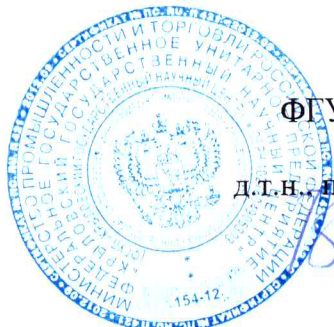




УТВЕРЖДАЮ
Научный руководитель
ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»,
д.т.н., профессор

В. Н. Половинкин
В. Н. Половинкин
« 1 » _____ 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного унитарного предприятия «Крыловский государственный научный центр»

Диссертация «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем» 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 Любомиров Ярослав Мстиславович работал в 3 отделении ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (Министерство промышленности и торговли РФ), в должности ведущего инженера.

В 1982 г. окончил Ленинградский ордена Ленина политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «Аэродинамика и термодинамика».

Справка № 269-АСП о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.5.17 Теория корабля и строительная механика выдана в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» 26 июня 2024 г.

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 Любомирова Ярослава Мстиславовича посвящена актуальной в теоретическом и практическом аспектах теме разработки методов численного гидроупругого моделирования композитных лопастных систем, позволяющих прогнозировать параметры уровней вибраций гребных винтов с повышенными диссипативными характеристиками.

Одной из важных научно-технических задач совершенствования эксплуатационных характеристик судовых двигателей является снижение уровней их вибрации. В результате высокой степени гидродинамической отработки формы лопастей и низких уровней диссипативных характеристик конструкций современных двигателей, традиционные методы снижения уровней вибрации гребных винтов практически исчерпали себя. Поэтому одним из приоритетных направлений дальнейшего снижения уровней вибраций является поиск новых материалов и разработка специальных конструкций лопастей и элементов судового двигателя. К таким перспективным материалам относятся полимерные композиты, в первую очередь, углепластик. Перспективность углепластика обусловлена, во-первых высокой анизотропией физико-механических свойств однонаправленного материала, которая позволяет создавать композитные конструкции, характеризующиеся рядом неклассических эффектов. В первую очередь это связь изгиба с кручением, возникающая при деформировании моноклинных композитных структур. Возможность управления уровнем изгибно-крутильной связанности композитных конструкций позволяет создавать моноклинные лопастные системы, адаптирующихся к переменным условиям нагружения набегающим неоднородным потоком воды. Использование адаптивных лопастей влечет за собой снижение уровней вибрации, повышение КПД и уменьшение износа двигателя на нерасчетных режимах движения. Во-вторых, для увеличения уровней диссипативных характеристик композитных конструкций является возможность использования неоднородных структур образованные совокупностью слоев материалов с различными физико-механическими характеристиками. Это предполагает учет особенностей материалов всех слоев, компонуемых в состав конструкции. Такими особенностями являются анизотропия физико-механических свойств материалов силовых элементов конструкции, а также существенная температурно-частотная зависимость упруго-диссипативных характеристик вязкоупругих полимеров вибропоглощающих слоев. Кроме того на параметры динамического отклика адаптивных лопастных систем с неоднородной по толщине структурой армирования существенно влияет величина сопротивления внешней среды. Поэтому реализация преимуществ композитных лопастей предполагает отказ от классической методологии разработки судовых двигателей, основанной на гипотезе бесконечной жесткости элементов лопастной системы, которая должна быть заменена методами математического моделирования связанных задач деформирования упругой лопасти и гидродинамики. В нашей стране в этом направлении систематические работы до сих пор не проводились.

В диссертации разработаны:

1. Интерактивный метод математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых двигателей, основанный на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости.

2. Уточненный метод выбора рациональных составов и структур армирования погруженных в водную среду композитных лопастей судовых двигателей, основанный на исследовании собственных частот и собственных форм их затухающих колебаний.

3. Исследовано влияние:

– структуры армирования консольной пластины и обшивки адаптивного крыла, образованных совокупностью слоев однонаправленного углепластика, на величины их собственных частот, а также критических скоростей флаттера и дивергенции;

– состава и структуры армирования неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей, образованных силовыми слоями из однонаправленного углепластика и вибропоглощающим слоем «мягкого» вязкоупругого материала, на величины собственных частот и коэффициентов механических потерь, а также на спектры эффективной мощности виброскоростей, средних амплитуд виброскоростей и реакций в зоне соединения ступицы с валом судового двигателя.

Выполнена апробация предложенных методов и на их основе разработаны запатентованные конструкции неоднородных по толщине композитных лопастей и узлов их крепления к ступице при выполнении ФГУП «Крыловский государственный научный центр» с отечественными заказчиками:

- государственных контрактов с Минпромторгом РФ №11411.1000400.09.010 от 02.12.2011 г., № 18208.4452018.09.001 от 24.12.2018 г.;

- договору с АО «Научно-производственное предприятие «МОРСКАЯ ТЕХНИКА», № 1218187301351010105000076/134-61/07 от 26.11.2007 г.;

- договорам с АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» № НИОКР/3-18/236-35/18 от 2.07.2018 г., № НИОКР/2-17/107-35/17 от 30.03.2017 г.;

- договору с АО «ЦКБ «Лазурит» №364-91/17 от 29.06.2018 г.

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

Тема диссертационной работы непосредственно связана с разработкой новых конструкций гребных винтов с лопастями из композитных материалов.

Данная область исследований связана с созданием научно-технического задела в области снижения уровней вибраций лопастных систем судовых движителей.

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 постановку задач исследования, планирование и организацию всех этапов работы;

- выполнил анализ существующих математических моделей взаимодействия «жидкость-конструкция», гидродинамики, механики деформируемого тела, механики композитов;

- разработал интерактивный метод математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанный на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости

- уточнил метод выбора рациональных составов и структур армирования погруженных в водную среду композитных лопастей судового движителя, основанного на исследовании собственных частот и собственных форм их затухающих колебаний;

- исследовал влияние структур армирования консольной пластины и обшивки адаптивного крыла, образованных совокупностью слоев однонаправленного углепластика, на величины их собственных частот, а также критических скоростей флаттера и дивергенции;

- исследовал влияние состава и структуры армирования неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей, образованных силовыми слоями из однонаправленного углепластика и вибропоглощающим слоем «мягкого» вязкоупругого материала, на величины собственных частот и коэффициентов механических потерь, а также на спектры эффективной мощности виброскоростей, средних амплитуд виброскоростей и реакций в зоне соединения ступицы с валом судового движителя

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

Достоверность предложенных методов обеспечена использованием положений теории упругости, теории вязкоупругости, механики композитов, аэрогидродинамики,

методы и средства вычислительной механики сплошных сред как основного аппарата математического моделирования.

Достоверность полученных результатов численных исследований подтверждена хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика (собственных частот и собственных форм колебаний, коэффициентов механических потерь, критических скоростей флаттера и дивергенции, кривых действия) исследуемых конструкций.

4 Новизна и практическая значимость результатов исследований

Новизна полученных автором научных результатов состоит:

1. Разработан интерактивный метод математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанный на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости.

2. Уточнен метод выбора рациональных составов и структур армирования погруженных в водную среду композитных лопастей судовых движителей, основанный на исследовании собственных частот и собственных форм их затухающих колебаний.

3. Исследовано влияние:

- структуры армирования консольной пластины и обшивки адаптивного крыла, образованных совокупностью слоев однонаправленного углепластика, на величины их собственных частот, а также критических скоростей флаттера и дивергенции;

- состава и структуры армирования неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей, образованных силовыми слоями из однонаправленного углепластика и вибропоглощающим слоем «мягкого» вязкоупругого материала, на величины собственных частот и коэффициентов механических потерь, а также на спектры эффективной мощности виброскоростей, средних амплитуд виброскоростей и реакций в зоне соединения ступицы с валом судового движителя.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что результаты работы использованы при выполнении работ ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по:

- государственным контрактам с Минпромторгом РФ №11411.1000400.09.010 от 02.12.2011 г., № 18208.4452018.09.001 от 24.12.2018 г.;

- договору с АО «Научно-производственное предприятие «МОРСКАЯ ТЕХНИКА», № 1218187301351010105000076/134-61/07 от 26.11.2007 г.;

- договорам с АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» № НИОКР/3-18/236-35/18 от 2.07.2018 г., № НИОКР/2-17/107-35/17 от 30.03.2017 г.;

- договору с АО «ЦКБ «Лазурит» №364-91/17 от 29.06.2018 г.

5 Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научной работы соискателя заключается в том, что в ней установлено снижение уровней треть октавного спектра мощности виброскоростей судового движителя с композитными лопастями на 3-15 дБ по сравнению с металлическим прототипом в широком диапазоне частот, порождаемое комплексом мероприятий, направленных на минимизацию изгибно-крутильной связанности и повышение диссипативных характеристик композитных лопастей.

Научная работа соискателя развивает и дополняет существующие положения по исследуемым вопросам развития гидроупругих колебаний лопастей. Использование результатов, полученных автором, позволяет минимизировать объемы экспериментальных проверок вновь разрабатываемых конструкций судовых движителей с композитными лопастями.

Предложенные автором разработки и рекомендации, такие как:

– интерактивный метод математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанный на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости;

– уточнение метода выбора рациональных составов и структур армирования погруженных в водную среду композитных лопастей судовых движителей, основанный на исследовании собственных частот и собственных форм их затухающих колебаний; 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 7 научных публикациях общим объемом 62 листа, в т.ч. 4 статьях опубликованных в изданиях, включенных в Перечень, определенный ВАК для публикации результатов научных исследований (из них 2 без соавторов), 1 публикация индексируется в БД SCOPUS и WoS.

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

В изданиях рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

1. Любомиров Я.М., Ярцев Б.А. Изгибно-крутильный флаттер консольной композитной пластины в потоке несжимаемого газа // Труды Крыловского государственного научного центра. 2014. Вып. 83(367). С. 89-108.

2. Любомиров Я.М., Ярцев Б.А. Аэроупругий отклик анизотропного композитного крыла. // Труды Крыловского государственного научного центра. 2015. Вып. 90 (374). С. 171-178.

3. Любомиров Я.М. Аэроупругий отклик анизотропного композитного крыла под воздействием турбулентного течения // Труды Крыловского государственного научного центра. 2016. Вып. 91 (375). С. 119-124.

4. Любомиров Я.М. Гидроупругое моделирование – эффективный инструмент разработки композитных лопастей судовых движителей // Труды Крыловского государственного научного центра. 2022. Специальный выпуск 1. С. 92-97.

В изданиях индексируемых в БД SCOPUS и WoS:

5. Lyubomirov Y., Yartsev B. Classical flutter anisotropic composite wing // 2015 International Conference on Mechanics – Seven Polyakhov's Readings: Proceedings. Saint Petersburg, 2015. P. 7106750.

В других изданиях:

6. Lyubomirov Ya.M., Yartsev B.A. Prospects for application of composite blades for reducing the levels of hydroelastic vibrations of ship propellers // XI International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN'2021. June 24-25, 2021. St. Petersburg, Russia. Proceedings. Conference theme Hydrodynamics & Strength in Modern Shipbuilding. P. 163-168.

7. Shaposhnirov V.M., Yartsev B.A., Lyubomirov Ya.M. Adaptive composite structures // XIII International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN'2024. June 20-21, 2024. St. Petersburg, Russia. Proceedings. Conference theme Construction materials. Strength and structural mechanics. P. 9-18.

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. Конференция по строительной механике корабля, посвященная памяти профессора И.Г. Бубнова и 110-летию со дня образования кафедры строительной механики корабля «Бубновские чтения», Санкт-Петербург, 2014 г.

2 Конференция по строительной механике корабля, посвященная памяти профессора П.Ф. Папковича, Санкт-Петербург, 2015 г.

3 Международная научная конференция по механике «Седьмые Поляховские чтения», Санкт-Петербург, 2015 г.

4 Конференция по строительной механике корабля памяти академика Ю.А. Шиманского, Санкт-Петербург, 2016 г.

5 Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция «Динамика и прочность конструкций аэрогидроупругих систем. Численные методы», Москва, 2017 г.;

6 Международная научная конференция по механике «IX Поляховские чтения», Санкт-Петербург, 2021 г.

7 Одиннадцатая международная конференция «Военно-морской флот и судостроение в современных условиях» NSN'2021, Санкт-Петербург, 2021 г.,

8 Научно-техническая конференция по строительной механике корабля, посвященная 155-летию РосНТО судостроителей имени академика А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, 2021 г.

9 Всероссийская научно-техническая конференция по строительной механике корабля «памяти академиков-кораблестроителей» посвященная 160-летию со дня рождения Алексея Николаевича Крылова и 140-летию со дня рождения Юлиана Александровича Шиманского, Санкт-Петербург, 2023 г.

10 Тринадцатая международная конференция «Военно-морской флот и судостроение в современных условиях» NSN'2024, Санкт-Петербург, 2024 г.

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

1. Узел соединения композитной лопасти с металлической ступицей гребного винта: пат. 2667999 Рос. Федерация / Лысенко А.П., Любомиров Я.М., Ярцев Б.А. № 2017136949; заявл. 19.10.2017; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 27. 9 с.

2. Композитная лопасть гребного винта: пат. 2709865 Рос. Федерация / Лысенко А.П., Любомиров Я.М., Ярцев Б.А. № 2019113630; заявл. 30.04.2019; опубл. 24.12.2019, Бюл. № 36. 10 с.

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.

Выводы

1 Диссертационная работа Любомирова Ярослава Мстиславовича является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной задачи снижения уровней вибраций судовых движителей с композитными лопастями на

основе разработанного интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, использующего различные стратегии численного решения связанных задач аэрогидродинамики, имеющей существенное значение для развития судовых движителей страны.

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 Любомирова Ярослава Мстиславовича «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем» 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» «1» июля 2024 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