

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

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 11 июня 2021 г., протокол № 5
о присуждении Безмельницыну Александру Викторовичу, гражданину России,
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Оценки жесткости и прочности втулок опорных узлов дорожных машин на основе многомасштабных численных моделей пористого тканевого стеклопластика» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела принята к защите 09.04.2021 г. (протокол заседания №3) диссертационным советом Д 999.211.02, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, д. 29) и федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (614990, г. Пермь, ул. Ленина, д. 13а) на основании приказа Минобрнауки России № 424/нк от 17.04.2018 г.

Соискатель Безмельницын Александр Викторович, 1986 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), в 2016 году окончил аспирантуру очной формы обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (специальность 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры, период обучения 19.04.2012 г. – 18.04.2016 г.), работает младшим научным сотрудником кафедры «Техническая механика» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета).

Диссертация выполнена на кафедре «Техническая механика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Сапожников Сергей Борисович**, профессор кафедры «Техническая механика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **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»,

2. **Пестренин Валерий Михайлович**, кандидат физико-математических наук (01.02.01), доцент, доцент кафедры вычислительной и экспериментальной механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева – КАИ» (г. Казань), в своем положительном отзыве, утвержденном проректором по научной и инновационной деятельности, д-ром техн. наук, проф. Михайловым Сергеем Анатольевичем и подписанном заведующим кафедрой производства летательных аппаратов, д-ром техн. наук, проф. Халиулиным Валентином Илдаровичем, указала, что диссертационная работа представляет законченное научное исследование, в котором изложены новые научно обоснованные решения, имеющие значения для развития транспортной отрасли, работа соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела и удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, соискатель, Безмельницын А.В., заслуживает присуждения степени кандидата технических наук; обоснованность и достоверность выводов и положений обеспечивается использованием современного испытательного оборудования, результаты имеют значение для науки и практики, в отзыве отмечена научная новизна, в частности, разработаны и верифицированы оригинальные численные модели, позволяющие определить упругие и теплофизические свойства ортотропных тканевых слоев в открытопористых композитах, основываясь на свойствах матрицы и волокон; получены новые экспериментальные данные о распределении по толщине стенки пористости, окружного модуля упругости и коэффициентов теплового линейного расширения; выявлен новый механизм образования остаточных технологических напряжений в цилиндрических изделиях, полученных намоткой; разработана оригинальная расчетно-экспериментальная методика для оценки величины этих напряжений. Предложена методика оценки несущей способности втулок из ортотропных слоистых композитов, работающих в высоконагруженных узлах трения.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 работы

опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени кандидата наук, и приравненных к ним, в т.ч. 3 работы – в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем публикациях. *Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:*

1. **Зиновьев, Р.С.** Оценка прочности и жесткости вкладышей подшипников скольжения из стеклопластика / Р.С. Зиновьев, С.Б. Сапожников, А.В. Безмельницын // Композиты и наноструктуры. – 2012. – № 3(15) – С. 10-18. (**ВАК**) (9 стр. / авт. 3 стр.)

В работе предложены расчетно-экспериментальные методы оценки трансверсальных и сдвиговых прочностных характеристик композитов с открытой пористостью, полученных окружной намоткой.

2. **Sapozhnikov, S.B.** Microstructure and mechanical behaviors of thick-walled journal bearing GFRP rings / S.B. Sapozhnikov, A.V. Bezmelnitsyn, R.S. Zinoviev// Journal «The 19th international conference on composite materials – 2013», (July 28–August 2 Montreal, Canada). 2013. – Vol. 6. – Pp. 9258-9261. (**Scopus**) (4 стр. / авт. 2 стр.)

В данной работе соискатель представил данные о структурной неоднородности толстостенных втулок подшипников скольжения из тканевых композитов с открытой пористостью, полученных намоткой. Показано, что увеличение толщины втулки приводит зачастую к расслоению из-за высоких технологических трансверсальных (межслойных), растягивающих напряжений, возникающих в процессе изготовления. Эти напряжения могут вызывать также заметное коробление толстостенных втулок при механической обработке.

3. **Bezmelnitsyn, A.V.** Assessment of residual stresses in thick-walled GFRP sliding bearing after winding and curing / A.V. Bezmelnitsyn, S.B Sapozhnikov // 20th International Conference on Composite Materials. Copenhagen, 19-24th July 2015. 2015. – Pp. 1-10. (**Scopus**) (10 стр. / авт. 7)

В данной работе соискатель показал, что силовая намотка предварительно пропитанной стеклоткани на жесткую оправку приводит к неоднородному обжатю слоев по толщине втулки и искажению исходной геометрии переплетения нитей основы и утка. Также представлены результаты дилатометрических исследований распределения коэффициентов линейного теплового расширения по толщине в окружном и аксиальном направлении. Методом выжигания определены объемные доли стекловолокон и матрицы в нитях, на основе чего вычислены теплофизические свойства нити как однонаправленного микропластика.

4. **Безмельницын, А.В.** Многомасштабное моделирование и анализ механизма возникновения технологических межслойных напряжений в толстостенных кольцах из стеклопластика / А.В. Безмельницын, С.Б. Сапожников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2017. – № 2. – С. 5-22. (**Scopus, ВАК**). (18 стр. / авт. 7 стр.)

В работе соискателем представлен анализ геометрии реального переплетения нитей, что позволило получить данные для моделирования трехмерной структуры ткани и расчетного

определения теплофизических свойств композитных тканевых слоев на мезоуровне в пакете ANSYS Workbench, которые были использованы далее для нахождения остаточных межслойных температурных напряжений во втулке подшипника скольжения из композита с открытой пористостью.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов, все отзывы положительные: заведующего кафедрой теоретической механики Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, д-ра техн. наук, доц. **Берестовой С.А.**; старшего научного сотрудника отдела фундаментальных проблем аэрокосмических технологий Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, д-ра техн. наук **Болтаева П.И.**; главного научного сотрудника учебно-научно-технологической лаборатории «Технология полимерных нанокompозитов» Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Амосова, д-ра техн. наук, проф. **Охлопковой А.А.**; заведующего кафедрой механики деформируемого твердого тела Национального исследовательского Томского государственного университета, д-ра физ.-мат. наук, проф. **Скрипняка В.А.**; заведующего кафедрой «Прикладная механика» Южно-Уральского государственного аграрного университета, канд. техн. наук, доц. **Гутрова М.А.**; АО «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов» (отзыв утвержден ген. директором Чунаевым В.Ю., подписан начальником сектора Назировым М.Ф.).

В отзывах отмечено, что: диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи по разработке методов оценки жесткости и прочности деталей из композитов с открытой пористостью, полученных окружной намоткой, на основе многомасштабных численных моделей; в работе уделено большое внимание экспериментальным исследованиям механических и теплофизических свойств такого композита, а также разработке расчетно-экспериментальной методики оценки несущей способности втулок из тканевых композитов в составе высоконагруженных опор скольжения.

В отзывах содержатся следующие пожелания, вопросы и замечания: в автореферате следовало привести данные, демонстрирующие сеточную сходимость численных решений задач для пространственно-неоднородных структур композиционных материалов втулок; поскольку при конечно-элементном моделировании деформирования конструкций опорных втулок опорных катков применялись эквивалентные характеристики механических свойств тканевого композита с открытой пористостью, следовало указать, методику определения параметров представительного объема композита; расчеты конечно-элементных моделей, а также экспериментальные исследования по определению физико-механических свойств композитного материала выполнены без учета влияния на его прочность и жесткость консистентной смазки, заполняющей поры материала в реальных условиях эксплуатации (главы 2,3 диссертационной работы); применение формулы (2.1) стр. 42 диссертации возможно только в рамках гипотезы малости перемещений; втулки

тяжелонагруженных узлов дорожных машин, в ряде случаев, устанавливаются с натягом по одной из поверхностей, при этом наличие смазки в зоне контакта является негативным технологическим и эксплуатационным фактором; в автореферате диссертации ничего не говорится о причинах разброса полученных экспериментальных данных при определении окружного модуля упругости, объемных долей стекловолокон, матрицы, пор и коэффициентов теплового линейного расширения; отсутствует информация о том, как было учтено влияние неоднородности физико-механических свойств втулки при интерпретации результатов испытаний на трансверсальное растяжение до разрушения образцов, вырезанных из стеклопластиковой втулки с открытой пористостью; не ясно, возможна ли модификация втулок функциональными добавками; разработанные новые методы оценки несущей способности втулок не оформлены патентами.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области проектирования конструкций из композитных материалов, моделирования деформирования материалов со сложной структурой, имеют публикации по данному направлению в ведущих научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

ведущая организация хорошо известна своими достижениями в области механики композитов, в университете решаются фундаментальные и прикладные задачи в области проектирования конструкций из композитных материалов, соответствующей направлению, разрабатываемому в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получены новые экспериментальные данные о распределении по радиусу механических и теплофизических свойств в композитных втулках с открытой пористостью, полученных радиальной намоткой тканевого препрега с постоянным усилием натяжения и последующим отверждением.

разработана оригинальная конечно-элементная модель мезоструктуры тканевого открытопористого стеклопластика, позволяющая прогнозировать полный набор физико-механических характеристик эквивалентного ортотропного упругого гомогенного материала.

описан новый механизм образования остаточных технологических напряжений в композитных втулках с открытой пористостью, связанный с неоднородным распределением по радиусу микроструктуры, упругих и теплофизических свойств и предложен расчетно-экспериментальный метод оценки величины этих напряжений.

разработан новый расчетно-экспериментальный метод оценки несущей способности композитных втулок, работающих в составе высоконагруженных опор скольжения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы многомасштабные численные модели для оценки упругих и теплофизических характеристик композитов с открытой пористостью;

изучены микро- и мезо-структура материала внутренних и внешних слоев композитной втулки с открытой пористостью, распределения по толщине модуля упругости, плотности, объемные доли стеклянных волокон, полимерной матрицы, пор (пустот) и коэффициента теплового линейного расширения, а также определена температура стеклования эпоксифенольного связующего.

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

полученные экспериментальные данные о распределении по радиусу композитной втулки физико-механических характеристик, величине остаточных технологических напряжений **использованы** при проектировании высоконагруженных опор скольжения, что отражено в актах внедрения;

разработана расчетно-экспериментальная методика оценки несущей способности композитных втулок в упругой постановке.

Результаты диссертационного исследования Безмельницына А.В. могут быть использованы компаниями, занимающимися проектированием и производством машиностроительных изделий из композитных материалов, в том числе предприятиями, занимающимися изготавливающими опоры скольжения, например: ООО НПП «Полидор» (г.Челябинск), ООО «Сатурн» (г.Челябинск), и др., а также другими предприятиями, связанными с производством изделий из композитных материалов для дорожной и строительной техники.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовалось современное аттестованное испытательное оборудование и поверенные средства измерения лаборатории экспериментальной механики и Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета);

результаты численных исследований удовлетворительно качественно и количественно **согласуются** с экспериментальными данными и с известными данными других авторов; современные программные пакеты и методы математического моделирования корректно **использованы** в разработанных моделях для описания упругого деформирования изделий из композитов с открытой пористостью.

Личный вклад соискателя состоит в: составлении обзора литературы по вопросам, посвященным применению современных полимерных и композитных материалов в высоконагруженных опорах скольжения, работающих в условиях сухого трения, проведении анализа существующих методов оценки величины остаточных

технологических напряжений композитных изделий, полученных намоткой, и численных подходов, применяемых при оценке упругих и прочностных свойств изделий из тканевых композитных материалов; проведении экспериментальных исследований и обработке экспериментальных данных по определению трибологических, физико-механических и прочностных характеристик композитных втулок с открытой пористостью; разработке расчетно-экспериментальной методики оценки остаточных технологических напряжений во втулках с неоднородно распределенными по толщине ортотропными физико-механическими свойствами; разработке расчетно-экспериментальной методики оценки несущей способности втулок из тканевых композитов; подготовке публикаций по выполненной работе, участии в научных конференциях с представлением результатов исследования.

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 24.09.2013 г. № 842: в ней содержится решение задачи оценки жесткости и прочности деталей из композитов с открытой пористостью, полученных окружной намоткой, на основе многомасштабных численных моделей, имеющее важное значение в области проектирования изделий из композитов цилиндрической формы.

На заседании 11 июня 2021 года диссертационный совет принял решение присудить **Безмельницыну Александру Викторовичу** 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 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – нет, воздержавшихся – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета Д 999.211.02,

доктор технических наук, профессор,

 Труфанова Н.М.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

 Щербинин А.Г.

«15» июня 2021 г.