

## ОТЗЫВ

официального оппонента Прониной Юлии Григорьевны  
на диссертацию Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему  
«Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.17 - «Теория корабля и строительная механика».

**Актуальность темы исследований.** В последнее время вследствие возросшей интенсивности судоходства произошло повышение требований к виброакустическим характеристикам гребных винтов с целью минимизации шумового загрязнения моря и шумности судов. В этой связи переход от бронзовых и титановых винтов к созданию композитных лопастей гребных винтов дает возможность управления их изгибно-крутильной связанностью и диссипативными характеристиками, а значит, и виброскоростями и виброускорениями. Разносторонние исследования диссипативных характеристик и изгибно-крутильной связанности моноклинных композитов в воздушной среде проводились Б.А. Ярцевым с соавторами. Однако гребные винты эксплуатируются в водной среде, что оказывает существенное влияние на их динамический отклик. Для учета динамического взаимодействия винта, с моноклинными композитными лопастями, с набегающим потоком водной среды необходимо решать связанные задачи аэрогидроупругости с учетом анизотропии материала лопаток. Вплоть до работ соискателя эти проблемы в РФ практически не исследовались. В связи с этим как теоретическая, так и практическая составляющие данной работы несомненно актуальны.

В диссертации дан аналитический обзор истории появления судовых движителей с композитными лопастями и качественный анализ методов решения задач механики композитов и аэрогидродинамики, что формирует полное представление об актуальности и практической значимости проведенных исследований.

**Цель диссертации** определена как разработка нового интерактивного метода математического моделирования динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанного на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости.

**Научная новизна** заключается в разработке метода моделирования динамического отклика судового движителя с деформируемыми композитными лопастями на основе комбинирования монолитной и параллельной стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости. При этом учитывается сложная моноклинная структура лопастей и их взаимодействие с водно-воздушной средой.

Помимо этого, уточнен метод определения оптимальных параметров армирования композитных лопастей судовых движителей, эксплуатируемых в водной среде.

На основе разработанных алгоритмов получены новые данные о влиянии параметров армирования

- консольной пластины и обшивки адаптивного крыла, составленных из слоев однонаправленного углепластика, на их собственные частоты, критические скорости флаттера и дивергенции;

- неоднородных «мокрых» композитных лопастей, составленных из слоев однонаправленного углепластика и вибропоглощающего слоя вязкоупругого материала, на их собственные частоты, коэффициенты механических потерь, спектры эффективной мощности и средние амплитуды виброскоростей, а также реакции в зоне соединения ступицы с валом судового двигателя.

**Практическая значимость** разработанного соискателем метода моделирования заключается в существенном сокращении ресурсоемких экспериментальных исследований при создании новых конструкций судовых двигателей с адаптивными композитными лопастями, а также в разработке новых элементов таких двигателей, что подтверждено патентами РФ.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований использованы при выполнении работ ФГУП «Крыловский государственный научный центр» по двум государственным контрактам с Минпромторгом РФ и по четырем договорам с АО «НПП «Морская техника», АО «ЦКБ «Лазурит» и АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит».

**Достоверность и обоснованность научных результатов** обеспечивается корректной постановкой задач, грамотным использованием апробированных численных методов и их обоснованным комбинированием, высоким профессионализмом при работе с программным комплексом ANSYS, а также согласованием результатов расчетов автора с имеющимися экспериментальными данными.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку на десяти отечественных и международных научно-технических конференциях.

**Публикации.** Содержание и основные результаты диссертации отражены в семи опубликованных статьях, из которых четыре – в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (из них – две с единоличным авторством), и одна – в издании, индексируемом в базах данных Scopus и WoS CC. По итогам исследований получено два Патента на изобретение Российской Федерации.

**Автореферат диссертации** достаточно полно отражает основное содержание работы.

**Вопросы и замечания по содержанию и оформлению работы.** При положительной в целом оценке диссертации появились некоторые вопросы и пожелания.

1. Желательно было бы привести более детальную блок-схему разработанного алгоритма решения задач об определении параметров динамического отклика деформируемых композитных лопастных систем судовых двигателей.

2. В каком конкретно диапазоне предполагается выбирать параметр  $\Delta t$  при осреднении уравнений Навье-Стокса по Рейнольдсу в рассмотренных задачах. Как он может повлиять на результаты решения?

3. При расчете прямоугольной консольной пластины в набегающем потоке газа расчетная аэродинамическая область выбиралась в виде параллелепипеда с наибольшей стороной всего в полтора раза превышающей длину пластины. Проверялся ли краевой эффект, обусловленный ограниченными размерами расчетной аэродинамической области? (Этот вопрос относится ко всем исследованным в работе задачам.) Насколько он может быть существенным? На основании чего выбирались размеры этой области? Для пластин [-30 / 0] и [-45 / 0] деформация сетки в этой области оказывалась существенной, приводя к неоптимальной плотности узлов и увеличению погрешности расчетов. Возможно ли снижение этой ошибки при измельчении начальной сетки в недеформированном состоянии? При ограничении вычислительных ресурсов как предлагается выбирать соотношение размеров расчетной аэродинамической области и размеров конечных элементов (как найти баланс между уменьшением обоих параметров и их увеличением)? Позволяет ли разработанный алгоритм более точно учитывать отрыв пограничного слоя от поверхности пластины при увеличении вычислительной мощности?

4. Расчетные данные для консольной пластины, полученные соискателем, сравнивались с экспериментальными данными [138, 139] 1981 и 1983 гг, в которых указывалось на наличие неточности ориентации армирующих слоев в процессе изготовления образцов. Имеются ли в доступной научной литературе более точные данные о подобных испытаниях за последние 40 лет? Почему?

5. При моделировании работы судового движителя на поверхностях расчетной цилиндрической области установлены условия непроницаемости. Возможно ли набегание потока по боковой поверхности расчетной области или же это не имеет смысла с технологической (конструкционной) точки зрения?

Имеется незначительное количество опечаток и неточных формулировок, однако они не умаляют значимости полученных результатов и не влияют на положительное восприятие содержания диссертации.

Отмеченные замечания не затрагивают справедливости основных выводов и положений, выносимых на защиту, и не меняют общей положительной оценки диссертации, являясь, возможно, рекомендациями к дальнейшим исследованиям.

**Несомненным достоинством диссертации** является сочетание вычислительной виртуозности с практической направленностью исследований. Разработанная методика расчета динамического отклика сложной конструкции с учетом связанностей разных видов – изгибно-крутильной внутри моноклинного композита и аэрогидроупругого взаимодействия – использована не только для исследования различных возможных эффектов, но и реализована при создании новых элементов гребных винтов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
«Положением о присуждении ученых степеней»**

Диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 - «Теория корабля и строительная механика».

Официальный оппонент  
Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор с возложенными обязанностями  
заведующего кафедрой вычислительных методов  
механики деформируемого тела факультета  
прикладной математики – процессов управления  
Санкт-Петербургского государственного университета



Пронина Юлия Григорьевна

198504, Санкт-Петербург, Университетский пр., 35  
С.-Петербургский государственный университет,  
Тел.: (921)9132780, E-mail: [y.pronina@spbu.ru](mailto:y.pronina@spbu.ru)

10 октября 2024 г.

Подпись Прониной Юлии Григорьевны удостоверяю.

И.о. начальника  
отдела кадров № 3  
И.И. Константинова

Копия  
10.10.2024



Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.htm>

Документ подготовлен  
в порядке исполнения  
трудовых обязанностей