

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе СПбГМТУ,
доктор педагогических наук

Анжела Алексеевна Грибанькова



» // _____ 2024

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический
Университет» на диссертацию **Любомирова Ярослава Мстиславовича**
«Интерактивный метод гидроупругого моделирования
композитных лопастных систем»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика»

Актуальность темы исследования

Актуальность предложенной темы диссертационной работы Любомирова Ярослава Мстиславовича связана со снижением уровней вибраций пропульсивных комплексов, подверженных динамическим нагрузкам, которые являются причиной усталостных повреждений, увеличения шума и т.д. Одним из эффективных средств снижения динамических воздействий в последнее время является использование полимерных композитных материалов, в частности углепластика. Это перспективный материал, который в силу существенной анизотропии своих свойств обладает возможностью управления его характеристиками.

К особенностям упругих лопастей из полимерных композитных материалов относится их слоистая структура. Традиционный подход проектирования слоистых конструкций основан на серии испытаний образцов материалов и опытных конструкций, что зачастую затратно и охватывает узкий диапазон варьируемых параметров. Более продуктивно развитие методов математического моделирования, которые позволяют выполнить численные эксперименты, основная задача которых заключается в выяснении физической сущности процессов, протекающих как в материалах, так и в изготовленных из них конструкциях в предполагаемых условиях эксплуатации.

Цель диссертации состоит в разработке методов моделирования динамических характеристик и прочности композитных лопастных систем и исследовании процессов, происходящих в этих конструкциях в предполагаемых условиях эксплуатации с учетом сопротивления внешней среды.

Тенденции развития пропульсивных комплексов в направлении снижения уровней их вибраций позволяет утверждать, что представленное в диссертационной работе теоретическое исследование актуально и является научно-квалификационной работой, направленной на решение научно-технической задачи оценки динамического отклика, прочности и диссипативных характеристик лопастных систем из полимерных композитов различных составов и структур армирования, при аэрогидроупругом воздействии.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Объектом исследования являются технические решения, снижающие динамический отклик лопастных систем из полимерных композитов пропульсивных комплексов. Результаты, полученные в работе, так же могут быть применены при проектировании иных объектов океанотехники.

Предметом исследования являются модели прогнозирования аэрогидроупругого отклика, прочности и диссипативных характеристик лопастей из слоистых композитов различных составов и структур армирования под действием аэрогидродинамического возбуждения.

Область и предмет исследования диссертации соответствует паспорту специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Научная новизна результатов исследования

Научная новизна, выполненных автором диссертационных исследований состоит в:

1. Разработке интерактивного метода 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. 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.

3. Исследование влияния:

– 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.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выполненные автором исследования основываются на доказанных закономерностях фундаментальных и прикладных наук, с соблюдением всех установленных допущений и ограничений. Математические выкладки выполнены корректно. Достоверность результатов 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.

Работа представляет собой законченное теоретическое исследование, которое позволяет получить представление об особенностях аэрогидроупругого моделирования параметров динамического отклика, диссипативных характеристик и прочности адаптивных композитных лопастей под действием при различных условиях статического и динамического нагружения.

Практическая ценность выполненной работы

Практическая ценность работы заключается в разработке и реализации интерактивного метода моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанный на численной реализации различных стратегий решения связанных задач аэрогидроупругости, позволяет минимизировать объемы экспериментальной проверки разрабатываемых конструкций судовых движителей с адаптивными композитными лопастями. Использование этого метода позволило разработать два элемента конструкции сборного судового движителя с адаптивными композитными лопастями, новизна которых подтверждена двумя патентами Российской Федерации.

Структура и объем диссертации, оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 133 страницах машинописного текста, включая 54 рисунка, 1 таблицу, 2 страницы оглавления и список литературы из 166 источников

Во введении сформулированы актуальность темы, цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость. Приведены сведения об апробации результатов и публикаций соискателя по теме исследования.

В первой главе проанализированы существующие методы математического моделирования задач механики композитов и гидродинамики, а так же анализ методов их совместного решения.

При рассмотрении задач механики слоистых композитов проанализированы существующие методы математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС), предельного состояния и диссипативных характеристик композитных конструкций. Отмечено, что определение НДС большинства композитных конструкций основаны на теории многослойных анизотропных пластин и оболочек, а так же теории упругости анизотропного тела. Рассмотрены особенности моделирования разрушения композитных конструкций и использование критериев прочности. Показано, что демпфирование в композитных конструкциях необходимо рассматривать как один из основных параметров проектирования и отмечены предложения по способам повышения диссипации энергии полимерных композитов.

При анализе методов гидродинамического моделирования гребных винтов показано, что прогнозирование нагрузок на поверхностях деформируемых композитных лопастей целесообразно выполнять на основе методов вычислительной гидродинамики.

Отмечено, что в задачах взаимодействия «жидкость-конструкция» всегда подразумевают наличие обратной связи, но различают сильную или слабую степень связанности. В самом процессе решения связанных задач аэрогидроупругого взаимодействия различают две стратегии: монолитную и параллельную. Монолитная стратегия предполагает решение единой связанной системы уравнений «жидкость-конструкция» в одном приложении, а параллельная стратегия в двух параллельно работающих независимых приложениях.

Во второй главе представлены теоретические основы моделирования аэрогидроупругого взаимодействия. Отмечая сложность прогнозирования отклика адаптивной композитной конструкции в рамках одной стратегии решения задач взаимодействия, предложен интерактивный метод использования монолитной и параллельной стратегий как системы приложений, с которыми разработчик систематически взаимодействует, направляя их на решение определенных классов задач.

Моделирование движения композитной лопасти выполнялось на основе соотношений динамической теории упругости анизотропного тела. Прогнозирование предельного состояния композитных лопастей осуществляется с использованием тензорно-полиномиального критерия прочности Цзя-Ву. Моделирование несжимаемого турбулентного течения выполнялось в рамках решения нестационарных осредненных по

Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS), замыкаемой SST-моделью турбулентности Ментера.

Для согласованного решения в параллельной стратегии на границе контакта жидкости и деформируемого тела использованы условия равновесия и совместности. В монолитной стратегии сформулирована единая система уравнений за счет введения предположений о нахождении композитной конструкции в покоящейся безвихревой идеальной жидкости. Показано, что в этом случае помимо внутреннего трения в материале композитной конструкции появляется дополнительное гидродинамическое демпфирование.

В третьей главе представлены результаты апробации интерактивного метода моделирования динамики взаимодействия композитных конструкций с набегающим потоком несжимаемого турбулентного газа в рамках параллельной стратегии решения. Показана достоверность результатов, полученных на основе использования параллельной стратегии при небольших начальных углах атаки путем сравнения расчетных и экспериментальных данных при исследовании влияния структур армирования консольной пластины на величины их собственных частот, а также критических скоростей флаттера и дивергенции.

Рассмотрение свойственной моноклинным композитным структурам связанности нормальных и сдвиговых деформаций и напряжений как пассивной обратной связи, продемонстрировано созданием адаптивных конструкций на примере консольного композитного крыла, работающего в набегающем турбулентном потоке несжимаемого газа. В результате выбора рациональной структуры армирования, основанного на анализе взаимного расположения графиков зависимостей собственных частот связанных и парциальных колебаний от угла ориентации армирования углепластика, показана возможность понижения уровня инерционной изгибно-крутильной связанности взаимодействующих мод колебаний, которая приводит к увеличению критических скоростей флаттера. Достоверность выбора рациональной структуры армирования подтверждена хорошим соответствием расчетных и экспериментальных значений собственных частот и скоростей флаттера/дивергенции.

В четвертой главе представлено описание результатов апробации интерактивного метода гидроупругого моделирования судового движителя с композитными лопастями. Исследованы особенности динамики взаимодействия «жидкость-конструкция» отдельной лопасти и лопастной системы водометного судового движителя.

Показано 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.

В заключение обобщены результаты проведенных исследований и представлены наиболее значимые из них.

Диссертационная работа написана технически грамотно, материал излагается достаточно ясно.

Диссертационная работа является завершенной работой, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний. Соискателем на основании теоретических исследований и практической разработки математических моделей получены результаты, которые могут быть использованы в научно-исследовательских и проектных организациях судостроительной промышленности для оценки гидроупругого динамического отклика и анализа предельных состояний конструкций из полимерных композитов.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации, включает сокращенное изложение всех глав, в полном объеме, - основные результаты исследований. Также в автореферате приведен перечень публикаций автора.

Публикации

Основные результаты и положения диссертационной работы опубликованы в 7 научных статьях, 4 из которых, включены в Перечень изданий, определенный ВАК для публикации результатов научных исследований (из них 2 без соавторов), 1 статья индексируется в БД SCOPUS и WoS; получены 2 патента на изобретение РФ.

Опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе и автореферату можно сделать следующее замечание:

1. В работе говорится о перспективах создания адаптивных конструкций на основе использования эффекта связанности нормальных и сдвиговых деформаций и напряжений в моноклинных структурах, поэтому целесообразно детальнее пояснить, что понимается под понятием адаптивности конструкций.

2. Автор на рис. 3.9 диссертации привел расчетные зависимости критических скоростей флаттера и дивергенции от угла армирования. На графике выделена заштрихованная область, которой соответствуют установившиеся автоколебания крыла, условия их возникновения предполагают более детального объяснения.

3. Автором отмечает специфичность композитных материалов, обладающих разнообразием механизмов разрушения, что порождает большое количество разных критериев прочности. Однако, в работе использован один критерий прочности Цая-Ву, что предполагает более подробного обоснования выбора автора.

Заключение

Отмеченные замечания не ставят под сомнение результаты работы и не снижают положительной оценки работы.


Анализ предоставленных соискателем материалов, содержание диссертации, автореферата и опубликованных трудов, позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи по разработке методов гидроупругого моделирования композитных лопастных систем с высокими диссипативными характеристиками и исследовании процессов, происходящих в этих композитных конструкциях, имеющей значение для развития методов строительной механики корабля в области проектирования конструкций из полимерных композитов.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, ред. От 01.10.2018), а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Строительная механика корабля» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет». Протокол № 03/2024-2025 от «19» ноября 2024 г.

Отзыв подготовили:

Д.т.н., профессор  Александр Александрович Родионов
заведующий кафедрой «Строительная механика корабля» СПбГМТУ

К.т.н.,  Владимир Александрович Коршунов
доцент кафедры «Строительная механика корабля» СПбГМТУ

К.т.н.,  Дмитрий Александрович Пономарев
доцент кафедры «Строительная механика корабля» СПбГМТУ

190121, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д.3, тел. (812) 494-09-40,
e-mail: ksmk@corp.smtu.ru