

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Савина Л. А.  
о диссертационной работе Насонова Дмитрия Александровича  
«Методология расчета и динамический анализ турбозубчатых агрегатов  
главного привода судовых гребных винтов»,  
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности: 01.02.06 – Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры

Одним из компонентов актуальности диссертационной работы является факт ее выполнения в рамках НИИ, грантов и договоров со специализированными организациями, что в определенной мере отражает социально-экономическую значимость исследований. К сожалению, в материалах диссертации и автореферата отсутствуют сведения о проведении подобных работ за исключением информации о проведении совместных экспериментальных исследований на производственной базе Калужского турбинного завода. С практической точки зрения актуальность представленных исследований связана прежде всего с наличием малоизученных вопросов в глобальной научно-технической области, которую представляет собой динамика турбинных приводов силовых установок транспортных и энергетических систем.

Предложенная автором формулировка научной новизны не является сильной стороной рассматриваемой диссертационной работы. Во – первых, неясно почему положение научной новизны и выносимые на защиту научные результаты (стр. 6 автореферата и стр. материалов работы) не имеет ни формального, ни содержательного единства, во – вторых в них отсутствует информация о сути разработанных моделей, методик, алгоритмов, а также отличительные особенности научной новизны каждого из положений. В то же время, материалы диссертаций содержат достаточно большой объем новой научной информации, которую в общем виде можно сформулировать как решение комплекса задач по анализу динамики и разработке инструментария проектирования малопумных силовых приводов, двигателей кораблей, включая турбину, планетарный зубчатый редуктор, валопровод с предохранительными и соединительными элементами.

Достоверность полученных соискателем научных результатов основывается на применении современного и широко распространенного в научных и инженерных исследованиях метода конечных элементов. Следует отметить хорошее знание соискателем данной предметной области и его вклад в поиск и обоснование генераторов исходных данных для стержневых конструкций, пластин различной конфигурации, дисков, профильных частей лопаток. Разработанные модели прошли практическую апробацию в составе разработанного автором программного комплекса. Проведенные на испытательном

стенде ОАО КТЗ экспериментальные исследования, а также сравнительный анализ расчетных и опытных данных также свидетельствует о высоком уровне достоверности результатов работы.

Практическая ценность диссертационной работы связана с разработкой, внедрением и использованием специализированного программного комплекса для проведения динамических расчетов элементов двигательных установок с турбинным приводом, механическими передачами на базе планетарных редукторов и валопроводами с различными видами муфт. Сформированы и экспериментально апробированы рекомендации, направленные на снижение уровня вибраций и контактных напряжений в зацеплениях планетарных редукторов. Особо следует отметить использование данных рекомендаций в перечне правил конструирования малошумных редукторов силовых приводов перспективных военных судов.

#### Анализ содержания работы

Можно утверждать, что структура рассматриваемой диссертации далека от совершенства. Это связано как с общей компоновкой работы, так и изложением материала отдельных разделов. Например, первый раздел представлен единым блоком. Более логично и рационально здесь было провести детальный анализ условий работы приводов гребных винтов, сформировать предъявляемые к ним требования, рассмотреть основные кинематические, силовые и динамические характеристики, т.е. конкретизировать список рассматриваемых вопросов. С другой стороны, в работе присутствует излишнее дробление материала при рассмотрении во втором разделе (стр. 41- 99) отдельных элементов планетарных редукторов. Не совсем рационально, с точки зрения целостного восприятия информации, соискатель рассматривает расчет динамических характеристик во втором и четвертом разделах. При этом текстовая и графическая часть представленных материалов написана технически грамотным языком и хорошо иллюстрирована.

В первой главе автором выполнен обзор работ в области конечноэлементного анализа динамики роторных систем. Подробно рассмотрена проблематика динамических расчетов применительно к объекту конкретного предприятия. Отдельно следует остановиться на моделировании опор роторов. Это касается как подшипников скольжения осей сателлитов, так и опор ротора турбины. При моделировании опор редуктора автор использует усредненные значения коэффициентов жесткости и демпфирования с дальнейшим «уточнением их значений методом идентификации, т.е. путем сравнения расчетных данных и результатов эксперимента». С одной стороны сложно назвать этот подход идентификацией, с другой – можно констатировать чрезмерный уровень приближенности к реальным значениям. При моделировании динамики ротора турбины характеристики опор также учитываются весьма приблизительно. Во втором разделе наряду с подробным анализом отдельных элементов привода рассмотрен учет контактных взаимодействий в

узлах и собственные колебания редуктора. Построение расчетной модели ротора турбины и особенностей колебаний роторной системы приводятся в третьем разделе. В следующем разделе апробирована новая модель турбозубчатого агрегата. Отмечается хорошее согласование результатов экспериментальных исследований с результатами, полученными с использованием других моделей. Показана эффективность мероприятий, направленных на достижение взаимной компенсации источников возбуждения в зубчатых зацеплениях планетарных передач большой мощности. Оценен теоретически возможный эффект от данных мероприятий. Подтверждена эффективность мероприятий, по достижению равномерного распределения мощности по параллельным потокам в планетарных редукторах. Исследовано влияние вызванных несимметричностью конструкции перекосов в зубчатых зацеплениях на виброактивность редуктора. Сделаны рекомендации по восстановлению жесткостной диссимметрии сателлитного узла в плоскости его продольного сечения и противофазного возбуждения сателлитов. Автором также предложены пути выравнивания нагрузки по сателлитам. В пятом разделе автор приводит описание программного комплекса для исследования динамики рабочих колес турбоагрегатов. Выполнен обзор публикаций по исследованию колебаний лопаток, рабочих колес и применению МКЭ в динамических расчетах подобных систем. Представлены результаты расчета собственных колебаний рабочих колес турбоагрегатов, выпускаемых Калужским турбинным заводом. На примере разработанного комплекса даны некоторые рекомендации по созданию отечественного узкоспециализированного импортозамещающего программного обеспечения. Исследована корректность использования в расчетах свойств циклической симметрии. Сформулированы критерии корректности использования данных свойств. Автор делает вывод о необходимости учета связанности системы при оценке форм резонансных колебаний для циклически симметричных систем. Сделано предположение по оценке степени связанности циклически симметричных систем по их частотным функциям.

#### Анализ выводов по результатам исследований

Заключение и выводы по результатам исследований в целом соответствуют цели и поставленным в работе задачам. В автореферате (с. 23) и материалах работы (с. 224) представлены 5 выводов, которые носят констатирующий характер и содержат информацию о проведенных исследованиях, разработанных методиках и программах для расчета динамических характеристик турбозубчатых агрегатов. Изложенные положения достоверны, достаточно обоснованы в отдельных разделах диссертации, обладают новизной и практической ценностью. К сожалению, в выводах отсутствует информация о конкретных научных результатах, которые, несомненно, имеют место быть в диссертационной работе.

При анализе работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. Одним из базовых объектов рассмотрения диссертационной работы является конструкция двухступенчатого планетарного зубчатого редуктора с плавающей центральной шестерней и податливыми элементами крепления, который много лет производится на Калужском турбинном заводе после многочисленных экспериментальных исследований и опытной доводки. Представляется, что более рационально в докторской диссертации рассматривать различные варианты перспективных структурно-функциональных схем планетарных редукторов и компоновки элементов привода.

2. Нельзя не обратить внимание на формулировку научной новизны и выносимых на защиту положений (с. 225-226 диссертации). Складывается впечатление, что их содержание совершенно не взаимосвязано. При этом практически во всех положениях научной новизны отсутствует описание отличительных особенностей.

3. В разделе «Методы исследования» (с. 5 автореферата), автор перечисляет «идеализацию, формализацию, дедукцию, обобщение» и т.д., которые в большей степени представляют собой процедуры и операции, используемые на предварительных стадиях моделирования и при анализе результатов. При этом в диссертации отсутствуют такие необходимые в процессе исследований категории как валидация, планирование эксперимента, рандомизация, математико-статистические методы, которые необходимы для обеспечения достоверности моделирования и полученных результатов.

4. Утверждение автора об исчерпании возможностей снижения уровней вибрации редуктора путем повышения точности зубчатых колес и модификации профилей зубьев (с. 9-10 автореферата, с. 13 диссертации) не вполне обосновано и объективно. Повышение кинематической точности, плавности, параметров бокового зазора, пятна контакта и шероховатости рабочих поверхностей, безусловно, остаются одним из главных факторов, определяющих виброшумовые характеристики приводов. Считаю, что данное утверждение в какой-то мере выражает стремление автора повысить значимость и актуальность проведенных исследований. При этом автор в тексте диссертации констатирует необходимость совершенствования сборочных операций и чистовой механической обработки зубчатых колес. В данном случае более рационально вести речь о комплексном подходе, включающем и решение технологических вопросов.

5. При формировании математических моделей элементов турбозубчатого агрегата отсутствует предварительный анализ влияния отдельных факторов и физических процессов для принятия обоснованных допущений, в том числе, с использованием безразмерных комплексов для выявления значимости гермических эффектов, диссипативных сил и т.д.

## Заключение

Проведенные в диссертационной работе исследования находятся в русле современной парадигмы научно-инженерной деятельности и содержат соответствующий набор теоретических и экспериментальных методов. Диссертация апробирована на научных конференциях и специализированных семинарах. Публикации по теме исследования имеют достаточно высокий уровень и отражают основное содержание диссертации. Материалы диссертационной работы и автореферата изложены технически грамотным языком, что свидетельствует о высоком научном и методическом уровне соискателя.

Возвращаясь к общей оценке работы, принимая во внимание её достоинства и отмеченные недостатки, следует отметить, что рассматриваемая диссертация имеет высокий научный уровень и представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование, в котором представлено решение крупной научной проблемы по совершенствованию турбинных приводов двигательных и энергетических установок на основе разработанной методологии и инструментария расчета. Считаю, что рассматриваемая диссертационная работа отвечает требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор – Насонов Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности: 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедры «Мехатроника и  
международный инжиниринг»



Л.А. Савина

Подпись д.г.н., профессора Савина Л.А. заверяю:

Проректор по научной работе  
I осуниверситета-УИИК



С.Ю. Радченко

24.11.2014