

Отзыв научного руководителя

на диссертацию Малахова Андрея Викторовича
на тему «Моделирование полимерных композитных материалов с
неоднородной структурой армирования на основе криволинейных
траекторий волокон», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Малахов Андрей Викторович окончил в 2006 году Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет «МАМИ» (МГТУ «МАМИ» - ныне Московский политехнический университет) по специальности «Динамика и прочность машин». Завершил обучение в аспирантуре в 2012 г. и работал младшим научным сотрудником, научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). В настоящее время Малахов А.В. работает инженером-конструктором 2 категории в ПАО «Туполев», а также научным сотрудником по совместительству в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

Диссертация была выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, при этом часть работы финансировалась в виде грантов; в двух из них Малахов А.В. был руководителем проекта (РФФИ № 12-08-31323 мол_а «Экспериментально-расчетное исследование механических свойств биокompозитов с криволинейной анизотропией» и РФФИ № 23-23-00318 «Гибридные биоподобные композитные структуры переменной жёсткости как альтернатива квазиизотропным материалам»), а в остальных (РФФИ № 15-08-01472 А «Технологическая структурная биомеханика композитных материалов с криволинейными траекториями волокон», РФФИ № 18-08-00372 А «Новые фундаментальные подходы к проектированию узлов

крепления и к оценке опасности дефектов в композитных конструкциях», РФФИ № 18-58-53020 ГФЕН_а «Функционально адаптированное проектирование и изготовление композитов, армированных непрерывными волокнами, с помощью трехмерной печати», Национальная программа исследований и разработок Китая № 2018YFE0207900 «Технология 3D-печати интегрированного материала и структуры для медицинского применения») – ответственным исполнителем.

В ходе работы над диссертацией Малахов Андрей Викторович показал глубокие знания в области механики композитных материалов и отличное владение численными методами, в частности методом конечных элементов и методами компьютерного моделирования.

Диссертация Малахова А.В. посвящена разработке методики моделирования неоднородной структуры армирования композитных материалов. Суть оригинальной методики состоит в построении системы криволинейных траекторий волокон, согласованной с градиентными полями напряжений за счёт локального изменения ориентации и объёмной доли волокон. Именно переменная жёсткость приводит к перераспределению напряжений и позволяет более эффективно использовать композитные материалы, что невозможно обеспечить, оставаясь в рамках традиционного однонаправленного (прямолинейного) армирования. Можно с уверенностью считать, что тема диссертации, направленной на разработку новых методов моделирования композитов с криволинейным армированием и узлов их крепления, является **актуальной**.

Основными результатами, полученными в ходе выполнения диссертационной работы, следует считать:

- метод моделирования системы криволинейных траекторий волокон, на основе которой формируется композитная структура с локально переменными свойствами материала, адаптированными к градиентным полям напряжений;
- учёт накопления повреждений с помощью метода деградации свойств материала и моделирование прогрессирующего разрушения в композитных структурах;

– анализ механического поведения как численных моделей, так и экспериментальных образцов, изготовленных из композитных материалов с криволинейной структурой армирования с помощью печати на 3D принтере.

Решение поставленных задач представляет значительную **практическую ценность**, поскольку удаётся локально изменять свойства в композитной структуре, что позволяет наилучшим образом перераспределять силовые потоки и тем самым снижать негативное воздействие концентраторов напряжений. По сути – это развитие нового направления в биомеханике прочности композитов, позволяющего решать одну из главных проблем применения полимерных волокнистых композитов – создание узлов крепления без сверления отверстий. Важно, что разработанные алгоритмы позволяют строить при моделировании непрерывные траектории волокон, и это принципиально для изготовления композитных структур современными аддитивными технологиями 3D печати, что практически продемонстрировано в диссертационной работе.

Достоверность численных решений обеспечивается грамотным применением математического аппарата неоднородной анизотропной упругости, реализованного с помощью метода конечных элементов, а также сравнением численных результатов и экспериментальных данных.

Результаты исследования обсуждались на отечественных и международных конференциях и съездах, в том числе на международных инновационных конференциях молодых учёных и студентов по проблемам машиноведения «МИКМУС» (Россия, Москва, 2009 – 2013 и 2018 – 2021 гг.), на Московских ежемесячных семинарах молодых учёных и студентов (МЕСМУС) по проблемам машиноведения имени Ю.Н. Работнова (Россия, Москва, 2011, 2014 и 2017 – 2019 гг.), на конференции «Наследственная механика деформирования и разрушения твёрдых тел – научное наследие Ю.Н. Работнова» (Россия, Москва, 2014 г.), на The 16th European Conference on Composite Materials (ECCM16) (Испания, Севилья, 2014 г.), на X и XI Всероссийских съездах по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Россия, Нижний Новгород, 2011 г. и Россия, Казань, 2015 г.), на Всероссийской молодёжной научно-практической конференции «Орбита молодёжи» и перспективы развития российской космонавтики»

(Россия, Самара, 2016 г.), на XII международной конференции «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» (Россия, Екатеринбург, 2018 г.), на 26th Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE-26) (Франция, Париж, 2018 г.), на II Международной онлайн-конференции «Композитные материалы и конструкции» (Россия, Москва, 2021 г.).

Основные результаты диссертационной работы отражены в 15 статьях, 2, 12 и 13 из которых – это, соответственно, статьи в рецензируемых изданиях, включённых в перечень ВАК РФ и индексируемых в базах научного цитирования Web of Science и Scopus.

Диссертационная работа Малахова Андрея Викторовича является завершённой научно-квалификационной работой, и она удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ по заявленной специальности.

Считаю, что Малахов Андрей Викторович как высококвалифицированный специалист в области механики деформируемого твердого тела, в частности, - в механике композитов заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Научный руководитель:

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ИМАШ РАН


«27» декабря 2023 г.



А.Н. Полилов

Подпись Полилова А.Н. заверяю.

Ученый секретарь
ИМАШ РАН, к.т.н.



В.Ф. Юдкин