

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «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»

Диссертационная работа Любомирова Я.М. посвящена актуальной проблеме создания интерактивного метода гидроупругого моделирования композитных лопастных систем. Существующие подходы к проектированию конструкций рассматриваемого класса рассматривают их как недеформируемое твердое тело, что противоречит относительно низкой межслоевой жесткости полимерных композитов. Поэтому высока потребность в разработке методов и средств математического моделирования связанных задач гидродинамики композитных лопастей и их деформирования от действия набегающего потока воды.

Научная новизна работы состоит:

- в разработанном новом варианте интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых лопастных систем судовых движителей, основанном на использовании различных стратегий решения связанной задачи аэрогидроупругости для конструкции гребного винта из анизотропного материала;
- в уточненном методе выбора рациональных составов и структур армирования композитных лопастей гребного винта;
- в новых результатах исследования влияния составов и структур армирования рассматриваемых конструкций на параметры их аэрогидроупругого поведения.

Разработанный соискателем вариант интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых лопастных систем судовых движителей представляет также практическую значимость, так как проведение на основе этого метода математических экспериментов позволяет уменьшить объем дорогостоящих лабораторных и натурных экспериментов по проверке работоспособности разрабатываемых конструкций судовых движителей. Полученные в работе результаты

использованы при выполнении государственных контрактов и договоров с рядом ведущих предприятий судостроительной отрасли.

Достоверность полученных результатов обеспечена квалифицированным использованием методов теории упругости и вязкоупругости, механики композитов и композитных конструкций, аэрогидродинамики, методов и средств вычислительной механики сплошных сред, опирающейся на аттестованный программный код, а также хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика композитных конструкций.

Основные результаты работы отражены в 7 научных работах, в том числе в 4 статьях в журналах, включенных в перечень ВАК РФ. Результаты работы докладывались и обсуждались на 10 научно-технических конференциях.

По содержанию автореферата имеется следующее замечание: представляется излишне оптимистичным утверждение автора о радикальном повышении точности расчета напряженно-деформированного состояния композитных конструкций, которое достигается за счет конечноэлементного решения краевой задачи трехмерной теории упругости анизотропного тела. Вычислительная эффективность программных средств, в том числе имеющих официальную сертификацию, не исключает появления значительной погрешности численного решения, что придает большую значимость проблеме оценки достоверности получаемых результатов. В то же время заведомо более экономичное двумерное решение по оболочечной расчетной схеме в большинстве практически важных случаев способно обеспечить точность, вполне достаточную для проектных расчетов.

Указанное замечание не снижает общей положительной оценки проделанного исследования.

Диссертация «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем», судя по автореферату и публикациям её автора, выполнена на высоком уровне, является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые достоверные результаты, имеющие важное практическое значение.

Диссертация и автореферат удовлетворяют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от

24.09.2013 №842) предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Любомиров Ярослав Мстиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Отзыв составил начальник отделения «Центр прочности» акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», зам. главного конструктора по прочности, канд. техн. наук Каледин Владимир Олегович
141371 г. Хотьково Московской обл., ул. Заводская, д. 34, АО «ЦНИИСМ»
Тел. 8(495) 993-00-11, факс 8(496) 543-82-94, e-mail tsniism@tsniism.ru

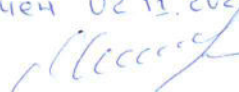
Начальник отделения
«Центр прочности» АО «ЦНИИСМ»

 В.О. Каледин

Секретарь научно-технического совета
АО «ЦНИИСМ»

 Краснова Г.В.



Получен 02.11.2024, № 5543/9
 О.В. Малышев

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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. Снижение вибрационной нагрузки судовых движителей, приводящей к их износу и разрушению, является чрезвычайно актуальной технической задачей. При этом целесообразно развивать возможности, которые предоставляют современные технологии, используя и разрабатывая новые композитные, в том числе анизотропные, материалы и «умные» конструкции, адаптирующиеся к внешней нагрузке таким образом, чтобы обеспечить выход из опасных режимов, а также проводя подробный анализ при помощи численного моделирования перед тем, как перейти к натурным экспериментам. Таким образом, цель, поставленная диссертантом – разработка интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем судовых движителей, основанного на использовании различных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости, является весьма актуальной и важной с точки зрения развития кораблестроения.

Работа Я.М. Любомирова посвящена поиску оптимальных конструкций из анизотропных композитов, разработанных таким образом, что при внешних нагрузках, приближающих конструкцию к опасному режиму, деформация конструкции уменьшает нежелательную нагрузку. Тем самым конструкция обеспечивает отрицательную обратную связь, позволяющую снизить вибрацию и избежать разрушения. Это возможно, поскольку на практике внешние нагрузки являются следящими. Задачи решаются в связанной постановке, что позволяет приблизить расчеты к реальности. Численные расчеты подтверждены натурным экспериментом.

Получены следующие основные **новые результаты**:

- 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.
- 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.
- Исследовано влияние структуры армирования и состава консольной пластины и обшивки адаптивного крыла из слоистого углепластика, а также неоднородных по толщине лопастей, состоящих из слоев углепластика и вязкоупругого материала, выполняющего роль гасителя вибраций, на динамические свойства данных конструкций,

важные в практических приложениях (собственные частоты, критические скорости флаттера и дивергенции, коэффициенты потерь и т.д.)

Данные результаты обладают очень большой практической значимостью (что подтверждается двумя патентами на изобретение РФ и шестью контрактами в промышленной области) и представляют теоретический интерес. По результатам работы имеется 7 публикаций, они докладывались на 10 научно-технических конференциях.

Замечание 1. В автореферате есть опечатки («нестационарном», «итерактивный» – стр. 9)

Замечание 2. В автореферате описано влияние «мягкого» вязкоупругого слоя в неоднородной лопасти на ее диссипативные характеристики. Можно ожидать, что на малых временах, пока диссипативные потери невелики, существенная часть энергии колебаний будет локализована в данном слое и приведет к его заметным деформациям, так что именно они будут влиять на характер следящей нагрузки. Было бы интересно в будущем провести анализ данного вопроса.

Данные замечания, второе из которых является рекомендацией, не влияют на общую **весьма положительную оценку** работы.

На основании автореферата можно сделать вывод, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и содержит решение ряда важных научно-технических задач кораблестроения. Содержание автореферата дает подробное представление о работе.

Диссертационная работа отвечает всем критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842) к кандидатским диссертациям, а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 «Теория корабля и строительная механика».

Доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник лаборатории Мехатроники
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт проблем машиноведения Российской академии наук

11 ноября 2024 года

Грекова Елена Федоровна

199178, г. Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 61. Тел.: +7 812 321 47 78,

e-mail: elgreco@pdmi.ras.ru



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «Пластполимер»



С.А. Иванов

» 21.1.2024 2024 г

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «**Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем**», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 - «Теория корабля и строительная механика».

Актуальность работы

Снижение вибрационных нагрузок на судовые движители — одна из ключевых задач повышения комфортабельности судов. Одним из путей решения этой задачи является использование новых материалов, которые могут улучшить динамические характеристики судовых движителей благодаря своим уникальным физическим свойствам. Одним из таких материалов является углепластик, который отличается высокой анизотропией своих физико-механических свойств и рядом необычных физических эффектов.

Таким образом задача создания адаптивных композитных лопастей с высокими диссипативными характеристиками и исследование их характеристик представляется весьма актуальной задачей.

Степень обоснованности и достоверность полученных автором результатов обеспечивается использованием методов и положений теории упругости, теории вязкоупругости, механики композитов, аэрогидродинамики, методов и средств вычислительной механики сплошных сред как основного аппарата математического моделирования. Достоверность полученных результатов подтверждена так же хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика исследуемых конструкций.

Научная новизна исследования заключается в разработанном интерактивном методе гидроупругого моделирования композитных лопастных систем. Этот метод позволяет с высокой точностью прогнозировать динамические характеристики,

диссипативные свойства и прочность неоднородных по толщине слоистых композитных конструкций, работающих в водной среде. Научную новизну составляет так же использованный автором в работе учёт влияния сопротивления внешней среды при выборе оптимальных составов и структур армирования композитных лопастей, погружённых в воду.

Положительно характеризуя научно-исследовательскую работу следует отметить по автореферату одно замечание:

Автор исследует влияния структур армирования неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей, включающих слой «мягкого» вязкоупругого материала. Однако, в автореферате отсутствуют пояснения причин выбора именно «мягкого» вязкоупругого материала в данном исследовании и не приведены его характеристики.

Указанное замечание имеет непринципиальный характер и не ставит под сомнение положительный результат работы автора диссертации.

Заключение

Диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича – законченная научно-исследовательская работа, выполненная на актуальную тему, в которой предложен интерактивный метод аэрогидроупругой оценки динамического отклика и прочности композитных конструкций с повышенными диссипативными характеристиками, находящихся в нестационарном потоке.

Работа соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Считаю, что Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Отзыв составил:

Сятковский Александр Иорданович, директор по науке ОАО «Пластполимер», кандидат химических наук.

Россия, 195197, г. Санкт-Петербург, Полустровский пр.32, ОАО «Пластполимер»
+7(812) 740-73-11, E – mail: nauka@plastpolymer.com

Директор по науке
ОАО «Пластполимер»
к.х.н.

А.И. Сятковский

ОТЗЫВ
на автореферат диссертационной работы
Любомирова Ярослава Мстиславовича
на тему
**«Интерактивный метод гидроупругого моделирования
композитных лопастных систем»**,

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

Тема диссертационной работы Я. М. Любомирова связана с решением актуальной задачи по снижению уровня вибраций судовых движителей. При традиционном проектировании гребных винтов в качестве внешних сил рассматриваются нагрузки, полученные из гидродинамических расчетов в предположении бесконечной жесткости лопастей. При таком подходе игнорируется обратное влияние деформаций лопастей на поток, обусловленное изгибно-крутильной связанностью, которая является источником связанных колебаний лопастей. Учет влияния конечности жесткости лопастей становится возможен за счет разработки методов моделирования взаимодействия «жидкость – конструкция».

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработанном автором интерактивном методе математического моделирования параметров динамического отклика взаимодействующих с водно-воздушной средой деформируемых композитных лопастных систем, основанном на использовании оригинальных стратегий численного решения связанных задач аэрогидроупругости. Это позволяет разрабатывать адаптивные композитные лопасти, которые обладают высокими диссипативными характеристиками за счет включения в их состав армирующего вязкоупругого материала.

Обоснованность полученных результатов обеспечена использованием методов и положений теории упругости, теории вязкоупругости, механики композитов, аэрогидродинамики, методов и средств вычислительной механики сплошных сред как основного аппарата математического моделирования. Достоверность результатов подтверждена хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика исследуемых конструкций.

Практическая значимость предложенного интерактивного метода заключается в его использовании при разработке элементов конструкции сборного судового движителя с адаптивными композитными лопастями, техническая новизна которых подтверждена двумя патентами Российской Федерации.

По результатам работы отражены в 7 научных публикациях из которых 4 статьи опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК, 1 статья в издании, индексируемом WoS и SCOPUS. Получено 2 патента РФ на изобретение. Результаты работы многократно докладывались автором на профильных научно-технических конференциях.

В ходе ознакомления с авторефератом возникли следующие замечания и вопросы:


1. В диссертационной работе проведено сравнение рабочих колес с металлическими и композитными лопастями одинаковой геометрии. Однако, специфика физико-механических свойств композита позволяет предполагать, что изменение геометрии композитной лопасти относительно металлического прототипа может положительно повлиять на характеристики рабочего колеса.
2. Каковы перспективы использования аддитивных технологий при изготовлении гребных винтов и насколько разработанный автором подход применим к анализу эффективности и надежности таких изделий?

3. Рассматривая разработанный метод как инструмент расчетных обоснований при проектировании гребного винта, было бы целесообразным рассмотреть возможности этого метода при расчетах наиболее напряженных динамических режимов, например, при реверсе с полного переднего хода на полный задний.

Указанные замечания и вопросы не снижают высокой оценки полученных автором диссертационной работы результатов.

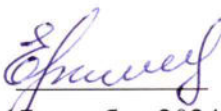
Судя по автореферату, диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, удовлетворяющую критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Начальник отдела
исследований тяжелых аварий
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», к.х.н.


17 октября 2024

Альмяшев
Вячеслав
Исхакович

Ведущий научный сотрудник
отдела динамических исследований
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», к.т.н.


17 октября 2024

Ефимов
Владислав
Алексеевич

ФГУП «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова»
Копорское шоссе, д. 72,
г. Сосновый Бор, Ленинградская область, 188540
т.: +7 (813-69) 22-667 (секретариат)
факс: +7 (813-69) 23-672
e-mail: foton@niti.ru
р.т. рецензента: +7 (813-69) 59-012
м.т. рецензента: +7 (921) 797-00-39
e-mail рецензента: vac@mail.ru

Мы, Альмяшев Вячеслав Исхакович, начальник отдела исследований тяжелых аварий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и Ефимов Владислав Алексеевич, ведущий научный сотрудник отдела динамических исследований даем согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись начальника отдела исследований тяжелых аварий
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» В. И. Альмяшева
и ведущего научного сотрудника отдела динамических исследований
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» В. А. Ефимова удостоверяем:

Ученый секретарь
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»



А. М. Ситников

17 октября 2024

В диссертационный совет 31.1.003.01
при ФГУП «Крыловский государственный
научный центр»
196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе,
д.44.0
Ученому секретарю диссертационного совета,
к.т.н., доценту Малышеву О.В.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «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»

Диссертация Любомирова Я.М. является методической научной работой, в которой предложен новый 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.

Актуальность темы диссертации сомнений не вызывает. Особое внимание уделено формированию схемы взаимодействия задач в процессе аэрогидроупругого моделирования композитных лопастных систем и выбору математических моделей их реализации. 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. Реализация предложенного метода позволила исследовать влияние структуры армирования консольной пластины и обшивки адаптивного крыла, образованных совокупностью слоев однонаправленного углепластика, на величины их собственных частот и критических скоростей флаттера и дивергенции. Также исследовано влияние состава и структуры армирования неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей, состоящих из силовых слоев из однонаправленного углепластика и вибропоглощающего слоя «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. Достоверность полученных результатов подтверждена хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика исследуемых конструкций.

По автореферату имеется одно замечание: в работе отмечено, что на параметры гидроупругого отклика судового движителя помимо присоединенных масс жидкости

существенное влияние оказывает величина отношения жесткостей лопастей к жесткости ступицы. Однако рекомендации о рациональной величине этого отношения не приведены.

Указанное замечание не снижает высокой оценки результатов, полученных автором.

Судя по автореферату, диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича представляет собой завершённую актуальную научно-исследовательскую работу, соответствующую критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», (утверждённым Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Д.т.н, профессор, главный научный сотрудник лаборатории теории механизмов и структуры машин Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

Адрес: Малый Харитоньевский переулок, д.4, г. Москва, 101000

E-mail: Nik_Azikov@mail.ru

Телефон +7 (916) 491 -5007



Н.С. Азиков

(подпись)

«11» октября 2024 г.

Специальность, по которой защищена кандидатская диссертация:

2.5.17 – Теория корабля и строительная механика

Подпись Н.С. Азикова удостоверяю

Зам. начальника отдела кадров

М.П.



Демидова С.И.

УТВЕРЖДАЮ

Директор по развитию поставщиков
общепромышленного назначения
АО «Силовые машины»


_____ Хмель Е. В.
 _____ 2024 г

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Любомирова Ярослава Мстиславовича** по теме «**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 работы обусловлена необходимостью поиска новых материалов, реализующих физические эффекты, которые позволяют улучшить динамические характеристики гребных винтов за счет снижения уровней их вибраций, так как традиционные методы снижения вибрации гребных винтов практически исчерпали себя. В качестве такого материала для лопастей исследуется высокоанизотропный однонаправленный углепластик. Выбор рациональной структуры армирования композитной лопасти позволяет создавать композитные лопасти способные адаптироваться к переменным условиям нагружения в неоднородном набегающем потоке воды за счет возможности управления в них уровней изгибно-крутильной связанности, а включение в состав армирования вязкоупругого материала увеличивает диссипативные характеристики лопасти, что ведет к снижению уровней вибрации.

Научная новизна заключается в разработке метода математического моделирования параметров динамического отклика композитной конструкции с учетом взаимодействия «жидкость-конструкция», в котором выбор стратегии решаемой задачи осуществляется интерактивно. Дополнительным элементом новизны диссертационной работы является уточнение метода выбора рациональных составов и структур армирования композитных лопастей за счет учета влияния сопротивления внешней среды. Исследование, выполненное с использованием предложенного интерактивного метода, позволило выявить закономерности влияния составов и структур армирования, неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей на величины коэффициентов

механических потерь не только за счет диссипативных характеристик вязкоупругого материала, но и за счет гидродинамического демпфирования.

Практическая значимость разработанных в диссертации методов заключается в использовании интерактивного метода для разработки двух элементов конструкции сборного судового движителя с адаптивными композитными лопастями, новизна которых подтверждена двумя патентами Российской Федерации.

При общей положительной оценке работы необходимо отметить следующее замечание:

в работе рассмотрено многолопастное рабочее колесо с неоднородными по толщине композитными лопастями. Это порождает проблему обеспечения изготовления одинаковых по массе и упруго-диссипативных характеристик неоднородных по толщине композитных лопастей. В автореферате не упоминается, как решался этот вопрос;

При этом считаю, что данные замечания не снижают ценности выполненных исследований и не ставят под сомнение основные результаты диссертационной работы.

Судя по автореферату, диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему снижения уровней вибрации судовых движителей на основе предложенного интерактивного метода их гидроупругого моделирования.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Отзыв составил:

Аликин Павел Владимирович, кандидат технических наук, руководитель проекта АО «Силовые машины», Россия, 195009, Санкт-Петербург, Свердловская набережная, 18, тел. +7(812)3633410 доб. 5535, mail: Alikin_PV@nordenergogroup.com

Руководитель проекта
АО «Силовые машины»
кандидат технических наук,
Аликин Павел Владимирович



14.10.2024



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ
МОРСКОЕ БЮРО МАШИНОСТРОЕНИЯ
«МАЛАХИТ»



Утверждаю

Генеральный директор
АО «СПМБМ «Малахит», к.т.н.
В.Ю. Дорофеев
2024 г.



№ _____
на № _____ от _____

Отзыв на автореферат диссертации Любомирова Ярослава Мстиславовича «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем», представляемой на соискание учёной степени кандидат технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика»

1 Актуальность темы научного исследования.

Среди задач снижения вибрации конструкций и элементов судов особое место занимает задача снижения вибрации и шумоизлучения судовых движителей. Характерным примером её прикладного решения является разработка мероприятий по улучшению виброакустических характеристик открытых гребных винтов (ОГВ) и водомётных движителей (ВД). Актуальной задачей сегодняшнего дня является снижение уровней изгибно-крутильных колебаний их лопастей. Совершенствование геометрии лопастей и отработка их гидродинамической формы привели к выраженному проявлению изгибно-крутильных колебаний в одном из частотных диапазонов их шумоизлучения, известных как кромочный шум. Результаты исследований и натурных испытаний движителей с применением традиционных мероприятий по снижению этого типа шумоизлучения пока не дали ощутимого положительного результата. В этой связи, ценность и актуальность приобретает направление исследований перспективных материалов, к которым относятся полимерные композиционные материалы (ПКМ). Возможность управления изгибно-крутильной связностью колебаний лопастей, выполненных из ПКМ в условиях переменного гидродинамического нагружения расширяет возможности снижения динамического отклика лопастных систем. Кроме того, л-

Исполнитель:
Телефон:



196135, Санкт-Петербург,
ул. Фрунзе, д. 18
Телетайп: 122521 «БОТ»

Тел.: (812) 242-85-85
Факс: (812) 388-17-19
E-mail: info-ckb@malachite-spb.ru

пастные системы движителей, при их изготовлении из ПКМ позволяют увеличить их диссипативные свойства и снизить излучение колебательной энергии за счёт высоких механических потерь.

В качестве ещё одного аспекта актуальности диссертационной работы следует отметить рассмотрение гидроупругого взаимодействия лопасти и потока при отказе от гипотезы бесконечной жесткости элементов лопастной системы, что соответствует реальной картине шумоизлучения лопастных движителей.

Представленная работа развивает и расширяет возможности снижения шумоизлучения судовых движителей на основе использования вязкоупругих характеристик ПКМ.

Цели диссертационной работы соответствуют заявленной теме и подтверждают актуальность и востребованность решения поставленных задач.

2 Научная новизна

В качестве критериев научной новизны следует отметить разработку интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика деформируемых лопастных систем из ПКМ, взаимодействующих с водно-воздушной средой, при использовании различных стратегий численного решения связанных задач гидроупругости.

Для оценки связности изгибно-крутильных колебаний лопастей, собственных частот и форм колебаний уточнён метод выбора рациональных структур армирования композитных лопастей при погружении их в воду.

Выполнено исследование, в том числе экспериментальным путём на масштабной модели влияния анизотропии в структуре армирования консольной пластины и обшивки адаптивного крыла на величины собственных частот, критических скоростей флаттера и дивергенции.

Дальнейшее развитие способов увеличения диссипативных характеристик изделий из ПКМ было выполнено путем применения в композитных лопастях из однонаправленного углепластика вибропоглощающего слоя из «мягкого» вязкоупругого материала с контролем изменения величин собственных частот и коэффициента механических потерь

3 Научная значимость

Разработанный интерактивный метод математического моделирования параметров динамического отклика деформируемых композитных лопастных систем, взаимодействующих с водно-воздушной средой, решает принципиальную задачу учёта деформируемости лопастей движителей, что ранее не учитывалось при оценке изгибно-крутильной составляющей кромочного шума. Численный

метод исследования и оценки шумоизлучения движителей в диапазоне кромочного шума крайне важен в условиях отсутствия необходимой экспериментальной базы и крупномасштабного моделирования лопастных движителей, изготавливаемых из традиционных металлических и композиционных материалов.

4 Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость работы заключается в выполнении численных оценок гидроупругой деформируемости лопастей, на основе которых открывается возможность разработки конструктивных мероприятий по снижению шумоизлучения движителей. Ценность подобных оценок важна при решении задачи повышения диссипативных характеристик лопастей при изготовлении их из традиционных металлических материалов и ПКМ. Как отмечает автор, важнейшее преимущество ПКМ - в их высоких диссипативных свойствах, что позволяет рассматривать демпфирование не как полезный вторичный эффект, а как один из основных характеристик проектирования элементов движителей. Объединение в рамках комплексной задачи снижения гидроупругой деформируемости лопастей требований прочности, повышения диссипативных характеристик и специальных конструктивных мероприятий позволяют разработать элементы конструкции сборного судового движителя с адаптивными композитными лопастями, которые открывают возможности снижения их шумоизлучения в широком диапазоне частот. Практический интерес представляет исследование снижения кильватерной следности, образуемой элементами ОГВ и выполненное автором в рамках СЧ НИР «Хаска-Геликон». Предложенное конструктивное решение открывает возможность повышения акустических и энергетических характеристик судовых движителей специальной морской техники.

5 Обоснованность и достоверность полученных результатов

Достоверность результатов и правомерность методологии математического моделирования подтверждена сходимостью расчётных и экспериментальных значений характеристик динамического отклика исследуемых конструкций. Валидация расчётных данных и результатов натурных испытаний, выполненная в рамках СЧ НИР «Хаска-Геликон» показала хорошую сходимость, что подтверждает обоснованность построения математической модели и точность расчётов.

6 Реализация результатов работы

Результаты расчётных оценок на основе интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика деформируемых ком-

позитных лопастных систем позволили выполнить разработку элементов конструкции судового движителя, которые подтверждены двумя патентами Российской Федерации. Технические рекомендации по доработке движителя одного из проектов АО «СПМБМ «Малахит», разработанные при участии автора в процессе выполнения ФГУП «Крыловский государственный научный центр» СЧ НИР «Хаска-ПКМ» и «Хаска-Геликон» использованы при разработке мероприятий в рамках модернизации этого проекта.

7 Апробация работы

Результаты и положения представленной диссертационной работы отражены в 7 научных публикациях, в том числе в 4 статьях в изданиях, включённых в Перечень изданий, определённых ВАК для публикаций результатов научных исследований (из них 2 без соавторов). Одна публикация индексируется в БД SCOPUS и WoS. Так же получены 2 патента на изобретения РФ. Материалы диссертационной работы докладывались и получили положительные отзывы на 10 научно-технических конференциях.

8 Замечания и недостатки

В контексте развития средств акустической защиты и повышения вибропоглощающей эффективности лопастных систем движителей, и в целом изделий из ПКМ, следовало бы отразить мнение и оценки автора по развитию экспериментальной базы исследований элементов движительных комплексов. Неоспоримое достоинство автора в разработке интерактивного метода математического моделирования параметров динамического отклика деформируемых лопастных систем необходимо дополнить предложениями по валидационной оценке расчётных результатов путем крупномасштабного моделирования объектов исследований. Подобные предложения позволят сделать процесс проектирования малозумных движителей в виде логически завершённого процесса с минимизацией технических рисков получения необходимого результата.

Заключение

В результате рассмотрения автореферата диссертации Любомирова Ярослава Мстиславовича «Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем», представляемой на соискание учёной степени кандидат технических наук специалисты АО «СПМБМ «Малахит» считают тематику работы актуальной, а результаты полезными и востребованными при решении задач повышения скрытности специальных объектов морской техники. Диссер-

тационная работа выполнена автором самостоятельно, что подтверждается работами, выполненными лично, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

Диссертация соответствует п.9, абз.2 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор Любомиров Ярослав Мстиславович» достоин присуждения учёной кандидат технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика»

Отзыв составили:

1 Петров Сергей Афанасьевич, д.т. н, профессор, главный научный сотрудник АО «СПМБМ «Малахит», 196135 г. Санкт-Петербург, ул.Фрунзе,18, телефон: 8(812) 242-75-10, эл. почта: info-ckb@malachite-spb.ru.

2 Перегоедов Владимир Александрович, к.т.н, ведущий конструктор отделения общего и акустического проектирования АО «СПМБМ «Малахит», 196135 г. Санкт-Петербург, ул.Фрунзе,18, телефон: 8(812)242-15-76, эл. почта: info-ckb@malachite-spb.ru.

Главный научный сотрудник
АО «СПМБМ «Малахит»,
д.т.н, профессор

С.А. Петров

Ведущий конструктор
отделения общего и
акустического проектирования,
АО «СПМБМ «Малахит», к.т.н.

В.А. Перегоедов

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

Д. Т. В.

К. Г. Голубев

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Я. М. Любомирова

на тему «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».

Проблема снижения уровней вибрации судовых движителей связана с поиском новых материалов, позволяющих создавать конструкции, характеризующиеся неклассической реакцией на приложенные воздействия. К таким материалам, в первую очередь, следует отнести однонаправленный углепластик высокой степени анизотропности. Использование моноклинных структур армирования при создании из слоев однонаправленного углепластика лопастей судовых движителей открывает возможность управления уровнем возникающей в них изгибно-крутильной связанности. Это позволяет создавать лопастные системы, адаптирующиеся к переменным условиям нагружения набегающим неоднородным потоком жидкости. Минимальная изгибно-крутильная связанность композитных лопастей в сочетании с включением в их состав слоев вибропоглощающего материала сопровождается снижением уровней вибрации судового движителя, прогнозирование которых представляет сложную междисциплинарную задачу, решаемую с помощью гидроупругих математических моделей.

В диссертации предложен интерактивный метод гидроупругого моделирования параметров динамического отклика композитной конструкции, в котором пользователь самостоятельно выбирает необходимую стратегию решения задачи взаимодействия. В отличие от предыдущих исследований, в данной работе выбор рациональных составов и структур армирования композитных лопастей осуществляется с учётом взаимодействия «жидкость-конструкция». При исследовании диссипативных характеристик неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей учитывалось как внутреннее трение в слоях разнородных материалов, так и гидродинамическое демпфирование.

Достоверность полученных результатов подтверждена хорошим согласованием расчётных и экспериментальных значений параметров динамического отклика исследуемых конструкций.

Разработанный интерактивный метод использован при выполнении работ ФГУП «КГНЦ» по государственным контрактам и договорам, а также при разработке двух элементов конструкции сборного судового движителя с адаптивными композитными

лопастями. Новизна этих элементов подтверждена двумя патентами Российской Федерации.

В автореферате говорится о перспективах создания адаптивных конструкций на основе использования эффекта связанности нормальных и сдвиговых деформаций и напряжений в моноклинных структурах, поэтому целесообразно пояснить, что понимается под понятием адаптивности конструкций и как используется упомянутый эффект.

Тем не менее, это замечание не отменяет значимости основных выводов диссертационного исследования.

Судя по автореферату, диссертация Ярослава Мстиславовича Любомирова представляет собой законченную и актуальную научную работу, в которой разработан метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем. Этот метод позволяет прогнозировать параметры динамического отклика и прочность адаптивных композитных лопастей судовых двигателей.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

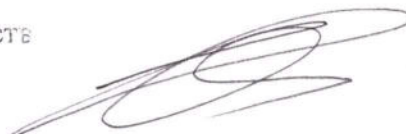
Отзыв составил:

Начальник отдела

общего проектирования,

ходовых и мореходных качеств

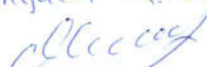
АО «ЦМКБ «Алмаз», к. т. н.



Никита Юрьевич Часовников

196128, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 50

office@almaz-kb.ru, 8 (812) 373-67-69

Получено 14.10.2024 № 10-766-7588-202
 О.В. Малышев



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



«Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов



«ПРОМЕТЕЙ»

имени И. В. Горынина
Государственный научный центр

16.10.2024 1674/17-26/13

на _____ от _____

ФГУП «Крыловский ГНЦ»

главному ученому секретарю
диссертационного совета
31.1.003.01,

Малышеву О.В.

Московское шоссе, 44, Санкт-Петербург, 196158

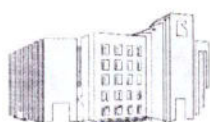
ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Любомирова Ярослава Мстиславовича на тему «**Интерактивный метод гидроупругого моделирования композитных лопастных систем**», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 - «Теория корабля и строительная механика».

Возрастающие требования к улучшению условий обитаемости судов, связаны, в том числе, с проблемой снижения уровней вибрации гребных винтов. Одним из перспективных подходов к решению указанной проблемы является применение судовых двигателей с лопастями из существенно анизотропных полимерных композитов. Целесообразность использования моноклинных композитных лопастей обусловлена их упругой адаптацией к переменным условиям нагружения набегающим неоднородным потоком воды, сопровождающейся снижением уровней вибрации. Кроме того, возможность введения в состав конструкции лопастей слоев вибропоглощающего полимера позволяет значительно снижать уровни амплитуд резонансных колебаний. Поскольку рациональное решение проблемы снижения уровней вибрации судовых двигателей за счет применения слоистых моноклинных композитных лопастей возможно лишь на основе использования методов математического моделирования, актуальность темы диссертации сомнений не вызывает.

21.10.2024 20 г.
19368-2024



НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»
191015, Россия, Санкт-Петербург, улица Шпалерная, дом 49
Телефон (812) 274-37-96, Факс (812) 710-37-56, mail@crism.ru, www.crism-prometey.ru
ОКПО 07516250, ОГРН 1037843061376, ИНН 7815021340/ КПП 784201001

Научная новизна исследования заключается в разработке интерактивного метода гидроупругого моделирования композитных лопастных систем. Этот метод позволяет с высокой точностью прогнозировать параметры динамического отклика, диссипативных характеристик и прочности неоднородных по толщине слоистых композитных конструкций, работающих в водной среде. Также следует отметить новизну в учёте влияния сопротивления внешней среды при выборе рациональных составов и структур армирования композитных лопастей, погружённых в водную среду.

Обоснованность метода обеспечивается использованием методов и положений теории упругости, теории вязкоупругости, механики композитов, аэрогидродинамики, методов и средств вычислительной механики сплошных сред в качестве основного аппарата математического моделирования. Достоверность прогнозирования параметров динамического отклика, диссипативных характеристик и прочности подтверждается хорошим соответствием расчётных и экспериментальных значений этих величин у исследуемых конструкций. Полученные результаты имеют практическое значение для снижения уровней вибраций судовых движителей.

По работе имеются замечания:

Автор ограничился сопоставлением расчетных полей напряжений с предельным состоянием композитных лопастей без проведения анализа механизмов разрушения и их изменение для рассмотренных структур армирования композитных лопастей.

Это замечание носит несущественный характер и не ставит под сомнение ценность и значимость результатов диссертационного исследования.

Судя по автореферату, диссертация Любомирова Ярослава Мстиславовича – законченная научно-исследовательская работа, в которой предложен интерактивный метод аэрогидроупругой оценки динамического отклика и прочности композитных конструкций с повышенными диссипативными характеристиками находящихся в нестационарном потоке.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Считаю, что Любомиров Ярослав Мстиславович заслуживает присуждение ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Я, Лишевич Игорь Валерьевич, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета.

Кандидат технических наук по
специальности 2.6.17.

Материаловедение (технические
науки), Зам. начальника НИК-11
НИЦ «Курчатовский институт» -
ЦНИИ КМ «Прометей»



подпись, дата

Лишевич Игорь
Валерьевич

Подпись к.т.н. Лишевича Игоря Валерьевича удостоверяю.
Начальник службы управления персоналом



Иванова Е. А.



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им.
В.И. Ульянова (Ленина)
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5 литера Ф,
Санкт-Петербург, 197022
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58;
e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381
ИНН/КПП 7813045402/781301001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной
деятельности СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
доктор технических наук, доцент
Семенов Александр Анатольевич



07 » 10 2024 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Любомирова Ярослава Мстиславовича** на тему «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»

Разработка методов междисциплинарного моделирования динамики композитных конструкций с высокими диссипативными характеристиками и испытывающие сопротивление внешней среды является актуальной и практически значимой задачей строительной механики. Разработанный в диссертации интерактивный метод гидроупругого моделирования прочностных, диссипативных характеристик композитных лопастей позволяет выбрать рациональную структуру армирования, которая придает лопастям свойства динамической адаптивности благодаря минимизации изгибно-крутильной связанности. Адаптивность в сочетании с высокими диссипативными характеристиками за счет включения в состав армирования лопасти слоя вязкоупругого материала привели к существенному снижению уровней динамического отклика композитных лопастей. Научная новизна диссертационной работы, заключенная в предложенном интерактивном методе, является основой разработки конструкций гребных винтов на качественно новом уровне, что подтверждают полученные патенты РФ. Результаты работы использованы в практических разработках в ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

Достоверность результатов диссертации обеспечена хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений параметров динамического отклика исследуемых конструкций.

Замечания по автореферату:

В описании интерактивного метода гидроупругого моделирования композитных лопастных систем не достаточно примеров преимуществ предлагаемого метода, например, в сравнении с методами оптимизации.

Не указаны научные конференции и семинары, на которых докладывались результаты диссертационной работы.

Сделанные замечания не изменяют справедливости основных выводов и положений, выносимых на защиту, и не отменяют положительной оценки научно-квалификационной работы, соответствующей специальности 2.5.17 «Теория корабля и строительная механика» и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842). Её автор, Любомиров Ярослав Мстиславович, обладает необходимой квалификацией и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Отзыв составил:

Блинов Юрий Иванович, доктор технических наук, ученое звание: профессор, профессор кафедры электротехнологической и преобразовательной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197022 г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, дом 5, литера Ф, телефон: (812) 346-29-83, эл. почта: yuri-50@mail.ru

Блинов Юрий Иванович
д.т.н., профессор



УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УЧ. СОВЕТА УНИВЕРСИТЕТА
СОЛОВЬЕВА Е.Б.





Акционерное общество
«Концерн «Морское подводное оружие —
Гидроприбор»

пр-т Большой Сампсониевский, д. 24 А, литер 3,
г. Санкт-Петербург, Россия, 194044
Тел.: +7 (812) 542-01-47, факс: +7 (812) 542-96-59,
E-mail: info@gidropribor.ru, www.gidropribor.ru
ОКПО 07529554 ОГРН 1069847557394
ИНН/КПП 7802375889/780201001



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
предприятия по науке АО «Концерн
«Морское подводное оружие —
Гидроприбор»
доктор технических наук, доцент

А.К. Филлимонов

« 16 » 09 2024г.

ОТЗЫВ

АО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор» на автореферат диссертации Любомирова Ярослава Метиславовича на тему «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»

Выбранная тема диссертации является актуальной, так как традиционные методы снижения вибрации гребных винтов практически требуют обновления. Необходим поиск новых материалов, которые позволяют снизить уровни вибраций судовых движителей. Для исследования автором предложен существенно анизотропный однонаправленный углепластик, использование которого позволяет создавать конструкции лопастей, адаптирующиеся к переменным условиям неоднородного набегающего потока жидкости за счет минимизации уровня изгибно-крутильной связанности. Кроме того, включение в состав слоистой структуры композитной лопасти слоев вязкоупругого материала сопровождается увеличением ее диссипативных характеристик, приводящих к снижению уровней вибрации. Проблема состоит в том, что прогнозирование характеристик адаптивных композитных лопастей необходимо выполнять путем рассмотрения процесса взаимодействия упругой конструкции с жидкостью, что является сложной междисциплинарной задачей.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке интерактивного метода гидроупругого моделирования параметров динамического отклика композитной конструкции, в котором могут меняться стратегии решаемой задачи. Автором также предложен уточненный 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. Поэтому при прогнозировании величин коэффициентов механических потерь неоднородных по толщине «мокрых» композитных лопастей показана степень вклада как внутреннего трения в компоновочных материалах, так и величина вклада гидродинамического демпфирования.

Достоверность полученных результатов подтверждена хорошим согласованием расчетных и экспериментальных значений собственных частот и собственных форм колебаний, коэффициентов

механических потерь, критических скоростей флаттера и дивергенции, кривых действия исследуемых конструкций.

Практическая значимость состоит в том, что использование интерактивного метода математического моделирования композитных лопастных систем позволяет минимизировать объемы экспериментальной проверки разрабатываемых конструкций судовых двигателей с адаптивными композитными лопастями.

Работа прошла апробацию, результаты работы опубликованы в большом количестве научных журналов, в том числе входящих в перечень ВАК. Получены два патента на изобретение.

По автореферату имеется одно замечание: в работе отмечено, что динамический анализ рабочих колес выполнялся в неоднородном турбулентном потоке с использованием параллельной стратегии совместного решения гидродинамической и упругой задач. Однако нет пояснений, как в гидродинамическом расчете учитывалось влияние вращения потока на поля давления и турбулентные характеристики.

Данное замечание не ставит под сомнение основные результаты работы автора.

Судя по автореферату, диссертация Любомирова Ярослава Метиславовича представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему. Автору можно дать рекомендацию не прекращать дальнейшие исследования.

Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» (утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор Любомиров Ярослав Метиславович заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.17 – «Теория корабля и строительная механика».

Начальник отделения VI –
начальник отдела 079,
кандидат технических наук

Е.В. Щукина

Тел. (812) 542-98-39

E-mail: info@glavpribor.ru

Даю согласие на передачу и обработку персональных данных

Подпись Елены Викторовны Щукиной заверяю

Ученый секретарь,

кандидат технических наук

К.Г. Погудин

Тел. (812) 292-01-47

E-mail: info@glavpribor.ru