

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.211.02,
созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» и федерального государственного бюджетного
учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра
Уральского отделения Российской академии наук,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18 декабря 2020 г. № 3
о присуждении Староверову Олегу Александровичу, гражданину России,
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Деформирование и разрушение полимерных композитов в условиях комплексных механических воздействий» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 14 октября 2020 г. (протокол заседания №2) диссертационным советом Д 999.211.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, д. 29), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, и федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (614990, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, в соответствии с приказом Минобрнауки России № 424/нк от 17 апреля 2018 г.

Соискатель Староверов Олег Александрович, 1990 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в 2016 году окончил аспирантуру очной формы обучения Федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (специальность 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, период обучения 01.07.2012-30.06.2016), работает научным сотрудником Научной лаборатории механики перспективных конструкционных и функциональных материалов Центра экспериментальной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Диссертация выполнена на кафедре «Механика композиционных материалов и конструкций» и кафедре «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Вильдеман Валерий Эрвинович, заведующий кафедрой «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Официальные оппоненты:

1. Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук (01.02.04), профессор, профессор кафедры технической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;
2. Федулов Борис Никитович, доктор физико-математических наук (01.02.04), ведущий научный сотрудник Центра проектирования, производственных технологий и материалов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», дали положительные (отрицательные) отзывы о диссертации.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) (г. Москва), в своем положительном отзыве, утвержденном директором, доктором технических наук, профессором Виктором Аркадьевичем Глазуновым и подписанном председателем Научно-технического совета, заведующим отделом «Прочность, живучесть и безопасность машин», доктором технических наук, профессором Юрием Григорьевичем Матвиенко и ученым секретарем Научно-технического совета, научным сотрудником отдела «Прочность, живучесть и безопасность машин», кандидатом технических наук Дмитрием Витальевичем Черновым, указала, что в диссертационной работе Староверова О.А. на современном научно-методическом уровне решается задача создания новых методик комплексных испытаний полимерных композитов, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела за исследования деформирования и разрушения полимерных композитных материалов в условиях комплексных механических воздействиях. Обоснованность и достоверность выводов и положений обеспечивается грамотным и корректным использованием аттестованного оборудования и поверенных средств измерений в аккредитованной испытательной лаборатории и подтверждается соответствием полученных результатов известным данным других авторов для некоторых режимов нагружения. Научная новизна связана с разработкой оригинальных методик проведения испытаний современных полимерных слоисто-волоконистых и пространственно-армированных композитов при комплексных

статических, ударных и циклических воздействиях с использованием диагностических систем инфракрасного термосканирования. Практическая ценность работы заключается в возможности использования новых экспериментальных данных о механическом поведении и свойствах полимерных композиционных материалов.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук, и приравненных к ним, из них 5 работ – в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем публикациях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Wil'deman V.E., Staroverov O.A., Lobanov D.S. Diagram and parameters of fatigue sensitivity for evaluating the residual strength of layered GFRP composites after preliminary cyclic loadings // *Mechanics of Composite Materials*. – 2018. – Vol. 54, Iss. 3. – Pp. 313-320. **(Web of Science, Scopus)**

В данной работе соискатель привел результаты экспериментальных исследований изменения свойств полимерных композиционных материалов в условиях предварительного циклического и последовательного квазистатического растяжения. Описал предложенный новый способ интерпретации экспериментальных данных в виде диаграммы усталостной чувствительности, на которой ввел характерные точки и стадийные участки изменения свойств композита. Представил данные распределения полей температур стеклопластиковых образцов, полученных в ходе испытаний с использованием инфракрасной тепловизионной системы.

2. Староверов О.А., Бабушкин А.В., Горбунов С.М. Оценка степени поврежденности углепластиковых композиционных материалов при ударном воздействии. // *Вестник ПНИПУ. Механика* (Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика). – 2019. – №1. – С. 161-172. **(Scopus)**

В данной работе соискатель представил методику оценки поврежденности пространственно-армированных и слоистых углепластиковых пластин в опытах на сжатие после удара с использованием методов дефектоскопии. Провел исследование изменения процессов деформирования и разрушения углепластиковых пространственно-армированных панелей при сжатии после удара с различными энергиями воздействия.

3. Staroverov O. A., Wildemann V. E., Tretyakov M. P., Yankin A. S. Experimental study of the influence of preliminary complex mechanical loads on the deformation and strength properties of polymer composites // *Procedia Structural Integrity*. – 2019. – Vol. 18. – Pp. 757-764. **(Web of Science, Scopus)**

В работе соискатель отразил полученные результаты экспериментального исследования влияния параметров циклического нагружения, в частности амплитуды, на усталостную чувствительность стеклопластиковых образцов с различной ориентацией укладки армирующих слоев.

4. Lobanov D. S., Staroverov O. A. The fatigue durability GFRP under increased

temperatures // Procedia Structural Integrity. – 2019. – Vol. 17. – P. 651–657. (**Web of Science, Scopus**).

В своей работе соискатель представил результаты изучения влияния повышенных температур на усталостную чувствительность и долговечность стеклопластикового композита в опытах на предварительное циклическое и последующее квазистатическое растяжение.

5. Wildemann V.E., Staroverov O.A., Tretyakov M.P. Deformation and failure of polymer composite materials under preliminary cyclic and low-velocity impacts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 747. Iss. 1. – № art. 012034. (**Scopus**)

В работе соискатель привел новые методические рекомендации проведения испытаний композиционных материалов при последовательных циклических, ударных и квазистатических нагрузках. Представлены опытные зависимости изменения процессов накопления повреждений и разрушения стеклопластиков при предварительном циклическом и ударном растяжении, а также поперечном ударе по схеме трехточечного изгиба. В опытах с предварительным ударным изгибом выявлен порог ударной чувствительности. Показана смена механизмов разрушения при ударах выше порога ударной чувствительности

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные: **Баженова Валентина Георгиевича**, д-ра физ.-мат. наук, проф., гл. научного сотрудника лаборатории математического моделирования и идентификации свойств материалов Научно-исследовательского института механики, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им Н. И. Лобачевского; **Берестовой Светланы Александровны**, д-ра физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой теоретической механики Института фундаментального образования, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; **Митрайкина Виктора Ивановича**, д-ра техн. наук, профессора кафедры машиноведения и инженерной графики, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ; **Радченко Владимира Павловича**, д-ра физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой прикладной математики и информатики, Самарский государственный технический университет; **Скрипняка Владимира Альбертовича**, д-ра техн. наук, проф., зав. кафедрой механики деформируемого твердого тела, Национальный исследовательский Томский государственный университет; **Смирнова Сергея Витальевича**, д-ра техн. наук, директора Института машиноведения УрО РАН.

В отзывах отмечено, что диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи по разработке методик исследований композиционных материалов в условиях механических воздействий, приближенных к реальным условиям эксплуатации, с учетом влияния температуры окружающей среды на процессы деформирования и разрушения композиционных образцов различной структуры.

В отзывах содержатся следующие пожелания, вопросы и замечания: из автореферата диссертации не ясно, как в эксперименте оценивалась кинетическая энергия ударника

при динамическом нагружении образцов по схеме трехточечного изгиба; не понятно, возможно ли обобщение полученных результатов экспериментальных исследований на поведение полимерных композитов при пониженных температурах, при перепадах температур; для более детальной идентификации характера и размеров повреждений желательна проведение сравнительной оценки несколькими способами неразрушающего контроля; в качестве пожелания, хотелось бы расширить указанную номенклатуру материалов, схем армирования и способов их получения, а также оценить влияние различных марок связующего на механическое поведение; текстуально не описана величина φ_a на рис. 7 и рис. 9; на стр. 7 автором введена величина δ для «фиксации» границ участка стабилизации усталостной чувствительности, при этом в формуле (1) она выражается через производную. Но результаты экспериментальных исследований, во-первых, дискретны, а во-вторых, всегда (особенно при усталостных испытаниях) имеется разброс данных. Как строго математически использовать эту формулу в этих условиях – автор не поясняет; на рис. 7, рис. 9, рис. 17 следовало указать интервалы достоверности; при анализе поведения образцов с 3D и 2D типами структур не объяснена причина сохранения остаточной прочности у образцов с 3D армированием; корректно ли утверждать, что ударное нагружение способствует «реализации деформационного ресурса при сжатии»?; выявлены ли общие закономерности в процессе разрушения? Каким образом влияет наполнитель на механизмы разрушения отдельных элементов панелей? Почему не использованы в данном случае предложенные автором безразмерные диаграммы остаточной прочности и жесткости?; из автореферата не ясно, каким образом и на основании каких допущений был получен критерий для определения начала и завершения участка стабилизации усталостной чувствительности; в автореферате не дано объяснение причины аномального уменьшения ресурса стеклопластика после циклического нагружения с амплитудой $0,2 \sigma_B$.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области механики деформирования твердого тела, имеют публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы цитирования, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН), хорошо известна своими достижениями в области экспериментальной механики композиционных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методики испытаний и обработки их результатов для полимерных композиционных материалов в условиях комплексных квазистатических, циклических и ударных воздействий с использованием современного испытательного и диагностического оборудования;

получены новые экспериментальные данные о влиянии параметров предварительных циклических, ударных и дополнительных вибрационных воздействий на механические свойства и разрушение слоисто-волоконистых, пространственно-армированных, для панелей с сотовым наполнителем, стержневых и трубчатых стекло- и углепластиковых образцов в условиях нормальных и повышенных температур;

предложен новый вид интерпретации опытных данных в виде диаграммы усталостной чувствительности в опытах на предварительное циклическое и последующее квазистатическое растяжение полимерных композиционных материалов;

доказана возможность использования разработанных методик исследований при изучении процессов деформирования и разрушения композиционных материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс современного испытательного и диагностического оборудования для анализа процессов деформирования и разрушения композиционных материалов при сложных механических воздействиях;

изучено влияние параметров циклического воздействия, схем армирования и температуры окружающей среды на стадийность усталостной поврежденности стеклопластиковых образцов;

изучено механическое поведение пространственно-армированных углепластиковых композитов с оценкой остаточной несущей способности при сжатии после удара с использованием методов дефектоскопии;

изложена совокупность новых экспериментальных данных, отражающая влияние дополнительных вибрационных воздействий на реализацию деформационных резервов стеклопластиковых стержневых и углепластиковых трубчатых образцов в процессах квазистатического растяжения;

раскрыты закономерности смены механизмов разрушения слоистых стеклопластиковых при поперечных ударах с энергиями, превышающими порог ударной чувствительности;

проведена модернизация существующих методик испытаний и обработки результатов современных композиционных материалов, позволившая проводить анализ изменения прочностных и жесткостных свойств в условиях статических, циклических и ударных

воздействий.

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

полученные данные по оценке степени повреждения углепластиковых пространственно-армированных композитов **использованы** на предприятии ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск, Ярославская область) при проектировании изделий авиационного назначения, что отражено в акте внедрения, приложенном к диссертации;

разработаны методики проведения испытаний композиционных материалов при последовательных квазистатических, циклических и ударных воздействиях, которые могут быть использованы при проектировании изделий, работающих в условиях сложных механических нагрузок.

Результаты диссертационного исследования Староверова О.А. могут быть использованы на предприятиях авиационной, космической, нефтехимической, машиностроительной, автомобилестроительной промышленности, ориентированных на проектирование и создание современных композиционных конструкций, такими как ОАО «Авиадвигатель», ПАО «ОДК-Сатурн», Уральского НИИ композиционных материалов, ОАО "Пермский завод «Машиностроитель», ПАО «НПО Искра», АО «Композит».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовался комплекс аттестованного оборудования и поверенных средств измерений в условиях аккредитованной испытательной лаборатории (аттестат аккредитации испытательного центра № ИЛ-046 Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация)) Центра экспериментальной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета; результаты испытаний качественно **согласуются** с данным других авторов для отдельных режимов нагружения и видов материалов.

Личный вклад соискателя состоит в: составлении обзора и проведении анализа существующих подходов исследования механического поведения композиционных материалов, подверженных статическим, циклическим и ударным воздействиям; разработке и апробировании методик испытаний, а также обработке полученных результатов; проведении экспериментальных работ по определению прочностных и деформационных характеристик композитов при комплексных механических воздействиях в условиях нормальных и повышенных температур; подготовке публикаций вместе с соавторами выполненной работе.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842:

в ней изложены и научно обоснованы решения задач экспериментального исследования процессов деформирования и разрушения композиционных полимерных материалов при циклических, ударных, вибрационных воздействиях, имеющие важное значение в области механики композиционных материалов.

На заседании 18 декабря 2020 года диссертационный совет принял решение присудить *Староверову Олегу Александровичу* ученую степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета Д 999.211.02,
академик РАН, доктор технических наук,
профессор,

Матвеев В.П.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,

Щербинин А.Г.

«21» декабря 2020 г.

