

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Нуримбетов Алибек Усипбаевич

Тема диссертации: Стержневые и полупространственные модели деформирования слоистых закрученных изделий в поле стационарных и нестационарных нагрузок

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела, технические науки

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 01 марта 2017 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что совокупность выполненных автором исследований и разработанных теоретических и практических положений можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы, заключающейся в постановке и исследований комплекса задач определения напряженно-деформируемого состояния слоистых закрученных изделий, имеющей важное практическое значение в машиностроении, авиации, турбостроении. Диссертация соответствуют требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. На заседании 01 марта 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Нуримбетову А.У. ученую степень доктора технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Дмитриев В.Г., Дудченко А.А., Зверьяев Е.М., Кузнецов Е.Б., Лурье С.А., Марков Ю.Г., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент



Федотенков Г.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «01» марта 2017 г. № 3

О присуждении Нурымбетову Алибеку Усипбаевичу, гражданину Казахстана, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Стержневые и полупространственные модели деформирования слоистых закрученных изделий в поле стационарных и нестационарных нагрузок», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «23» ноября 2016 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Нурымбетов Алибек Усипбаевич 1955 года рождения, в 1977 году окончил с отличием физико-математический факультет Джамбулского педагогического института (г.Джамбул, Республика Казахстан). Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Влияние неоднородности материала на кручение

слоистых анизотропных стержней» защитил в 1990г., в диссертационном совете К 002.55.01, созданном на базе Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО АН СССР (г. Новосибирск). Соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в докторантуре Московского авиационного института с 2013 г. по 2016 г.

Работает доцентом в Таразском государственном университете им. М.Х. Дулати (г. Тараз, Республика Казахстан).

Диссертация выполнена на кафедре «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Дудченко Александр Александрович – профессор кафедры «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Смердов Андрей Анатольевич, доктор технических наук, профессор, Федерального государственного бюджетного общеобразовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана)», профессор кафедры «Космические аппараты и ракеты-носители», г. Москва.

Митрофанов Олег Владимирович, доктор технических наук, доцент, заместитель главного конструктора по прочности, заместитель начальника НИО прочности акционерного общества «Гражданские самолеты Сухого», г. Москва.

Аношкин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механики композиционных материалов и конструкций» Федерального государственного бюджетного

общеобразовательного учреждения высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического университета, г.Пермь. дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной механики (ИПРИМ)» Российской академии наук (г.Москва)** в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, ведущим научным сотрудником ИПРИМ РАН Власовым Александром Николаевичем, указала, что работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено решение важной, актуальной как теоретически, так и в прикладном отношении задачи. Структура диссертации, язык изложения материала и терминология соответствуют современному уровню и существующим требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени доктора наук. Результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно, являются новыми, обладают как теоретической, так и практической значимостью, опубликованы в достаточном количестве в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ, обсуждены на международных и российских научных конференциях и семинарах с участием ведущих специалистов в области диссертационного исследования. Область исследования и основные результаты диссертационной работы полностью соответствуют паспорту специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела». Кроме того, указано, что работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Соискатель имеет 38 опубликованных работы по теме диссертации, в том числе 18 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Нурымбетов, А.У. Кручение многослойного призматического анизотропного стержня, составленного из ортотропных материалов /А.У.

Нуриббетов // Вестник РУДН. Серия «Математика, информатика, физика». М.: - 2009. - № 4. - С. 64-76.

2. Нуриббетов, А.У. Решение задачи кручения слоистых композиционных стержней произвольного сечения методом конечных элементов / А.У. Нуриббетов // Строительная механика и расчет сооружений. М.: - 2009. - №4. - с.24-30..

3. Каримбаев, Т.Д. Жесткость на кручение мелкослоистого анизотропного стержня / Т.Д. Каримбаев, А.У. Нуриббетов, И.В. Шевченко // Технология машиностроения. М.: - 2009. - № 8. - с. 31-36.

4. Нуриббетов, А.У. Техническая теория кручения композиционного слоистого стержня произвольного сечения / А.У. Нуриббетов // Известия Самарского научного центра РАН - 2009. - Т.11. - №5. - с. 94-101.

5. Нуриббетов, А.У. Оптимизация напряженно-деформированного состояние слоистых композиционных лопаток и стержней произвольного сечения в поле центробежных сил / А.У. Нуриббетов, И.В. Шевченко // Авиационная промышленность. М.: - 2009. - №4. - с. 34-41.

6. Нуриббетов, А.У. Напряженно-деформированное состояние слоистых композиционных лопаток с различными физико-механическими свойствами слоев / А.У. Нуриббетов, Б. Мыктыбеков // Научный журнал «Известия Самарского научного центра РАН» - 2014, том 16, № 4.- с. 137-145

7. Дудченко, А.А. Деформация естественно-закрученных многослойных анизотропных лопаток авиационных двигателей / А.А. Дудченко, А.У. Нуриббетов // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. Москва: ФГУП «ВИМИ» 2015. - №2. - с. 46-54.

8. Каримбаев, Т.Д. Технология изготовления композитных лопаток вентильатора согласно утверждённым математическим моделям методом вакуумно-компрессионной пропитки / Т.Д. Каримбаев, А.У. Нуриббетов., С. Орынбаев, М.Ш. Джунибеков // Астана: Инновационный патент. - 2014. - регистрационный номер 2014/1393.1. Установка приоритета №641 от 09.01.15.

9. Каримбаев, Т.Д. Собственные частоты колебаний слоистого композиционного стержня /Т.Д. Каримбаев, А.У. Нурымбетов //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. М.: - 2016. - № 5.- с.46-57.

10. Nurimbetov, A. Optimization of Windmill's Layered Composite Blades to reduce Aerodynamic Noise and Use in Construction of "Green" Cities /A. Nurimbetov, A. Bekbayev, S. Orynbayev, B.Baibutanov, I. Tumanov, M. Keikimanova //Internat. Scientific Conf. Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEMF-2015 /Procedia Engineering 117 (2015). - 273-287

11. Нурымбетов, А.У. Автоматизированное проектирование раскрыя деталей произвольного поперечного сечения из слоистых композиционных материалов / А.У. Нурымбетов // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». М.: - 2009 - №4. - С. 92-101.

12. Нурымбетов, А.У. Решения задачи кручения слоистых анизотропных стержней произвольного сечения методом конечных элементов / А.У. Нурымбетов, А.А. Дудченко // М.: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - №2016662153 от 31.10.16.

В этих и остальных работах изложены и обоснованы основные результаты диссертационной работы по стержневой и полупространственной модели деформирования слоистых закрученных изделий в поле стационарных и нестационарных нагрузок

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:
от ведущей организации **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной механики (ИПРИМ)» Российской академии наук**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Смердова Андрея Анатольевича**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Митрофанова Олега Владимировича**, отзыв положительный;

от официального оппонента, **Аношкина Александра Николаевича**, отзыв положительный;

от доктора физико-математических наук, профессора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) Думанского А.М., отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Производства летательных аппаратов» Казанского национального Исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ – КАИ)», Халиулина В.И. и доцента кафедры Батракова В.В., отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора департамента «Архитектуры и строительства» РУДН Иванова В.Н., отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора кафедры «Инновационные технологии в наукоемких отраслях» ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» Шевченко И.В., отзыв положительный;

от начальника отдела 057 ЦИАМ им. П.И. Баранова, кандидата технических наук Низовцева В. Е., отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора кафедры «Электроэнергетика и автоматизация технологических комплексов» Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И.Сатпаева (КазННТУ) Бекбаева А.Б., отзыв положительный;

от заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора, зав. кафедрой «Строительная механика» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» Демьянушко И.В., 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 значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации ИПРИМ РАН имеются замечания:

1. Обзорная часть диссертационной работы, являющаяся ключевой для формулировки актуальной темы диссертационного исследования и обоснования новизны полученных автором и выносимых на защиту результатов, частично перенесена во введение, частично - в первую главу, посвященную постановке задачи, частично - во вторую, третью, четвертую, пятую и особенно в шестую главы, где подробно анализируется состояние теории флаттера лопаток, несмотря на то, что «... вопросы прогнозирования возможности возникновения флаттера выходят за рамки данной работы», как указано автором на с. 296. Обзор излагается весьма фрагментарно в нескольких параграфах, что затрудняет чтение работы и не полностью соответствует стандартам оформления диссертаций.

2. Включение в обзор и постановочную часть диссертации сведений о физических свойствах структурных составляющих КМ, сведенных в таблицы, не представляется необходимым и нарушает структуру работы. По крайней мере, часть известных соотношений, приведенных в п. 1.3, целесообразно было перенести в Приложение к диссертации.

3. Постановки задач, в первую очередь основные гипотезы, автором не всегда приводятся с достаточным для диссертационных работ на соискание ученых степеней по специальности «Механика деформируемого твердого тела» уровнем математической строгости, что затрудняет чтение работы и правильное понимание последующих выкладок.

4. В главе 4 автором рассмотрен пример широкохордной лопатки (рис. 4.1.1), модель которой достаточно сложна и ближе к полой оболочке переменной толщины и кривизны, чем к стержню, что отмечается автором на с. 166. Описание таких конструкций пространственно-одномерной моделью, где это представляется возможным, весьма актуально, но требует аккуратного обоснования путем сравнения, как минимум, с результатами вычислительного эксперимента, особенно в задачах динамики. Автором получено решение в трехмерной постановке на базе конечно-элементного

комплекса ANSYS на основе квазиоднородной модели и сделан вывод о совпадении результатов с авторскими, полученными на основе структурной модели; однако, данный вывод обосновывается сравнением только графических данных главы 3 и главы 4, различным образом оформленных и представленных в разных единицах измерения.

5. Сравнение напряжений, полученных на базе трехмерной квазиоднородной модели с напряжениями, полученными на базе пространственно-одномерной структурной модели не представляется вполне корректным (первая более точна в силу большей пространственной размерности, но пренебрегает структурой КМ, вторая точнее учитывает структуру, но содержит погрешности за счет пространственной редукции задачи теории упругости). В то же время поля вектора перемещения на поверхности лопатки автором не сравниваются.

6. Следует заметить, что автором не приведены какие-либо сведения о сходимости конечно-элементного решения в зависимости от числа узлов и типа элементов. Судя по рис. 4.4.2, конечно-элементная сетка достаточно груба, что может привести к существенному искажению поля напряжений при его интерполяции даже в структурно-однородной модели, тем не менее автором на основе полученного численного решения делаются количественные и качественные выводы о величине компонентов напряжения в сечении лопатки.

7. Текст диссертационной работы содержит опечатки, в некоторых случаях искажающие смысл (например, заголовок п. 1.3).

Замечания в отзыве официального оппонента Смердова А.А.:

1. В работе рассматриваются только линейно деформируемые КМ. Однако при использовании материалов с алюминиевой матрицей в лопатках турбин в условиях нагрева возможно нелинейное деформирование композитного материала. Необходимо обоснование возможности использования физически линейных соотношений для данного класса конструкций.

2. IV глава работы называется «Сравнение расчетов на прочность армированной лопадки компрессора в поле центробежных сил аналитическим методом и средствами пакета ANSYS», а раздел 6.7 - «Расчет многослойных композиционных стержней на статическую прочность». Однако фактически в них, как и в остальных главах работы, речь идет только о расчете напряженно-деформированного состояния данных конструкций. Таким образом, вопрос о возможности применения того или иного критерия прочности для композитных лопаток остается открытым.

3. На с. 36 автореферата отмечено, что «составленная по этой методике [имеется в виду методика определения НДС - прим. оппонента] программа расчета на ЭВМ осуществляет выбор оптимальной структуры армирования конкретной лопадки». Аналогичное предложение содержится и в выводах (с. 50 автореферата). Однако ни в тексте автореферата, ни в тексте диссертации не указаны ни критерий выбора оптимальных проектов, ни постановка задачи оптимизации.

4. Текст диссертации и - особенно - автореферата плохо отредактирован и содержит недопустимо большое количество опечаток и грамматических ошибок.

Замечания в отзыве официального оппонента Аношкина А.Н.:

1. В первой главе диссертации не проведен сравнительный обзор композиционных материалов по типу армирующего наполнителя слоев: однонаправленный ровинг или двунаправленная ткань. При этом наблюдается некоторая эклектика в описании свойств композиционных материалов, используемых в качестве ламинатов (отдельных слоев) при создании слоистого композита. Расчетные формулы для прогнозирования упругих свойств, например, приведены только для однонаправленных волокнистых композиционных материалов. Пределы прочности, наоборот, приведены только для текстильных стеклопластиков. Не приведены, хотя бы ориентировочно, упругие свойства и пределы прочности текстильных углепластиков, широко используемых в настоящее время в России для

создания деталей и узлов авиационных двигателей и планера самолета. В настоящее время при проектировании лопаток из КМ является открытым вопрос: какой тип армирующих наполнителей - на основе однонаправленных ровингов или двунаправленных тканей - предпочтительнее для создания конструкций лопаток или лопастей? Было бы интересно в последующих главах диссертации сравнить особенности НДС и оценки прочности слоистых конструкций, выполненных из однонаправленных и тканевых композитов.

2. Недостаточно обоснована используемая модель слоистого композиционного материала с «межслоевыми эпоксидными прослойками» для решения задачи кручения углепластикового стержня в главах 1, 3 диссертации. Не ясно, как на основе заданных параметров армирующих слоев и объемных долей наполнителя и матрицы композиционного материала определяются размеры межслоевых эпоксидных прослоек. Очевидно, что эти прослойки должны быть частью матрицы, большая часть матрицы при этом должна находиться внутри армирующего слоя. Выделение части матрицы в качестве прослойки приведет к повышению объемной доли наполнителя в армирующем слое и изменению его упругих свойств. Почему для оценки межслоевых напряжений рассматриваемого углепластикового стержня нельзя использовать обычную модель слоистого композита, в чем преимущество используемой модели с эпоксидными прослойками? Почему при решении задачи МКЭ в главе 3 и 4 эпоксидные прослойки не рассматриваются?

3. Недостаточно точно указано преимущество разработанных автором программ МКЭ для расчета многослойных анизотропных стержней по сравнению с имеющимися стандартными пакетами. Указанные в разделе 2.3 ограничения на количество узловых точек исследуемой области ($p < 1000$) устарели - приведены ссылки на работы по МКЭ 80-ых годов. В настоящее время на российских и зарубежных предприятиях для выбора схемы армирования и раскроя слоев проектируемых композитных конструкций

широко используется программный пакет FiberSim, совместно с пакетами UG NX и ANSYS. В последнем проводится дискретизация по слоям композитной конструкции и численное решение задачи механики, количество узловых точек при этом для обычных ЭВМ составляет десятки и сотни тысяч. Было бы интересно проиллюстрировать каким-либо примером возникновение конфликтных ситуаций, упомянутых в диссертации, при решении рассматриваемых задач о кручении, растяжении и изгибе композитных стержней в пакете ANSYS и отсутствие таких конфликтов при использовании разработанного программного комплекса.

4. При построении разрешающих соотношений МКЭ в задаче о кручении многослойных анизотропных стержней (глава 2) рассматриваются только межслоевые напряжения и деформации. Не учитываются другие деформации и напряжения, которые могут возникнуть в анизотропном стержне от действия крутящего момента, как показано в разделе 1.5.4 диссертации.

5. В главе 3 было бы полезно провести анализ напряжений в слоях рассматриваемых композитных конструкций в главных осях симметрии слоя и сравнить их с соответствующими предельными значениями для слоя. Это позволило бы получить приближенную оценку прочности для слоя, для пакета в целом и показать возможности повышения прочности конструкции при изменении схемы армирования. Анализ напряжений в слоях в расчетной системе координат не позволяет выявить этот эффект, поскольку сравнение необходимо проводить с неизвестными предельными значениями напряжений для материалов слоев в расчетной системе координат.

6. В главе 4 неясно, какая постановка соответствует результатам численного решения задачи расчета НДС лопатки средствами ANSYS, приведенного в разделе 4.4. Не указаны важные особенности используемой компьютерной модели лопатки: какие элементы используются для численного решения, их количество, проверка сходимости численного решения, способ моделирования анизотропной слоистой структуры лопатки.

Судя по схеме дискретизации рис. 4.4.1 и приведенным полям перемещений, деформаций и напряжений (рис. 4.4.2-4.4.6), в разделе 4.4 решается пространственная задача теории упругости, однако в тексте главы описывается постановка задачи для стержневой модели. Судя по рис. 4.4.2 при дискретизации в явном виде не описывается слоистая структура лопатки, однако в тексте не указано каким образом задаются упругие свойства материала.

7. В 5 главе диссертации было бы интересно дополнить сравнение расчетных и экспериментальных собственных частот стеклопластикового стержня, сравнением с собственными частотами, определенными численно в пакете ANSYS. Это позволило бы получить оценку точности вычисления собственных частот высоких порядков (>3).

Замечания в отзыве официального оппонента Митрофанова О.В.:

1. Результаты работы ограничены рамками этапов эскизного проектирования и рассмотрены только вопросы линейного определения НДС, вычисления жесткостных характеристик и анализа появления резонансных частот. Для придания большей практической значимости было бы целесообразно рассмотреть задачи соответствующие пунктам авиационных правил АП-33 (нормы летной годности двигателей ВС), связанные с требованиями по статической прочности и по ресурсу для ответа на вопрос об исчерпании несущей способности лопаток.

2. Определение упругих характеристик монослоя КМ по правилу смеси (см. п. 1.3) при использовании объемного содержания материала матрицы и наполнителя - в авиации при проектировании конструкции планера давно не используют. Как правило, характеристики монослоя КМ должны соответствовать статистически обоснованным минимальным значениям, определяемым путем многочисленных испытаний, и являются исходными данными для проектировщика - прочниста.

Замечание в отзыве доктора технических наук, профессора Иванова В.Н.:

1. 2-3 незначительных опечаток и отсутствие единого стиля представления графического материала: разные шрифты в подписях осей, разные толщины линии на графиках.

Замечание в отзыве кандидата технических наук Низовцева В.Е.:

1. Слишком сжатое изложение процесса получения математической модели напряженно-деформированного состояния многослойных закрученных анизотропных стержней, из ее исходной теоретической модели в виде обыкновенных дифференциальных уравнений, что не позволяет в полной мере понять специфику данного процесса.

Замечание в отзыве заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Демьянушко И.В.:

1. При изложении решения с помощью пакета ANSYS следовало бы указать число, тип и расположение конечных элементов.

2. К сожалению, не показано влияние температуры на распределение напряжений между слоями.

3. Ничего не говорится о развитии пластических деформаций. Этот вопрос следовало разъяснить.

4. Не уточняется в автореферате учет демпфирования в материале лопатки, который в композитном материале может быть существен.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, что подтверждается занимаемыми ими должностями и их знаниями в областях, близких к теме диссертации:

1. Смердов А.А., Думанский А.М., Таирова Л.П. Комплексные экспериментальные исследования деформативных и прочностных свойств композитов для отсеков и обтекателей ракет // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – Сер. Машиностроение. Специальный выпуск: Крупногабаритные трансформируемые космические конструкции и материалы для перспективных ракетно-космических систем. – С. 124-136.

2. Исследование влияния углеродного наноматериала на свойства композиционного материала на основе стекловолокна и эпоксидного связующего / Смердов А.А., Таирова Л.П., Селезнев В.А. и др. // Конструкции из композиционных материалов.– 2013.– № 4.– С. 34-40.

3. Смердов А.А. Возможности повышения местной устойчивости подкрепленных и интегральных композитных конструкций // Известия ВУЗов. Машиностроение.– 2014. – № 10.– С. 77-86.

4. Упруго-диссипативные характеристики углепластика, изготовленного по RTM-технологии / Смердов А.А., Кулиш Г.Г., Гусев С.А. и др. // Конструкции из композиционных материалов. – 2016. - № 2.– С. 21-25 .

5. Митрофанов О.В. Проектирование панелей композитных агрегатов по закритическому состоянию с учетом ограничений по остаточной прочности с повреждениями // Естественные и технические науки, №3, 2012. - С.187-192.

6. Митрофанов О.В., Огнянова Т.С. Проектирование несущих панелей крыла из композитных материалов самолета средней грузоподъемности при ограничениях по остаточной прочности при сжатии и сдвиге // Естественные и технические науки, 2013. - №6, - С.261-265.

7. Аношкин А.Н., Зуйко В.Ю., Шипунов Г.С., Третьяков А.А. Технологии и задачи механики композиционных материалов для создания лопатки спрямляющего аппарата авиационного двигателя // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2014. - № 4. С. 5-44.

8. Anoshkin, A.N., Pospelov, A.B., Iakushev, R.M. Features of low-temperature deformation and fracture of combined plastic pipes // 2014 PNRPU Механика Вестник // Выпуск 2, 2014, С. 6-28.

9. Аношкин А.Н., Зуйко В.Ю. Сравнительный анализ осевой прочности сварных стыковых соединений полимерных армированных труб нефтегазового назначения // Нефтяное хозяйство. - 2012. - № 2, С. 94-97

10. Гринев М.А., Аношкин А.Н., Писарев П.В., Зуйко В.Ю. Компьютерное моделирование механического поведения композитной лопатки спрямляющего аппарата авиационного двигателя // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2015. - № 3. - С. 38-51

11. Гринев М.А., Аношкин А.Н., Писарев П.В., Зуйко В.Ю., Шипунов Г.С. Исследование НДС и оценка прочности композитной лопатки спрямляющего аппарата авиационного двигателя // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2015. - № 4. - С. 293-307

12. Третьяков А.А., Tretyakov A.A., Зуйко В.Ю., Zuiko V.Y., Аношкин А.Н. Anoshkin A.N, Шипунов Г.С. Shipunov G.S. Technologies and problems of composite materials mechanics for production of outlet guide vane for aircraft jet engine // PNRPU Mechanics Bulletin. Volume 2014, Issue 4, Pages 5-44.

13. Зуйко В.Ю., Zuiko V.Y., Silberschmidt V.V., Дашкитюв М.А. Tashkinov M.A., Аношкин А.Н. Anoshkin A. N. Repair of damage in aircraft composite sound-absorbing panels // Composite Structures. Volume 120, February 01, 2015, Pages 153-166

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной механики (ИПРИМ)» Российской академии наук проводит исследования в области статики и динамики упругих тел и сложных механических систем, о чем свидетельствуют имеющиеся публикации сотрудников ведущей организации:

1. Данилин А.Н. О конечно-элементном подходе к моделированию гибких стержневых систем при конечных деформациях / Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. - Т. 18, №4. - с. 562-579.

2. Гусев Е.Л., Бакулин В.Н. Вариационная постановка задач оптимального проектирования структурно-неоднородных материалов и конструкций с требуемым и регулируемым комплексом свойств // Инженерно-физический журнал, 2015. - Т. 88, № 6. - с. 56-79.

4. Гришин Ю.А., Бакулин В.Н. Численное исследование течения в центробежном компрессоре // Инженерно-физический журнал, 2015. - Т. 88, № 5. - с. 62-57.

5. Жаворонок С.И. Вариационные уравнения трехмерной теории анизотропных оболочек // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. - № 4-5. С. 2154-2156.

6. Гришанина Т.В., Шклярчук Ф.Н. Применение метода Ритца к расчету осесимметричных колебаний оболочек вращения с жидкостью при произвольных граничных условиях // Механика композиционных материалов и конструкций. 2014. Т. 20. №4. - С. 593-606.

7. Bakulin V.N., E. N. Volkov E.N. Nedbai A.Ya. Flutter of a sandwich cylindrical shell supported with annular ribs and loaded with axial forces // Doklady Physics. 2015. Vol. 60, № 8. P. 360-363

8. Lurie S.A., Dudchenko A.A., Buznik V.M., Solyaev Y.O., Volkov-Bogorodsky D.B., Koshurma A.A. Designing a Multilayer Panel with Heat-Insulating Filler and Heat-Shielding External Coating // Composites: Mechanics, Computations, Applications: An International Journal, 2016. Т.7, №2. - С. 93-100.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методики приближенного решения задачи теории упругости для слоистого неоднородного анизотропного тела, обеспечивающие учет влияния каждого слоя структуры материала на напряженное и деформированное состояние при действии комбинированных нагрузок; методика оценки жесткости на кручение неоднородных анизотропных тел, приближенно описываемых моделью закрученного композиционного стержня; способы исследования закрученных анизотропных композиционных стержней с произвольной формой сечения при изгибе, кручении и растяжении центробежными силами;

предложены: оригинальный численный подход для оценки характеристик жесткости на кручение и эффективного модуля сдвига, на стадии эскизного проектирования тонкостенных многослойных анизотропных стержневых конструкции, работающих в условиях кручения; новые кинематические соотношения для естественно закрученных слоистых анизотропных стержней, которые учитывают нелинейные деформации, эффекты действия поперечных сил и напряженно-деформированного состояния (НДС) в плоскости в сечении, что хорошо согласуется с имеющими экспериментальными данными;

доказано, что имеет место специфическое изменение жесткости сечения при кручении слоистого стержня с увеличением количество слоев и найдена ее аналитическое выражение для тела многослойной структуры;

введены: новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны новые положения линейной модели деформирования слоистых сред с помощью вариационных принципов для исследования динамических явлений в армированных слоистых телах;

применительно к проблематике диссертации результативно использована новая приближенная модель деформирования неоднородных призматических тел с учетом слоистости структуры, учитывающая в явном виде влияние числа слоев, свойств отдельных слоев, их взаимодействие, а также депланацию поперечного сечения;

изложена новая идея аналитического решения задач НДС в призматических телах с удовлетворением всех граничных условий на поверхностях раздела слоев на базе предложенных приближенных моделей;

раскрыты влияния распределения и уровня напряжений в отдельных слоях структуры многослойного анизотропного стержня, обеспечивающие проведение оптимизации структуры КМ стержня по напряженному состоянию при сохранении геометрических характеристик; влияние зависимости собственных частот колебаний компрессорных лопаток из КМ

на НДС для проведения отстройки для разработанных изделий от резонансных частот;

изучены новые кинематические соотношения теории естественно закрученных слоистых анизотропных стержней, учитывающих нелинейные эффекты, а также эффекты поперечных сил и НДС в плоскости сечений;

проведена модернизация численно-аналитического метода определения жесткости на кручение слоистых анизотропных стержней произвольного сечения и построены аналитические выражения зависимости жесткости на кручение от количества и структуры слоев;

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

разработана и внедрена программная среда для определения НДС в многослойных анизотропных стержнях произвольного сечения при кручении, что подтверждено **авторским свидетельством** об интеллектуальной собственности РФ; с использованием результатов диссертационного исследования разработана технология изготовления пресс-формы композиционной лопатки ветроэнергетической установки, что подтверждено **актом о внедрении**.

определена область применения результатов при проектировании стержневых многослойных изделий для расчета и проектирования перспективных элементов конструкций авиационных двигателей, выполненных из композиционных материалов, в первую очередь лопаток, компрессоров.

создан новый подход к разработке класса приближенных математических моделей, обеспечивающих построение аналитических решений задач при совместном действии изгибов, растяжения и кручении композиционных стержней с произвольной формой поперечного сечения при наличии существенной закрутки, а также в создании теоретических основ для аналитического исследования аэроупругих колебаний композиционных лопаток компрессоров авиационных двигателей.

представлены рекомендации и предложения, позволяющие усовершенствовать методы исследования НДС композиционных тел стержневого типа при изучении влияния числа слоев, свойств отдельных слоев и их взаимодействия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория обосновывается использованием корректных формулировок задач теории упругости, обоснованным выбором математических моделей деформирования неоднородных тел, применением апробированных аналитических и вариационных методов решения задач механики деформируемого твердого тела; результаты исследований, полученные на основе разработанной теории, подтверждены сравнением с экспериментальными и расчетными данными других авторов;

идея базируется на известных теоретических разработках и подходах других авторов;

использовано сравнение авторских разработок с ранее полученными результатами других авторов по рассматриваемой тематике;

установлено совпадение результатов исследований, полученных в работе, с результатами аналитических решений и экспериментальными результатами других авторов.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, информационные и компьютерные методы сравнения аналитических и численных решений.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке математических моделей и обосновании принятых допущений для решения рассматриваемых задач, построении алгоритмов численных решений, анализе результатов вычислений; проведении анализа и обобщения отечественных и зарубежных исследований по основным вопросам механики, на основе которых было выбрано научное направление работы; в получении исходных данных для численных расчетов, разработке и

реализации методик моделирования; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Совокупность выполненных автором исследований и разработанных теоретических и практических положений можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы, заключающейся в постановке и исследований комплекса задач определения напряженно-деформируемого состояния слоистых закрученных изделий, имеющей важное практическое значение в машиностроении, авиации, турбостроении. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 01 марта 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Нуримбетову А.У. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 18, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.05 д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

1 марта 2017 г.