

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.410.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.05.2025 г. № 4

О присуждении Воробьеву Игорю Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Критерий прочности многослойных полимерных композиционных материалов при статическом и циклическом нагружении» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 11 февраля 2025 года (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.410.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 170026, Тверская область, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22, приказ Минобрнауки России № 28/нк от 23 января 2024 года.

Соискатель Воробьев Игорь Андреевич, 24 июля 1990 года рождения. В 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». В 2023 году окончил заочную аспирантуру акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения». Работает младшим научным сотрудником кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Техническая механика и

компьютерное моделирование» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – заслуженный деятель науки РФ, доктор физико-математических наук, профессор Бондарь Валентин Степанович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», кафедра «Техническая механика и компьютерное моделирование», профессор.

Официальные оппоненты:

1. Матвиенко Юрий Григорьевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской Академии наук», отдел «Прочность, живучесть и безопасность машин», заведующий отделом;

2. Горбачев Владимир Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», кафедра механики композитов, заведующий кафедрой;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – акционерное общество «Композит», г. Королев, в своем положительном отзыве, подписанном Михайловским Константином Валерьевичем, кандидатом технических наук, начальником отдела разработки и изготовления деталей из полимерных композиционных материалов и утвержденном первым заместителем генерального директора, кандидатом физико-математических наук, Александром Эргардовичем Дворецким, указала, что диссертационная работа Воробьева Игоря Андреевича является законченной научно-квалификационной работой и содержит новое решение актуальной задачи по оценке циклической прочности образцов из полимерных композиционных материалов.

Соискатель имеет 3 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 3 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы.

Среди них 2 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях ВАК при Минобрнауки России, 1 статья опубликована в журнале, входящем в базу данных Scopus. Общий объем опубликованных работ составляет 1,81 печатных листов, авторский вклад – 1,055 печатных листов. В опубликованных работах рассмотрены теоретические и практические исследования процессов деформирования и разрушения полимерных композиционных материалов, а также цилиндрических оболочек, изготовленных из таких материалов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Абашев Д.Р., Бондарь В.С., **Воробьев И.А.**, Шарова В.И. Определение упругих параметров полимерных композиционных материалов и изготовленных из них цилиндрических оболочек // Проблемы прочности и пластичности, № 1, 2024 – 47-59 с. (0,81 п.л. / авт. 0,405 п.л)
2. Бондарь В.С., Абашев Д.Р., **Воробьев И.А.** Применение критерия прочности Хашина для оценки прочности композиционных материалов симметричной схемы армирования // Машиностроение и инженерное образование, №3, 2024 – 12-19 с. (0,5 п.л. / авт. 0,25 п.л)
3. Владимиров С.А., **Воробьев И.А.**, Шарова В.И. Метод определения упругих параметров полимерных композиционных материалов и оценка их прочности // Космонавтика и ракетостроение, №1, 2024 – 68-75 с. (0,5 п.л. / авт. 0,4 п.л)

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:

1. ФГБУН «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук», подписанный доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории «Безопасность и прочность композитных конструкций» Полиловым Александром Николаевичем. Замечаний и вопросов к диссертанту нет.

2. АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», подписанный доктором технических наук, профессором, главным научным сотрудником комплекса прочности Сухомлиновым Львом Георгиевичем. Замечания: 1) Неясно, из каких соображений выбрано аналитическое уравнение для описания кривой усталости на странице 18.

2) Присутствует большое количество индексов (например «с», «-», «t», «+»), имеющих аналогичный смысл. Хорошо было бы прийти к единообразию.

3. ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» Азаровым Андреем Валерьевичем. Замечания: 1) Из автореферата неясно, каковы были размеры образцов, использованных при испытаниях. Прочностные характеристики образцов однонаправленного материала при растяжении под углом к направлению армирования существенно зависят от размеров образца, в частности от ширины. Наиболее достоверные результаты могут быть получены на конструктивно-подобных элементах, например, трубах, в которых волокна уложены под углом к образующей – в этом случае отсутствуют обрывы волокон на краях, как в плоских образцах. 2) Было бы целесообразно провести сравнение предлагаемых автором критериев прочности при статическом и циклическом нагружении с другими распространенными в настоящее время критериями. В автореферате отсутствуют данные о том, проводилось ли такое сравнение и каковы его результаты.

4. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», подписанный доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры «Прикладные программные средства и математические методы» Земсковым Андреем Владимировичем. Замечания: 1) Графики и надписи на некоторых рисунках очень мелкие, например: линии и надписи на рисунке 3, надписи на рисунках 11, 12 читаются с трудом. 2) Далеко не все обозначения расшифрованы (например, на стр. 9, 10, в формулах (2)-(12)). Иногда, одни и те же объекты в разных местах имеют разные обозначения. Например, компоненты тензора напряжений обозначаются то $\{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_6\}$ (стр. 9), то $\{\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}\}$ (стр. 9), то $\{\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{xy}\}$ (стр. 12). То же самое для компонент тензора деформаций. Обычно в работе принимается единая система обозначений. 3) В заключении отмечено (п.3), что «Предложено уточнение критерия прочности Хашина, позволяющее более чем на 20% повысить точность оценки момента разрушающего волокна...». Однако по тексту автореферата не ясно, где конкретно эта оценка получена.

5. ООО «Научно-исследовательский институт космических и авиационных материалов», подписанный кандидатом химических наук, заместителем генерального директора по научной работе Вихровым Ильей Александровичем. Замечания: 1) Не все параметры, используемые в математических выражениях расшифрованы. 2) Предлагаемый подход применим только к углепластикам?

6. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный университет», подписанный кандидатом технических наук, доцентом кафедры Механики грунтов и Геотехники Манько Артуром Владимировичем. Замечаний и вопросов к диссертанту нет.

7. ФГБУН «Институт проблем машиноведения Российской академии наук», подписанный доктором технических наук, руководителем лаборатории трения и износа Седаковой Еленой Борисовной. Замечания: 1) На рис. 2. автореферата представлены экспериментально полученные значения коэффициента Пуассона от угла выкладки, а также приведена графическая зависимость, полученная расчетным путем. Наблюдается значительное расхождение экспериментальных и расчетных данных при углах выкладки от 5° до 60° . Однако в тексте автореферата этому не уделено внимания. 2) Надписи на рис. 11 и 12 очень мелкие и трудночитаемые. 3) Наблюдается некоторая небрежность в представлении материала в автореферате, например, не все обозначения, используемые в формулах (2) – (12) расшифрованы, наблюдаются разночтения в обозначениях одних и тех тензоров напряжений и деформаций.

8. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», подписанный членом-корреспондентом РААСН, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой строительство, строительные материалы и конструкции Трещевым Александром Николаевичем и доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры строительство, строительные материалы и конструкции Теличко Виктором Григорьевичем. Замечания: 1) Автор диссертационной работы в тексте автореферата никак не комментирует результаты, приведенные на рисунках 1 и 2, между тем на рисунке 2 можно наблюдать существенные расхождения (до 35 процентов) для расчетных и экспериментальных значений коэффициентов Пуассона. 2) В тексте автореферата фактически отсутствуют сведения об испытанных

экспериментально образцах, нет данных об их геометрических размерах.

3) Было бы полезно привести в тексте автореферата сведения о соответствии положений диссертации пунктам паспорта специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Все отзывы положительные, отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. На все замечания даны квалифицированные ответы, представленные в стенограмме.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием п. 22 и п. 24 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в текущей редакции), а также их известностью в научной среде по механике деформируемого твердого тела, наличием значительного числа опубликованных научных работ, соответствующих тематике диссертационного исследования соискателя, что позволяет им квалифицированно определить научную и практическую ценность диссертационной работы Воробьева Игоря Андреевича.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан новый критерий циклической прочности полимерных композиционных материалов, позволяющий проводить оценку ресурса материала при циклическом нагружении по результатам экспериментов при заданных коэффициентах асимметрии цикла;

- предложен новый подход к оценке циклической прочности полимерных композиционных материалов, заключающийся в представлении кривых усталости в виде зависимости «индикатор прочности – число циклов до разрушения»;

- доказана связь циклической прочности слоев полимерных композиционных материалов с максимальными значениями индикаторов статической прочности, разделяющих механизмы разрушения волокна и матрицы при растяжении и сжатии и учитывающих влияние сдвиговых напряжений.

- введено новое понятие коэффициента асимметрии цикла в

индикаторах прочности, позволившее разработать критерий циклической прочности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказано, что угол наклона кривой усталости, представленной в виде зависимости «индикатор прочности – число циклов до разрушения», не зависит от угла выкладки однонаправленного углепластика в рамках механизмов разрушения матрицы при растяжении и сжатии;

- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован метод экспериментальных исследований, основанный на государственных отраслевых стандартах, регламентирующих проведение испытаний полимерных композиционных материалов на растяжение, сжатие, сдвиг и изгиб;

- изложены закономерности закона упругого деформирования ортотропного материала в предположении о плоском напряженном состоянии, подходы к математическому моделированию и критерий прочности полимерных композиционных материалов;

- раскрыт недостаток критерия прочности Хашина, не позволяющий качественно прогнозировать разрушение углепластиков с симметричной схемой армирования от 5° до 35° при растяжении;

- изучены процессы деформирования однонаправленных и симметрично армированных полимерных композиционных материалов при различных углах выкладки в условиях статического и циклического нагружения;

- проведена модернизация математического выражения индикатора прочности волокна при растяжении, позволившая более чем на 20 % повысить точность оценки момента разрушения при наличии сдвиговых напряжений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработан и внедрен в расчетную практику отдела статической прочности АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» метод проведения прочностных расчетов композитных конструкций (степень внедрения 100 %);

- определен перечень требований к практическому применению разработанного критерия циклической прочности при оценке ресурса слоев конструкций из полимерных композиционных материалов;

- создан метод определения параметров материала, позволяющий применять разработанный критерий на основании результатов численных расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций из полимерных композиционных материалов;

- представлены предложения по дальнейшему совершенствованию критерия циклической прочности: оценку прочности пакета полимерного композиционного материала планируется проводить путем исключения разрушенных слоев.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные исследования проведены в соответствии с государственными отраслевыми стандартами, показана хорошая воспроизводимость результатов в рамках каждого вида испытания;

- теоретические исследования не противоречат общеизвестному закону упругого деформирования ортотропного материала, критерию прочности Хашина и хорошо согласуются с опубликованными экспериментальными работами по теме диссертации;

- идея базируется на анализе опыта исследования образцов из полимерных композитных материалов, результаты экспериментов сопоставлены с результатами численных расчетов;

- использованы результаты экспериментов, полученные лично автором, и результаты, представленные в независимых источниках;

- установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в:

- проведении экспериментальных исследований;
- обработке и анализе результатов экспериментальных исследований;
- разработке нового критерия циклической прочности;
- разработке метода оценки статической прочности;
- личном участии в апробации результатов исследования;
- подготовке основных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания:

д.ф.-м.н., профессор Шоркин В.С. отметил, что при проведении экспериментов не учитывалась качество обработки поверхности образцов из полимерных композиционных материалов.

Соискатель Воробьев И.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с большинством замечаний в отзывах на автореферат, оппонентов и ведущей организации и привел собственную аргументацию при ответе на остальные замечания.

На заседании 15 мая 2025 г. диссертационный совет принял решение за разработку критерия циклической прочности полимерных композиционных материалов, имеющую существенное значение для развития страны, машиностроения и механики композиционных материалов, присудить Воробьеву Игорю Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (технические науки), участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета 24.2.410.03

Гуляев Вадим Иванович

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.2.410.03

Алексеев Андрей Алексеевич

16 мая 2025 г.

