

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.13

Соискатель: Тант Зин Хейн

Тема диссертации: Исследование влияния размера сферических включений в полимерном композиционном материале на физико-механические характеристики

Специальность: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании «22» декабря 2023 года, протокол 6, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Тант Зин Хейн является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Тант Зин Хейн отвечает требованиям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании «22» декабря 2023 года, протокол 6, диссертационный совет принял решение присудить Тант Зин Хейн ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Рабинский Л.Н., заместитель председателя диссертационного совета Федотенков Г.В., ученый секретарь диссертационного совета Орехов А.А.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Белов П.А., Бирюков В.И., Гавва Л.М., Кондратенко Л.А., Лурье С.А., Миронова Л.Н., Хейло С.В.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.13,
д.ф.-м.н., доцент


_____ Федотенков Г.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.13,
к.т.н.


_____ Орехов А.А.

«22» 12 2023 г.

Начальник отдела УДС МАИ



Т.А. Антимова
_____ Т.А. Антимова

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.13,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от «22» декабря 2023 г. № 6

О присуждении Тант Зин Хейн, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Исследование влияния размера сферических включений в полимерном композиционном материале на физико-механические характеристики» по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин принята к защите «20» октября 2023 г., протокол заседания № 5 диссертационным советом 24.2.327.13 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.13 – № 1503/нк от «12» июля 2023 г.

Соискатель Тант Зин Хейн, 5 декабря 1986 года рождения, в 2013 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» с присвоением степени «Магистра» по направлению «Авиастроение» с отличием. В период подготовки диссертации соискатель, Тант Зин Хейн, обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» с 01.09.2018 по 31.08.2022.

Диплом об окончании аспирантуры серия 107718, номер 1121321, выдан 7 июля 2022 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» Института инженерной подготовки (Институт №9) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, **Рабинский Лев Наумович**, заместитель директора Дирекции Института инженерной подготовки (Институт №9), заведующий кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», профессор кафедры «Сопротивление материалов, динамика и прочность машин» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Могилевич Лев Ильич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика и системный анализ» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов.

Волков-Богородский Дмитрий Борисович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»**, г. Самара, в своем положительном отзыве, подписанном директором научно-образовательного центра авиационных конструкций, доктором технических наук, профессором **Комаровым Валерием Андреевичем** и заведующим кафедрой «Конструкции и проектирования летательных аппаратов», доктором технических наук, доцентом **Болдыревым Андреем Вячеславовичем**, и утверждённом первым проректором – проректором по научно-исследовательской работе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доктором технических наук, доцентом **Прокофьевым Андреем Брониславовичем**, указала, что диссертация Гант Зин Хейн представляет собой законченную научно-квалификационную работу,

в которой решена важная практическая задача, а на основе полученных результатов можно создавать материалы с необходимыми физико-механическими характеристиками, используя различные наполнители. Диссертация соответствует всем требованиям п.п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями и дополнениями), а её автор, Тант Зин Хейн, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации, из которых 6 работ в рецензируемых научных изданиях, в том числе 4 научные работы в международных журналах, индексируемых Scopus и 2 научные работы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Ниже указаны наиболее значимые работы по теме диссертации.

1. *Тант Зин Хейн.* Взаимодействие плоской волны давления со сферической оболочкой в упругой среде. Труды МАИ. 2023. № 129. URL:<https://trudymai.ru/published.php?ID=173020>. DOI: 10.34759/trd-2023-129-08

2. *Тант Зин Хейн, Л.Н. Рабинский, С.А. Шумская.* Исследование влияния объемного содержания сферических включений на физико-механические характеристики композиционного материала. Механика композиционных материалов и конструкций. Том 4. 2023г. (принята к печати)

3. *Thant Zin Hein, Babaytsev, A.V., Kyaw, Ye Ko, Vakhneev, Sergey N.* Study of the influence of spherical inclusions on mechanical characteristics. Periodico Tche Quimica. Volume 17, Issue 35, ISSN 2179-0302, 2020, Pages 654-662.

В этих и остальных работах изложены и обоснованы основные результаты автора по исследованию влияния объемного содержания сферических включений в композиционном материале на физико-механические характеристики при статическом и динамическом нагружении. Вклад соискателя в публикации, выполненные в соавторстве, состоит в участии в формулировке постановок задач, разработке методов их решения, а также выполнении численных расчетов и их анализа, а также подготовке и проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные;

от **Рабинского Льва Наумовича**, доктора физико-математических наук, профессора, заместителя директора Дирекции Института общепромышленной подготовки (Институт №9), заведующего кафедрой «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения», профессора кафедры «Сопrotивление материалов, динамика и прочность машин», отзыв положительный;

от **Комарова Валерия Александровича**, доктора технических наук, профессора, директора научно-образовательного центра авиационных конструкций и **Болдырева Андрея Вячеславовича**, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Конструкции и проектирования летательных аппаратов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»;

от **Могилевича Льва Ильича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Прикладная математика и системный анализ» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», отзыв положительный;

от **Волкова-Богородского Дмитрия Борисовича**, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук», отзыв положительный;

от **Мартыросовой Елены Ивановны**, кандидата технических наук, Генерального директора ООО «ВСТ-Спецтехника», отзыв положительный;

от **Шеметовой Елены Владиславовны**, кандидата технических наук, ведущего инженера по испытаниям АО «НПО Лавочкина», отзыв положительный;

от **Быкова Александра Андреевича**, кандидата технических наук, доцента кафедры прикладной механики ФГАОУ ВО «МФТИ, Физтех», отзыв положительный;

от **Насонова Федора Андреевича**, кандидата технических наук, ведущего технолога 3 кл. Научно-исследовательского отделения, заместителя ученого секретаря отделения НТС в ОКБ ОТА, руководителя Научно-технического сектора Совета МС ОКБ Сухого, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая и фундаментальная ценность.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве **ведущей организации** – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) – имеются следующие **замечания**:

1. Обширный обзор литературы в диссертации не структурирован, недостаточно критичен и не содержит выводов, из которых следует постановка задач работы.

2. В расчетах, предложенных, а разделах 2.3 и 2.4, использовались модули упругости применяемых материалов. Дополнительно к анализу значений предельной прочности и предельной деформации хотелось бы увидеть сравнение значений модулей упругости, полученных экспериментально статическим и динамическим методами.

3. В подрисуночных подписях к рисункам 4.9, 4.11, 4.14 причины и следствия указаны взаимно неправильно.

4. В таблице 1 не проводится плотность композита с включениями и соответствующие удельные величины модулей упругости и прочности исследуемого материала. Поэтому таблица создает превратное представление о важнейших механических характеристики исследованного материала, т.к. они только падают вместо того, чтобы расти.

5. Выводы по работе не отражают в полной мере полученные интересные и важные результаты о свойствах нового материала, которые имеются в тексте работы.

Замечания в отзыве **официального оппонента Могилевича Льва Ильича**:

1. В задаче о дифракции волны давления на сферической оболочке в упругой среде использована модель оболочки типа Тимошенко. Почему не была использована, например, модель Кирхгофа-Лява, как более простая?

2. На графике, представленном на рис. (12, 13, 14, 15 в автореферате), отсутствуют обозначения координатных осей.

3. В работе содержится ряд опечаток и редакционных ошибок, затрудняющих чтение текста, но не проводящих к недоразумениям.

Замечания в отзыве **официального оппонента Волкова-Богородского Дмитрия Борисовича**:

1. По-видимому, автор работы не очень хорошо владеет русским языком, что проявляется в некоторых литературных казусах. Например, при описании результатов численного моделирования эффективных характеристик в главе 4 (рисунки 4.8-4.13) представленные зависимости, в которых объемная доля включений откладывается на оси абсцисс, характеризуются в тексте и в подрисуночных надписях наоборот, как “...зависимости объемного

содержания от эффективного модуля...” (стр. 79), т.е. текст приходится читать справа налево, а не слева направо, как у нас приятно.

2. Если говорить по сути, то, конечно, “...численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными результатами...” (стр. 87), однако, в них обозначена противоположная тенденция в зависимостях эффективных характеристики от объемного содержания: в экспериментах эта характеристика падает (русинок 2.14 и таблица 1), а в численных расчетах, наоборот, растет (русинок 4.3 и 4.18). В диссертации этот аспект никак не комментируется.

3. Непонятно, для чего приведены расчеты с разным диаметром включений (рисунки 4.8–4.14). Надо полагать, автор хотел понять, наблюдается ли масштабный эффект. Но, как это и следовало ожидать, на масштабах порядка десятков микрон все кривые для разных размеров включений абсолютно точно совпадают. Следовало бы дать соответствующий комментарий на этот счет, и вообще, сформулировать общие выводы по главе 4, которые отсутствуют.

4. В постановке задачи о дифракции волн на оболочке в упругой среде решение получено для двух типов волн: плоской и сферической. Однако, расчёты приведены только для случая плоской волны и для других характеристик упругой среды: вместо эпоксидной матрицы наполненной стеклянными микросферами, что является темой диссертации, результаты представлены для стальной матрицы, подкреплённой медной оболочкой. Почему?

5. Контактные условия в этой задаче рассмотрены в обобщённой постановке с параметром сцепления, который предполагает возможность рассмотрения условий контакта от свободного проскальзывания до жесткого сцепления. Логично было бы исследовать влияние этого коэффициента, а, следовательно, и типа контакта, на процессе дифракции. Однако в работе этого нет.

6. На рисунках 2.16, 2.20, 2.21 не указано для какого образца (с каким объемным наполнением) приведены эти экспериментальные данные. На рисунках 4.8, 4.9, 4.13 неправильно указана размерность приводимой величины: модули жесткости здесь должны быть в единицах $ГПа$, а не $МПа$, а коэффициент теплопроводности (рисунок 4.13) никак не может измеряться в градусах (К).

7. В работе наблюдается много погрешностей редакционного план. Например, на стр. 39 указано, что ПБС-50 это отвердитель эпоксидной смолы, тогда, как это полые стеклянные микросферы с характерным размером 50 мкм (что указано на стр.38). Аббревиатура ПБС нигде не расшифрована, а

аббревиатура ПТК на стр.23 расшифрована как “*политиканам калия*”, а то время как это вещество является *полититанатом калия*, т.е. соединением калия с оксидом титана. На стр.16 термин “*broken*” из статьи [55] (*broken hollow glass microspheres*) не удачно переведен на русский язык как “*разбитый*”, тогда как лучше было бы использовать термин “*разрушенный*” и т.д.

В отзывах на автореферат следует отметить следующие критические замечания:

1. Из текста реферата не очевидно, каким способом или по какой технологической схеме осуществляется процесс изготовления композита.

2. В работе была решена задача динамического поведения одиночного сферического включения в полимерной матрицу со звуковой волной. Данное включение представляет собой полую тонкостенную оболочку, однако экспериментальная работа проведена с композиционными материалами, заполненными сплошными сферическими включениями. В автореферате не приведено обоснования корректности применения решения, полученного для тонкостенной оболочки, для описания эффектов, возникающих в заполненной сфере;

3. Не указано, какая система отвердителя использовалась для отверждения эпоксидной смолы (ПЭПА или другие?)

4. Целесообразно уточнить, какие именно целевые характеристики физико-механических свойств (и их уровень) предполагалось достигнуть в работе (кроме предела прочности и модуля упругости при сжатии, предела прочности при изгибе, высокоскоростного сжатия). Какое влияние оказывается, например, на плотность?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области и имеют публикации, связанные с направлением исследований диссертации, а в ведущей организации работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель динамического поведения сферической оболочки в упругой среде на основе изучения дифракции плоских и сферических волн, распространяющихся в композитном материале со сферическими включениями;

предложена методика проведения экспериментальных исследований для определения физико-механических характеристик образцов с включениями при статическом и динамическом нагружении;

доказана перспективность использования разработанных методов и подходов для описания динамического поведения сферической оболочки в упругой среде на основе изучения дифракции плоских и сферических волн, распространяющихся в композитном материале со сферическими включениями.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана правомерность и обоснованность предложенной математической модели динамического поведения сферической оболочки в упругой среде, при решении задачи о дифракции плоских и сферических волн, распространяющихся в композиционном материале со сферическими включениями.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы аналитические и численные методы МДТТ (механики твердого деформируемого тела), метод решения основан на разложении в ряды по системе собственных функций и применении интегрального преобразования Лапласа по времени.

изложен метод исследования динамического поведения сферической оболочки в упругой среде путем решения задачи дифракции плоских и сферических волн на распространяющемся композитном материале со сферическими включениями;

раскрыты проблемы моделирования конструкций с включениями при динамическом нагружении, заключающемся в прохождении упругих волн через частицы и включения на различных типах неоднородностей, относящихся к числу наиболее сложных и актуальных задач динамики деформируемых тел;

изучены зависимости влияния различного типа включений на механические характеристики композиционных материалов при статическом и динамическом нагружении;

проведена модернизация аналитических, численных и экспериментальных методов исследования образцов с включениями при статическом и динамическом нагружении и сравнение их результатов;

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

разработаны и внедрены новые подходы и методы для оценки влияния объемного содержания сферических включений в композиционном материале

на физико-механические характеристики при статическом и динамическом нагружении;

определены перспективы дальнейшего использования полученных методов и алгоритмов применительно к исследованию динамического поведения композиционных материалов с включениями при различных типах нагружения.

создана новая конечно-элементная модель, позволяющая исследовать влияние формы, размера и объемного содержания включений на физико-механические характеристики материала;

представлены результаты, на основании которых построены аналитические выражения для всех необходимых функций, позволяющие исследовать нестационарное напряженно-деформированное состояние и перемещения как на оболочке, так и в любой точке упругой среды.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовалось сертифицированное оборудование, а именно: универсальная электромеханическая испытательная машина Instron5969, установка для проведения высокоскоростных испытаний "Strain Master High-Speed 3D DIC" (LaVision) с визуализацией деформации методом цифровой коррекции изображения с регистрацией быстрых деформационных процессов материалов по методу Кольского. В процессе испытаний проводилась высокоскоростная съемка и при помощи метода корреляции цифровых изображений (Digital Image Correlation System) фиксировались деформации на поверхности образца;

теория и методы построены на известных и обоснованных методах механики сплошной среды, теории оболочек. Для решения используется метод разложения в ряд по системе собственных функций и применение интегрального преобразования Лапласа по времени;

идея базируется на том, что введение наполнителей и добавок улучшает физико-механические характеристики композиционных материалов (КМ). Одним из самых простых способов изменения свойств материалов является введение сферических включений. При этом появляется возможность улучшить не только статические характеристики материалов, но и динамические свойства;

использованы сравнения полученных результатов аналитических и численных расчетов исследований дифракции плоских и сферических волн, распространяющихся в композиционном материале со сферическими включениями;

установлено удовлетворительное соответствие полученных результатов аналитических и численных расчетов с данными, полученными при проведении экспериментальных исследований;

использованы современные программные комплексы математического и численного моделирования, такие как: программный пакет компьютерной алгебры Maple, программный комплекс конечно-элементного моделирования ANSYS и Digimat.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и получении новых аналитических и численных решений для определения динамического поведения сферической оболочки в упругой среде, при решении задачи о дифракции плоских и сферических волн, распространяющихся в композитном материале со сферическими включениями. Экспериментальные исследования проведены лично соискателем или при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям пунктам 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 (с изменениями и дополнениями).

На заседании 22 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Тант Зин Хейн ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 7 докторов технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин, участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 11, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.13,
д.ф.-м.н., доцент



Федотенков Г.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.13,
к.т.н.



Орехов А.А.

«22» 12 2023 г.



Начальник отдела УДС МАИ

Handwritten signature