

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по
кораблестроению и судостроению,
ядерно-радиационной безопасности
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»,



д.т.н.

В. Г. Хорошев

« 01 » ноября

2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного унитарного предприятия
«Крыловский государственный научный центр»

Диссертация «Методы численного моделирования статических и динамических характеристик композитных упругих муфт» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 «Теория корабля и строительная механика» выполнена в 3 отделении Федерального государственного унитарного предприятия «Крыловский государственный научный центр».

В период подготовки диссертации соискатель Лысенко Александр Петрович работал в 3 отделении ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Министерство промышленности и торговли РФ), в должности инженера I категории.

В 2008 г. окончил Санкт-Петербургский морской технический университет по специальности «Кораблестроение».

Справка № 3896 о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.5.17 Теория корабля и строительная механика выдана в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» 31 октября 2022г.

Научный руководитель – доктор технических наук, Ярцев Борис Александрович, начальник 351 сектора Федерального государственного унитарного предприятия «Крыловский государственный научный центр».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

1 Оценка выполненной соискателем ученой степени работы

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.5.17 «Теория корабля и строительная механика» в части:

–15. Механика деформируемого твердого тела – задачи по изучению равновесных состояний конструктивных элементов из металлических материалов и композитов: стержней, балок, балочно-стержневых систем, пластин, оболочек, пластинчато-стержневых систем и т.п. под действием статических, динамических (в том числе взрывных и ударных) воздействий; а также задачи по исследованию устойчивости этих состояний.

–17. Вибрация корабля и отдельных конструкций – задачи исследования колебаний корпуса корабля, его устройств и отдельных элементов, возникающих при движении корабля, работе двигателей, механизмов, гребных винтов и т.п.; проблемы снижения уровня вибрации и обеспечения допустимого уровня вибрации во всех режимах эксплуатации.

Диссертация Лысенко Александра Петровича посвящена актуальной в теоретическом и практическом аспектах теме разработки методов численного моделирования, позволяющих прогнозировать параметры проектируемых конструкций упругих муфт с повышенными диссипативными характеристиками. Средствами снижения

величин динамических воздействий на приводные механизмы являются конструкции виброизолирующих муфт. Переход на низкочастотную амортизацию судовых энергетических установок, а также сложность и дороговизна аналогичных металлических и резино-металлических конструкций, привела к разработке упругих муфт из полимерных композитов. Основным недостатком данных конструкций является низкий уровень вибропоглощения. С целью устранения данного недостатка были созданы новые конструкции композитных упругих муфт с более высокими диссипативными характеристиками. Разработанные конструкции представляют собой неоднородные структуры, образованные совокупностью слоев материалов с различными физико-механическими характеристиками. Поэтому для их проектирования требуется учет особенностей материалов всех слоев, компонуемых в состав конструкции. К таким особенностям, в первую очередь, относятся анизотропия физико-механических свойств материалов силовых элементов конструкции, а также существенная температурно-частотная зависимость упруго-диссипативных характеристик вязкоупругих полимеров вибропоглощающих слоев. Использование эмпирического подхода, основанного на испытаниях образцов материалов и конструкции в целом, для исследования отмеченных характеристик, дорог и практически не доступен. Более продуктивно применение методов математического моделирования, использование которых позволит создавать композитные упругие муфты, обладающие требуемыми характеристиками жесткости, прочности и демпфирования.

В диссертации разработаны:

1. Математическая модель прогнозирования эффективных прочностных характеристик симметричных слоистых композитных структур при изгибе/кручении. Полученный подход позволяет оценить эффективные пределы прочности элемента конструкции слоистого композита работающего в условиях изгиба/кручения, а также оценить предельное состояние каждого слоя слоистой структуры.

2. Разработан метод численного моделирования статических упругих характеристик и прочности композитной упругой муфты. Предлагаемый метод позволяет более точно оценить геометрически нелинейные жесткостные характеристики упругой муфты из ортотропных слоистых композитов, а также оценить ее предельное состояние.

3. Разработаны методы численного моделирования диссипативных характеристик композитной упругой муфты. Предложенные методы позволяют получать коэффициенты механических потерь как для ортотропных слоистых структур, так и для структур, состоящих из различных материалов. Основное различие данных методов заключается в возможности прогнозировать диссипативные характеристики слоистых структур обладающих различным уровнем демпфирования. Для материалов с малым уровнем демпфирования (коэффициент механических потерь не превышает 0.03) используется приближенный «энергетический» метод, а для материалов с повышенным уровнем демпфирования (коэффициент механических потерь более 0.03) используется комбинированный метод.

4. Развита метод нестационарных колебаний композитной упругой муфты, позволивший учесть коэффициенты механических потерь в конструкции, вращающейся упругой муфте в трехмерной постановке.

Выполнена апробация предложенных методов и на их основе разработаны:

– запатентованные конструкции виброизолирующих соединительных муфт ФГУП «Крыловский государственный научный центр» с отечественными и зарубежными заказчиками по контрактам № 10411.1007400.09.008. от 31.03.2010 г., № V021/2010CSOC/JK210RU-P/015634240225 от 09.11.2010 г;

– конструкция упругой муфты АО «Научно-производственное предприятие «МОРСКАЯ ТЕХНИКА» по договору № 9Э-19/82-7101/19/МТ/2-20 от 04.02.2020 г. «Разработка, изготовление и ввод в эксплуатацию малошумного привода гребного винта (для кавитационной трубы)», шифр «Гидропривод-ГВ».

2 Связь темы с планом основных научных работ ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Тема диссертационной работы непосредственно связана с разработкой новых конструкций вибропоглощающих упругих муфт из композитных материалов.

Данная область исследований связана с созданием научно-технического задела в области разработке пассивных гасителей колебаний в системе валопровода судна.

3 Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов и степень достоверности проведенных исследований

Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе работы над диссертацией автор лично:

- выполнил анализ существующих математических моделей прогнозирования упругих, диссипативных и прочностных характеристик слоев композита и слоистых композитных структур при различных условиях нагружения;

- разработал математическую модель прогнозирования эффективных прочностных характеристик симметричных слоистых композитных структур при изгибе/кручении;

- сопоставил между собой величины эффективных упругих, диссипативных и прочностных характеристик слоистых композитных структур, определенных в условиях растяжения/сжатия и в условиях изгиба/кручения для различного количества пакетов слоев по толщине;

- предложил метод численного моделирования статических упругих характеристик и прочности композитной упругой муфты;

- разработал методы численного моделирования диссипативных характеристик композитной упругой муфты;

- развил метод численного моделирования нестационарных колебаний композитной упругой муфты;

- продемонстрировал влияние сочетания комбинированных нагрузок на предельное состояние упругой муфты;

- применил разработанные методы численного моделирования к исследованию нестационарных колебаний, а также к исследованию влияния температуры среды эксплуатации и погрешностей изготовления на значения собственных частот и коэффициентов механических потерь композитной упругой муфты.

Таким образом, представленная к защите диссертация является самостоятельной творческой работой автора.

Достоверность предложенной математической модели обеспечена использованием классической механики деформируемого твердого тела, теории пластин.

Достоверность предложенных в работе методов численного моделирования подтверждается путем сопоставления с аналогичными экспериментальными результатами.

4 Новизна и практическая значимость результатов исследований

Новизна полученных автором научных результатов состоит:

- в разработке математической модели прогнозирования эффективных прочностных характеристик симметричных слоистых композитных структур при изгибе/кручении;

- в разработке новых методов численного моделирования диссипативно-жесткостных характеристик и прочности композитной упругой муфты, позволяющих прогнозировать диссипативные характеристики ортотропных композитных структур с повышенным демпфированием, а также учитывающих нелинейность нагрузочных характеристик и, как следствие, непостоянность жесткостей конструкции;

- в развитии метода численного моделирования нестационарных колебаний композитной упругой муфты учитывающего влияние демпфирования на значения динамических реакций возникающих в процессе развития резонансных колебаний при изменении угловой скорости упругой муфты;

- в оценке влияния последовательности укладки слоев материалов на величины эффективных свойств слоистых композитов, определяемых при различных условиях нагружения, позволяющих обоснованно подойти к разработке тел вращения из слоистых полимерных композитов, которым и является упругая муфта;

- в оценке влияния температуры среды эксплуатации и погрешностей изготовления на значения собственных частот и коэффициентов механических потерь композитной упругой муфты, позволившие установить диапазоны изменения их диссипативных характеристик в различных условиях эксплуатации;

- в определении статических жесткостных характеристик и предельного состояния при нестационарных колебаниях композитной упругой муфты, позволившее оценить влияние рабочих процессов на напряженно-деформированное состояние.

Практическая значимость создания методов моделирования статических и динамических характеристик композитных упругих муфт заключается в минимизации экспериментальной проверки упруго-диссипативных характеристик и прочности вновь разрабатываемых конструкций упругих муфт с повышенным уровнем диссипативных характеристик, позволившим обоснованно подойти к проектированию тел вращения, которыми и являются данные конструкции.

Результаты работы использованы:

- при разработке двух конструкций композитных виброизолирующих упругих муфт. ФГУП «Крыловский государственный научный центр» с отечественными и зарубежными заказчиками по контрактам № 10411.1007400.09.008. от 31.03.2010 г., № V021/2010CSOC/JK210RU-P/015634240225 от 09.11.2010 г.

- при разработке конструкции упругой муфты. АО «Научно-производственное предприятие «МОРСКАЯ ТЕХНИКА» по договору № 9Э-19/82-7101/19/МТ/2-20 от 04.02.2020 г. «Разработка, изготовление и ввод в эксплуатацию малошумного привода гребного винта (для кавитационной трубы)», шифр «Гидропривод-ГВ».

5 Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научной работы соискателя заключается в том, что в ней поставлены и решены научные задачи прогнозирования пределов прочности слоистой структуры при изгибе/кручении, оценки диссипативно-жесткостных характеристик и прочности, а также развития нестационарных колебаний упругих муфт. Произведены оценки последовательности укладки слоев материалов на величины эффективных свойств слоистых композитов, позволившие обоснованно подойти к проектированию тел вращения из слоистых композитов, которыми и являются упругие муфты.

Научная работа соискателя развивает и дополняет существующие положения по исследуемым вопросам развития нестационарных колебаний. Использование результатов, полученных автором, позволяет минимизировать объемы экспериментальных проверок вновь разрабатываемых конструкций упругих муфт.

Предложенные автором разработки и рекомендации, такие как:

- математическая модель прогнозирования эффективных прочностных характеристик симметричных слоистых структур при изгибе/кручении;

- метод численного моделирования статических упругих характеристик и прочности композитной упругой муфты;

- методы численного моделирования диссипативных характеристик композитной упругой муфты;

- метод численного моделирования нестационарных колебаний композитной упругой муфты;

определяют перспективы их практического использования в конструкторских бюро, научно-исследовательских институтах и научных центрах.

Основные положения диссертационного исследования и авторские разработки служат средством рациональной разработки судового оборудования пропульсивных комплексов, позволяющих увеличить их ресурсоемкость, что обуславливает повышение экономической эффективности.

6 Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором

Наиболее существенные положения и результаты диссертационного исследования нашли отражение в 10 научных публикациях общим объемом 97 листов, в т.ч. 8 статьях опубликованных в изданиях, включенных в Перечень, определенный ВАК для публикации результатов научных исследований, из них 2 без соавторов.

Соискатель имеет следующие публикации в рецензируемых и приравненных к ним изданиях:

1. Лысенко А. П., Дмитриева А. М., Ярцев Б. А. Простейший подход к определению диссипативных характеристик ортотропных композитных тонкостенных стержней замкнутого профиля // Труды Центрального научно-исследовательского института имени академика А. Н. Крылова. 2012. Вып. 66 (350) С. 13-32.

2. Лысенко А. П., Ярцев Б. А. Упругие вибропоглощающие соединительные муфты из полимерных композиционных материалов. 1. Конструкции, нагрузки, материалы // Труды Крыловского государственного научного центра. 2013. Вып. 75 (359) С 51-60.

3. Лысенко А. П., Ярцев Б. А. Упругие вибропоглощающие соединительные муфты из полимерных композиционных материалов. 2. Алгоритмы расчета упруго-диссипативных характеристик и прочности // Труды Крыловского государственного научного центра. 2013. Вып. 76 (360). С 71-78.

4. Лысенко А. П., Ярцев Б. А. Упругие вибропоглощающие соединительные муфты из полимерных композиционных материалов. 3. Верификация алгоритмов расчета диссипативно-жесткостных характеристик и прочности // Труды Крыловского государственного научного центра. 2014. Вып. 83 (367). С 81-88.

5. Лысенко А. П. Упругие виброизолирующие соединительные муфты из полимерных композиционных материалов // Машиностроение и инженерное образование. 2015. № 2. С. 2-8.

6. Лысенко А. П. Сборная композитная упругая муфта с повышенным вибропоглощением // Труды Крыловского государственного научного центра. 2017. Вып. 1 (379). С 56-63.

7. Лысенко А. П., Ярцев Б. А. Композитные упругие муфты // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. Вып. 1 (383). С. 13-28.

8. Лысенко А. П., Паршина Л. В., Ярцев Б. А. Эффективные механические характеристики симметричного слоистого композита при различных условиях нагружения // Труды Крыловского государственного научного центра. 2022. Вып. 1 (399). С. 75-88.

В других изданиях:

9. Лысенко А. П. Композитные виброизолирующие соединительные муфты с высокими диссипативными свойствами // Труды 26 международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов ИМАШ РАН. Изд. ИМАШ РАН. 2015г. С. 122 – 126.

10. Lysenko A.P. Dynamics of composite vibration-absorbing Couplings // Proceedings of the 11th International Conference «Navy and Shipbuilding Nowadays NSN 2021» (June 24 – 25, 2021, St. Petersburg, Russia). // СПб.: Крыловский государственный научный центр. 2021. С. 223–229.

В публикациях полностью отражены основные научные и практические результаты, полученные лично автором.

Материалы исследования докладывались и получили положительную оценку на различных научно-технических конференциях, в числе которых:

1. XXXII Всероссийская конференция «Наука и технологии» (Миасс 2012);
2. Научно-техническая конференция по строительной механике корабля, посвященная памяти профессора П.Ф. Папковича (Санкт-Петербург 2012);
3. XXVI Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов «МИКМУС» (Москва 2014);
4. Конференция по строительной механике корабля, посвященная памяти профессора И.Г. Бубнова и 110-летию со дня образования кафедры строительной механики корабля СПбГМТУ (Санкт-Петербург 2014);
5. Конференция по строительной механике корабля памяти профессора П.Ф. Папковича (Санкт-Петербург 2015);
6. Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов «Научно-технологическое развитие судостроения (НТРС-2017)» (Санкт-Петербург 2017)
7. Конференция по строительной механике корабля, посвященная памяти профессора В.А. Постнова и 90-летию со дня его рождения (Санкт-Петербург 2017);
8. XVII конференция молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» (Санкт-Петербург 2018);
9. XI International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN'2021. (St. Petersburg, Russia. 2021);
10. Конференция «Строительная механика корабля», посвященная 155-летию Научно-технического общества судостроителей имени академика А.Н. Крылова. (Санкт-Петербург 2021)
11. III Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России». (Москва 2022).

В соавторстве (1/3) получено два патента на изобретение:

1. №2530915 Композитная виброизолирующая соединительная муфта. 20.10.2014.
2. №2530929 Сборная композитная виброизолирующая соединительная муфта. 20.10.2014.

7 Рекомендации по использованию полученных результатов и выводов

Результаты и выводы диссертационной работы могут найти дальнейшее применение:

- 1) В конструкторских бюро-проектантах при разработке пропульсивных комплексов кораблей и судов.
- 2) Во ФГУП «Крыловский государственный научный центр», и других научных центрах при разработке принципиально новых пропульсивных систем, отвечающих повышенным требованиям к вибропоглощению.

8 Отсутствие заимствований без ссылок на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов

Использованные результаты других авторов приведены с соответствующими ссылками. Заимствования без ссылок отсутствуют.

9 Обоснованность включения сведений, составляющих государственную тайну

Выводы

1 Диссертационная работа Лысенко Александра Петровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке эффективных методов математического моделирования статических и динамических характеристик композитных упругих муфт, имеющей существенное значение для повышения надежности судовых пропульсивных комплексов.

2 Диссертационная работа написана ясным и грамотным языком, имеет внутреннее единство. Суть исследования изложена логично и аргументировано. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.5.17 «Теория корабля и строительная механика» в части области исследований:

–15. Механика деформируемого твердого тела – задачи по изучению равновесных состояний конструктивных элементов из металлических материалов и композитов: стержней, балок, балочно-стержневых систем, пластин, оболочек, пластинчато-стержневых систем и т.п. под действием статических, динамических (в том числе взрывных и ударных) воздействий; а также задачи по исследованию устойчивости этих состояний.

–17. Вибрация корабля и отдельных конструкций – задачи исследования колебаний корпуса корабля, его устройств и отдельных элементов, возникающих при движении корабля, работе двигателей, механизмов, гребных винтов и т.п.; проблемы снижения уровня вибрации и обеспечения допустимого уровня вибрации во всех режимах эксплуатации.

3 Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, ред. от 01.10.2018).

4 Диссертация Лысенко Александра Петровича «Методы численного моделирования статических и динамических характеристик композитных упругих муфт» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 «Теория корабля и строительная механика».

Заключение принято на заседании 3 НИО ФГУП «Крыловский государственный научный центр» «01» ноября 2022 г. На заседании присутствовали 10 человек, из них докторов наук – 3, кандидатов наук – 4. Результаты голосования: «за» – 10, «против» – 0, «воздержались» – 0.

Председатель заседания
Начальник 3 отделения, к. т. н.

В.М. Шапошников