

ОТЗЫВ

Официального оппонента кандидата технических наук

Миронова Михаила Юрьевича

на диссертацию **Норькова Евгения Сергеевича**

«Разработка методов расчета характеристик демпфирования общей вибрации судов с учетом гидродинамических сил волновой и вязкостной природы»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 - Теория корабля и строительная механика

Диссертационная работа Норькова Е.С. посвящена вопросам учета сопротивления при анализе вибрационных колебаний судового корпуса. Опыт эксплуатации судов показывает, что расчетное определение амплитуд вибрационных колебаний в ряде случаев существенно отличается от натуральных значений, что сказывается на правильности нормирования вибрации. Зависит это расхождение от неточности оценки влияния гидродинамических сил волновой и вязкостной природы на характеристики демпфирования. Связанность процессов движения судна по курсу, качки и вибрационных (деформационных) движений делают задачу по оценке параметров демпфирования собственно вибрационных колебаний весьма сложной. Пути решения этой проблемы являются как совершенствование расчетных моделей, так и проведение дополнительных экспериментов.

Во **Введении** работы на основании краткого обзора трудов отечественных и зарубежных ученых в области судовой вибрации делаются выводы об отсутствии практических методов расчета сил сопротивления общей вибрации корпуса и перспективности применения численных методов определения гидродинамических сил сопротивления. На основании выводов формулируется цель диссертационного исследования, а также приводятся (реферативно) обоснование актуальности, структурная схема работы, сведения об апробации, методах и достигнутых результатах.

В качестве замечания по этому разделу следует заметить, что обзорная часть, на взгляд оппонента, излишне краткая, и, например,

работам Д.М. Ростовцева (в частности, методу сечений, его достоинствам и недостаткам, весьма подробно исследованным) при анализе общей вибрации следовало бы уделить внимание. Хотелось бы видеть в обзоре упоминание имени А.И. Короткина, выполнившего большую работу по систематизации методик вычисления присоединенных вибрационных масс жидкости, а также имена специалистов по численным методам в гидроупругости Григорьева, Березницкого, зарубежных ученых современности. Часть обзорной информации в виде ссылок автор распределил по последующим главам.

В 1 главе диссертант классифицирует энергопотери и гидродинамические силы демпфирования и формулирует математическую модель вынужденных изгибных колебаний корпуса судна как нестационарное линейное уравнение колебаний непризматической балки, разрешаемое методом разложения по собственным формам. Полагая формы ортогональными, можно перейти к «расщепленной» системе нестационарных уравнений относительно главных координат. В этих уравнениях обобщенные коэффициенты сопротивления являются суперпозицией коэффициентов разной природы (внутреннее конструкционное сопротивление, транцевое демпфирование, волновое, вязкостное и брызговое «ходовое» сопротивление и, наконец, поперечное вязкостное демпфирование). Отыскивать указанные коэффициенты и предлагается, видимо, на основе численных методов и специальных модельных экспериментов. *В качестве замечания по этой главе хотелось бы как раз указать на отсутствие четко сформулированного приведенного выше вывода, что улучшило бы понимание логики диссертационной работы, особенно в 4 главе.*

Во 2 главе автором рассмотрено определение гидродинамических сил на основе численного метода конечных объемов, реализованного в коммерческом программном продукте CFX. Структура главы предполагает собственное обзорное введение, где противопоставляются численные методы на основе МГИУ и на основе прямого решения уравнений гидродинамики. Отмечается преимущество последних как позволяющих в полной мере учесть

особенности конструкции при обтекании. *К сожалению*, упомянутые «метод полос» и «метод панелей» не пояснены. Отмечается также существенно более высокий уровень требований к возможностям вычислительной техники со стороны прямых методов.

В первом параграфе главы указывается на имеющее место в современной практике несоответствие точности решения 1-й и 2-й проблем прочности. Указано, что воспроизвести поле нагрузок на судно на основе локальных экспериментальных замеров или на основе известных интегральных величин невозможно. Решение проблемы видится в широком применении численных методов для моделирования поведения окружающей среды, а не только самой конструкции, и корректном сопряжении моделей среды и конструкции. Завершает параграф обзор моделей вычислительной гидродинамики. *Следовало бы более четко сформулировать здесь преимущества метода конечных объемов*, выбранного автором в качестве основного средства последующих исследований.

Во втором параграфе главы 2 приводятся теоретические положения решения уравнений Навье-Стокса методом конечных объемов.

В 3-м и 4-м параграфах автор предлагает численную модель на примере модели корпуса (твердого тела) контейнеровоза, обтекаемой турбулентным потоком жидкости (по принципу обращенного движения). Обосновывается выбор размеров расчетного объема жидкости и плотности сетки с учетом особенностей конструкции, а также возможных волновых явлений и процессов в погранслое. Верификацию результатов модельного расчета Е.С. Норьков выполняет путем сопоставления с опубликованными данными экспериментов и расчетов корейских исследователей института KRISO по аналогичной модели. Основной верификационный параметр – волновой профиль на корпусе. Показана сходимость расчета методом конечных объемов при измельчении сетки к результатам эксперимента на большей части длины корпуса.

В пятом параграфе автор расширяет применимость полученной модели по диапазону числа Фруда, вводя подвижность модели обтекаемого тела по всплытию и дифференту, а также учитывая возможность глиссирования. Получена хорошо повторяющая результат эксперимента зависимость силы продольного интегрального сопротивления движению от числа Фруда.

Наконец, в 6 параграфе главы 2 автор дает характеристику необходимым при столь объемных вычислениях кластерным (параллельным технологиям) и в 7 параграфе формулирует ряд рекомендаций по моделированию связанных задач движения в жидкости твердотельных объектов с учетом вышеуказанных эффектов.

В качестве замечаний по данной главе следует выделить:

- описательный характер приводимых гидродинамических моделей,
- малое число ссылок на источники, не являющиеся описанием используемых программных продуктов,
- неравноценность рекомендаций по моделированию.

3-я глава диссертации посвящена анализу сил сопротивления корпуса при поперечном обтекании с помощью численных методов 2-й главы. В силу проблематичности прямого решения в 3-х-мерной постановке автор переходит к методу сечений и рассматривает заданные колебания плоских контуров в набегающем потоке жидкости с учетом таких ранее малоизученных эффектов как срыв вихрей.

Адаптация расчетного аппарата к решению таких задач выполнена автором в первом параграфе главы на примере расчета кармановой дорожки в широком диапазоне чисел Рейнольдса. Подобраны параметры расчетной сетки, дающие хорошее согласование с известными расчетными и экспериментальными данными на установившихся режимах.

Переходя во втором параграфе к обтеканию контура сечения судового корпуса, автор получает величины гидродинамических сил, с помощью гармонического анализа отделяя в 3-м параграфе инерционные силы от сил сопротивления. *Следует отметить излишнюю, по мнению оппонента,*

подробность в описании специфических настроечных опций программного продукта. В качестве рекомендаций желательно было бы привести диапазоны показателей, инвариантных по отношению к используемому ПО.

Следует отметить разработку автором собственной специализированной вспомогательной программы, формирующей на основе решения задач обтекания информацию о гидродинамических силах.

Разделение сил на инерционные и гидродинамические производится путем разложения полученных нестационарных усилий в ряды Фурье по косинусам и синусам при задаваемой базовой гармонике движения контура.

В заключительном параграфе при помощи разработанного подхода исследуется влияние на вертикальное сопротивление движению контура малых выступов, имитирующих профили скулового килля.

В качестве основного замечания по данной главе хочется высказать отсутствие информации об учете в методе плоских сечений продольного перетекания жидкости или обоснования его неучета.

Последняя, **4-я глава** посвящена определению всех составляющих сопротивления, входящих в сформулированную в 1-й главе модель общей вибрации корпуса, и их взаимосвязи. Автором используется дополнительное ПО для оценки сил трения. Оценка составляющих сопротивления производится на модели глиссирующего судна, предложенной во 2-й главе путем определения полного сопротивления по результатам эксперимента и расчета, а также известных составляющих, так, что неизвестные составляющие сопротивления представляют собой разность. На основе полученных численными расчетами обтекания полного корпуса и «колеблющихся» контуров величин показателей сопротивления предлагается практический метод оценки сил гидродинамического демпфирования волновой и вязкостной природы как коэффициентов сопротивления балочной модели. В качестве верификации метода производится сопоставление расчетных и экспериментальных данных о составляющих сопротивления.

Описаны условия проведенного эксперимента для обтекаемой вибрирующей модели.

В заключении резюмируются основные результаты работы.

Помимо указанных замечаний в контексте глав, общее замечание следует высказать об отсутствии формулировок окончательных выводов. Следует, видимо, понимать, что метод практической оценки сил сопротивления ходовой вибрации получен и применен для указываемых в тексте диапазонов гидродинамических критериев.

Общая оценка работы.

Целью диссертационной работы Норькова Е.С. является оценка влияния гидродинамических сил сопротивления воды движению судна, имеющих волновую и вязкостную природу, на демпфирование общей вынужденной вибрации судов (включая суда переходного режима движения и глиссирующие суда) и разработка практических методов расчета сил гидродинамического сопротивления общей вибрации.

Актуальность темы диссертационной работы.

В диссертационной работе Норькова Е.С. показано, что учет такого явления, как гидродинамическое демпфирование, обусловленное вызванными ходом судна силами волновой и вязкостной природы, а также вихреобразованием, может оказывать влияние на общую вибрацию корпуса судна и его конструкций.

Содержание и оформление работы.

Содержание работы соответствует специальности 05.08.01 - Теория корабля и строительная механика. Работа представляет собой законченное научное исследование и оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Практическая значимость.

В результате диссертационного исследования автором разработан метод расчета амплитуд вынужденной общей вибрации судов (включая суда переходного режима движения и высокоскоростные суда), обладающий повышенной точностью благодаря учету сил гидродинамического

сопротивления волновой и вязкостной природы. Разработаны практические методы расчета характеристик гидродинамического демпфирования.

Результаты работы автора были использованы лабораторией прочности и надежности конструкций ФГУП «Крыловский государственный научный центр» при выполнении ОКР «Процессор-Плюс» и ОКР «Синтез» в 2012г., а также в учебном процессе при подготовке студентов по специальности «Прикладная механика» в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете при чтении курса «Гидроаэроупругость». Разработана программа для ЭВМ «Программа расчета гидродинамических сил, действующих на плоский контур, который совершает вертикальные гармонические колебания на поверхности жидкости», на которую получено свидетельство о государственной регистрации №2011618708.

Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Достоверность научных положений и выводов автора обеспечивается корректностью математических выкладок, обоснованностью используемых допущений, результатами экспериментальной проверки разработанных методов, сравнением с некоторыми результатами других авторов.

Основные научные результаты.

1. Верифицированный метод расчета амплитуд вынужденной общей вибрации судов с учетом ее демпфирования гидродинамическими силами волновой и вязкостной природы, позволяющий повысить точность расчетов волновой вибрации до 30 %;
2. результаты численного анализа влияния скорости судна, тона колебаний, формы поперечного сечения судна, формы скуловых килей и относительной осадки на характеристики демпфирования, вызванного гидродинамическими силами волновой и вязкостной природы. Установлены диапазоны сильного влияния перечисленных факторов на амплитуды общей вынужденной вибрации судов;
3. практический метод расчета гидродинамических сил сопротивления общей вибрации судов (включая суда переходного режима движения и

глиссирующие суда), основанный на использовании приближенных формул, позволяющих упростить и ускорить выполнение расчетов общей вибрации.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 99 страниц печатного текста, включает 30 рисунков, 16 таблиц и 78 литературных ссылок.

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 11 работ. Из них 2 работы в личном авторстве, доля автора в остальных – 50%. В изданиях, определяемых Перечнем ВАК РФ, опубликовано 4 статьи. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Указанные в отзыве **замечания** не снижают практической ценности и научной значимости работы.

Заключение.

Представленную работу оцениваю как завершенную научно-квалификационную работу, вносящую определенный вклад в разработку методов расчета амплитуд вибрации судов.

Диссертация по ее актуальности, практической ценности и полученным результатам полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Норьков Евгений Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика.

Официальный оппонент –
кандидат технических наук,
доцент кафедры строительной механики корабля СПбГМТУ
тел. (921) 3440451, e-mail kafedra_smk@mail.ru



М.Ю. Миронов

Подпись М.Ю. Миронова заверил:

Ученый секретарь ученого совета СПбГМТУ



А.И. Фрумен