

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.067.02,  
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 18 марта 2024 г. № 2  
о присуждении Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевне, гражданке России,  
ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Термовязкоупругое поведение крупногабаритного намоточного изделия в процессе изготовления» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела принята к защите 10 января 2024 года (протокол заседания №1) диссертационным советом 99.0.067.02, 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 17.04.2018г.

Соискатель, Сахабутдинова Ляйсан Рамилевна, 13.08.1990 года рождения, в 2017 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в 2020 году окончила аспирантуру очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению по направлению 01.06.01 Математика и механика (период обучения в аспирантуре 01.10.2014-30.09.2020), работает старшим преподавателем кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика» в Пермском национальном исследовательском политехническом университете.

Диссертация выполнена на кафедре «Вычислительная математика, механика и биомеханика» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Сметанников Олег Юрьевич, профессор кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

Официальные оппоненты:

1) **Вахрушев Александр Васильевич**, доктор физико-математических наук (01.02.04),

профессор, главный научный сотрудник отдела моделирования и синтеза технологических структур ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»;

2) **Сапожников Сергей Борисович**, доктор технических наук (01.02.06), профессор, главный научный сотрудник кафедры технической механики ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь), в своем положительном отзыве, утвержденном проректором по научной работе и инновациям, кандидатом физико-математических наук Ирха Владимиром Александровичем и подписанном заведующим кафедрой фундаментальной математики, профессором кафедры вычислительной и экспериментальной механики, доктором технических наук, профессором Валерием Нагимовичем Аптуковым, заведующим кафедрой вычислительной и экспериментальной механики, кандидатом технических наук, доцентом Валерием Николаевичем Терпуговым, указала, что диссертационная работа Сахабутдиновой Л.Р. является научно-квалификационной работой, связанной с получением и анализом данных об эволюции напряжено-деформированного состояния крупногабаритного намоточного изделия в процессе изготовления с учетом сложного термомеханического нагружения и термовязкоупругого характера поведения материалов формообразующей оправки и композиционной оболочки. Диссертационная работа Сахабутдиновой Л.Р. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Исследование нестационарной теплопроводности в процессе изготовления намоточной конструкции в Ansys Mechanical APDL / Л.Р. Сахабутдинова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 43-52. (ВАК) 9 стр./9 стр.

*В работе соискателем приведены результаты численного прогнозирования эволюции температурных полей крупногабаритной намоточной конструкции в процессе изготовления. В среде конечно-элементного анализа ANSYS Mechanical APDL создан трехмерный аналог конструкции и решена задача теплопроводности. Верификация полученного численного решения подтверждена результатами термометрии реальной конструкции. Получено решение задачи нестационарной теплопроводности на этапе полимеризации оболочки.*

2. Численное моделирование процесса изготовления крупногабаритного композитного кокона с учетом термовязкоупругости / Л.Р. Сахабутдинова, О.Ю.

Сметанников, Г.В. Ильиных // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2022. – №76. – С. 165-181. (Web of Science, Scopus, ВАК), 6 стр./16 стр.

*В работе соискателем представлены результаты моделирования основных этапов технологического процесса производства крупногабаритной оболочки методом непрерывной намотки, описана модель термомеханического поведения материалов оправки и оболочки, получены параметры выбранной модели. Автор принимал личное участие в формулировании систем граничных и начальных условий, проведении серии вычислительных экспериментов, диссертанту принадлежат обработка и представлению результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем О.Ю. Сметанниковым.*

3. ANSYS simulation of the thermomechanical behavior of a large-sized composite mandrel with consideration of viscoelasticity / O.Y. Smetannikov, L. Sakhabutdinova, G. Ilyinykh // Aerospace. – 2022. – Vol. 9. – №3. – Art.117. (Web of Science, Scopus), 2стр. /5 стр.

*В работе рассматривается моделирование технологического процесса изготовления крупногабаритной оболочки с учетом термомеханического поведения и вязкоупругости композитной оправки. Представлены результаты экспериментальной идентификации параметров вязкоупругости исследуемого материала. Описан предложенный численный алгоритм адаптации экспериментальных данных для пакета конечно-элементного анализа ANSYS Mechanical APDL. Автор принимал личное участие в формулировании систем граничных и начальных условий, проведении серии вычислительных экспериментов, диссертанту принадлежат обработка и представлению результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем О.Ю. Сметанниковым.*

4. Разработка методики расчета НДС композиционной оболочки в процессе изготовления/ Л.Р. Сахабутдинова, О.Ю. Сметанников, Г.В. Ильиных // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – №3. – С. 84-99. (ВАК), 7стр./15 стр.

*В работе рассмотрены ключевые этапы разработки комплексной методики для прогнозирования напряженно-деформированного состояния системы «песчано-полимерная оправка - пластиковая оболочка» в процессе термообработки с адаптацией экспериментально определенных вязкоупругих характеристик компонентов в САЕ пакете ANSYS Mechanical APDL. Автор принимал личное участие в формулировании систем граничных и начальных условий, проведении серии вычислительных экспериментов, диссертанту принадлежат обработка и представлению результатов; анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем О.Ю. Сметанниковым.*

5. Математическая модель процесса изготовления композитного баллона высокого давления с учетом вязкоупругости / Л.Р. Сахабутдинова, О.Ю. Сметанников // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 10. – С. 127-130. (ВАК), 1стр./3 стр.

*В работе рассмотрена разработка численных моделей композиционных материалов с учетом их вязкоупругих свойств для дальнейшего моделирования технологического процесса изготовления силовой оболочки баллона высокого давления. Получены вязкоупругие характеристики материала оправки. Описаны подходы к численному*

*определению вязкоупругих характеристик слоев оболочки и получению эффективных характеристик силовой оболочки для дальнейшего моделирования технологического процесса изготовления. Постановка задачи, численное моделирование и обработка результатов выполнены совместно с научным руководителем О.Ю. Сметанниковым.*

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы положительные: Волгина Владимира Мировича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры электро- и нанотехнологий Тульского государственного университета; Берестовой Светланы Александровны, д-ра физ.-мат. наук, доц., заведующего кафедрой теоретической механики Института фундаментального образования Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина; Ломаева Владимира Ивановича, д-ра техн. наук, генерального директора Акционерного общества «Пермский завод «Машиностроитель»; Голуба Михаила Владимировича, д-ра физ.-мат. наук, доцента, заведующего кафедрой теории функций Кубанского государственного университета; Радкевича Михаила Михайловича, д-ра техн. наук, проф., профессора института Высшей школы машиностроения Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; Гуна Игоря Геннадьевича, д-ра техн. наук, проф., профессора кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова; Тимарова Алексея Георгиевича, кандидата техн. наук, ведущего научного сотрудника отделения 2 АО ГНЦ «Центра Келдыша», Фролова Олега Владимировича, инженера-конструктора 1 категории АО ГНЦ «Центра Келдыша».

В отзывах отмечено, что диссертация нацелена на решение важной научной и практической задачи развития методологии решения прикладных задач технологической механики производства крупногабаритных оболочек из полимерных композиционных материалов, имеющих выраженную анизотропию термовязкоупругих характеристик.

В отзывах содержатся следующие пожелания, вопросы и замечания: из текста автореферата неясно как при оценке напряженно-деформированного состояния учитывались параметры процесса намотки (сила натяжения, скорость, степень армирования); в автореферате не указан армирующий материал и не приведена методика получения образцов из однонаправленного органопластика; обозначение оси абсцисс на рис. 3 не соответствует приведенным значениям, так же следует пояснить, из каких соображений был выбран интервал значений времени (от  $10E-20$  с до  $10E40$  с); следовало привести больше иллюстративных материалов, отражающих полученные результаты о НДС конструкции в процессе изготовления; хотелось бы более подробного анализа полученных результатов, что и в какой мере влияет на неоднородность распределения радиальных напряжений на поверхности оправки (рис.7); к недостаткам автореферата следует отнести недостаточное освещение принятия гипотезы о линейновязкоупругом и термореологически простом поведении рассматриваемых материалов; на странице 9 после формулы (10), перечисление соотношения (5), (6), (8) и (10), выполнены в хаотичном порядке; не обоснован выбор базовой температуры  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; страница 16 на рисунке 8 не расшифрованы подписи кривых 1-7; не отражена постановка задачи нестационарной теплопроводности, не описана связь данной задачи с основной задачей отыскания напряженно-деформированного состояния конструкции; проводился ли анализ влияния внешних воздействий на НДС крупногабаритных полимерных оболочек

в процессе изготовления (имеются в виду следующие параметры: температура, влажность окружающей среды и т.д.); важен ли учет термовязкоупруго поведения материала оболочки, проводились ли автором какие-то другие исследования, где выбор модели поведения материала оболочки оказывает существенное влияние; в тексте автореферата не приводится влияние теплофизических свойств композиционного материала оболочки на величину температурных деформаций; из текста автореферата не следует, как автором решается вопрос адаптации научных результатов в отечественном программном обеспечении, в т.ч. коммерческом.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области моделирования и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов, 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 автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь), хорошо известна своими достижениями в области исследования механического поведения конструкций из полимерных волокнистых композиционных материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** комплексная расчетно-экспериментальная методика описания напряженно-деформированного состояния системы «оправка – композиционная оболочка» в процессе изготовления оболочки с учетом термовязкоупругого поведения материалов;

**предложена** численная процедура идентификации термомеханических параметров для описания поведения песчано-полимерной смеси, учитывающая особенности реологии при нормальной и повышенных температурах;

**предложена** модель термовязкоупругого поведения композиционного материала в процессе намотки и термообработки, аппроксимирующая анизотропию упругого поведения среды с одним независимым вязкоупругим оператором, реализованная в среде ANSYS Mechanical APDL;

**получены** – в результате комплексного исследования на основе вычислительных экспериментов – новые данные о пространственно-временном распределении интенсивностей напряжений и нормального давления на внешней поверхности оправки, установленные, в том числе при отклонениях от проектных параметров технологического процесса.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы численные**

модели для анализа напряженно-деформированного состояния системы «оправка – оболочка», возникающего в процессе изготовления рассматриваемого объекта;

**изучены** пространственно-временные зависимости изменения параметров напряженно-деформированного состояния системы «оправка – оболочка», а также нормального давления на внешней поверхности оправки в процессе изготовления на этапах намотки и термообработки.

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

**разработана** расчетная методика прогнозирования термовязкоупругого поведения системы «оправка – оболочка», отличающаяся последовательной реализацией задачи нестационарной теплопроводности и квазистатической краевой задачи механики деформируемого твердого тела, которая **использована** на предприятии ПАО НПО «Искра» (г. Пермь) в производственной деятельности при выполнении инвестиционного проекта в рамках темы «Оправка» и является составной частью методики расчета напряженно-деформированного состояния композиционных оправок.

Результаты диссертационного исследования Сахабутдиновой Л.Р. могут быть использованы на предприятиях, при проектировании и создании конструкций из полимерных волокнистых композитов, например, на предприятиях АО «ОДК-Авиадвигатель», ПАО «ОДК-Сатурн», ПАО «НПО Искра», АО «Пермский завод «Машиностроитель», АО «УНИИКМ».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** использовалось современное аттестованное испытательное оборудование и поверенные средства измерения Центра экспериментальной механики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»;

результаты численных исследований качественно и количественно **согласуются** с экспериментальными данными;

корректное **использование** современных программных пакетов и методов вычислительной механики сплошных сред в разработанных моделях для описания термовязкоупругого поведения крупногабаритных намоточных изделий в процессе изготовления.

**Личный вклад соискателя** состоит в следующем: **постановке** краевых квазистационарных задач; **проведении** серии вычислительных экспериментов; **разработке** алгоритмов и создании программ для ЭВМ на их основе; **реализации** численных экспериментов, обработке и визуализации результатов; все отраженные в диссертации результаты **получены** лично или с непосредственным участием автора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

в работе не отражены вопросы учета неравномерности распределения и миграции не отвержденного связующего в композиционном материале оболочки на этапе намотки.

Соискатель Сахабутдинова Л.Р. ответила на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию принятых гипотез и допущений.

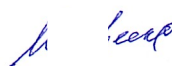
На заседании 18 марта 2024 года диссертационный совет принял решение за решение задачи механики деформируемого твердого тела, связанной с разработкой комплексной

расчетно-экспериментальной методики описания поведения и исследование на ее основе напряженно-деформированного состояния системы «оправка – композиционная оболочка» в процессе изготовления оболочки с учетом термовязкоупругого поведения материалов, имеющее важное прикладное значение в области проектирования крупногабаритных намоточных изделий, присудить **Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевне** ученой степень *кандидата технических наук*.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета 99.0.067.02,  
академик РАН, доктор **технических наук**, профессор



Матвеевко В.П.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 99  
доктор **технических наук**, П



—

Щербинин А.Г.

«21» марта 2024 г.