих им объемных инерционных сил.

Достоинством работы является то, что на основе разработанных методик можно получить с достаточно высокой степенью точности оценку прочности необходимую при проектировании таких конструкций. В частности, был произведен весьма разносторонний подход в изучении и разработке оптимальных методов расчета включающий в себя разработку аналитических методов расчета с последующей оптимизацией конструкции, экспериментальное исследование применяемых КМ при статическом и высокоскоростном нагружении, расчет конструкции при динамическом нагружении с учетом прогрессирующего

разрушения на основе метода конечных элементов с применением современных программных средств.

**Достоверность** научных результатов достигается за счет корректных постановок краевых задач классической теории упругости, использования апробированных методов механики деформируемого твердого тела, механики композиционных материалов, теории дифференциальных уравнений, а также апробированных методик, алгоритмов и вычислительных программ. Полученные результаты диссертации могут быть востребованы исследовательскими организациями и конструкторскими бюро, занимающихся разработкой элементов конструкций из КМ.

Анализ работы позволяет отметить **новизну, достоверность и обоснованность** приведенных в работе положений, выводов и рекомендаций.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации, основные результаты работы опубликованы, в том числе в журналах из списка ВАК. Содержание диссертации **соответствует** содержанию опубликованных работ.

#### ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1 Во второй главе в п. 2.1.1 при описании конечно-элементной постановки задачи высокоскоростного нагружения составной КМ конструкции в квазистатическом приближении, необходимой для апробации предложенной автором аналитической методики оценки ее прочности, не формализованы условия ее закрепления, что является особенностью квазистатического приближения. Нагрузки на конструкцию задаются в виде уравновешенных поверхностных и объемных сил, однако внутри конструкции (на оси симметрии) должна быть корректно определена точка закрепления, в которой будут отсутствовать перемещения при таком типе нагружения. Автор недостаточно осветил этот вопрос, хотя его некорректное решение может повлиять на результаты расчета.

2. В п.2.2 не хватает четкости и ясности при выводе аналитической оценки прочности составной КМ конструкции, нумерация некоторых формул повторяется, некоторые положения объяснены недостаточно, что приводит к кажущимся противоречиям.



