

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 222.001.01
НА БАЗЕ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«ВСЕРОССИЙСКИЙ ДВАЖДЫ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от *11 декабря 2014 года № 7*
О присуждении **Шатохину Виктору Фёдоровичу** ученой степени
доктора технических наук.

Диссертация «Колебания роторов турбоагрегатов с обкатом ротором статора при задеваниях (методы математического моделирования и программные средства)», на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 - «Турбомашины и комбинированные турбоустановки» представлена в виде рукописи и принята к защите 04 сентября 2014 года протокол № 5 диссертационным советом Д 222.001.01 на базе Открытого акционерного общества «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» (ОАО "ВТИ"), г. Москва, ул. Автозаводская, д.14, 115280, *приказ № 156/нк от 01 апреля 2014 года.*

Соискатель Шатохин Виктор Фёдорович 1939 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Расчетное определение динамических характеристик многоопорных валопроводов мощных турбоагрегатов на фундаменте» защитил в 1972 году, в диссертационном совете, созданном на базе Московского ордена Ленина энергетического института (МЭИ), работает ведущим инженером-конструктором-разработчиком Специального конструкторского бюро (СКБ) ОАО «Калужский турбинный завод» (г. Калуга). *(Предприятие входит в ОАО «Силовые машины» - крупнейшую энергомашиностроительную компанию России.*

Диссертация выполнена в СКБ ОАО «Калужский турбинный завод».

Научный консультант – доктор технических наук Костюк Аскольд Глебович, заслуженный деятель науки и техники, профессор кафедры «Паровых и газовых турбин» Института энергомашиностроения и механики МЭИ.

Официальные оппоненты:

Банах Людмила Яковлевна – доктор технических наук, главный научный сотрудник Института машиноведения им. ак. А.А. Благонравова РАН;

Леонтьев Михаил Константинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Конструкция и проектирование двигателей» Московского авиационного института (ФГБОУ ВПО НИУ «МАИ»);

Урьев Евгений Вениаминович – доктор технических наук, профессор, Лауреат премии Правительства России в области науки и техники, профессор кафедры «Турбины и двигатели» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова», Санкт-Петербург в своем положительном заключении, подписанном Хоменком Л.А., д.т.н., заместителем генерального директора ОАО НПО «ЦКТИ», Ковалёвым И.А, к.т.н., заместителем заведующего отделом паровых турбин и утвержденном директором ОАО НПО «ЦКТИ» д.т.н. Михайловым В.Е., указала, что диссертация является законченным научным исследованием, направленным на решение крупной инженерно-технической проблемы, имеющей большое хозяйственное значение для развития электроэнергетики страны, выполненным лично, под руководством и при непосредственном участии автора на современном научно-техническом уровне и отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям и соответствует специальности 05.04.12 «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», а её автор Шатохин Виктор Фёдорович достоин присуждения ему учёной степени доктора технических наук.

Соискатель имеет 43 опубликованных работы: в том числе по теме диссертации – 41 работа; опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 15 работ, в сборниках докладов всероссийских и международных конференций – 18 публикаций, 1 патент на изобретение. Программный комплекс исследования свободных, вынужденных колебаний и устойчивости многоопорных роторов турбоагрегатов передан в Госфонд алгоритмов и программ и опубликован в сборнике Госфонда, 8 публикаций в других научных журналах. Самостоятельными являются 80 % опубликованных материалов.

В публикациях полностью освещено содержание диссертации: физические и математические модели, методы определения реакции роторов турбоагрегатов на воздействие разных физических факторов, разработаны методы исследования и показаны возможности погашения опасного и малоизученного явления обката ротором статора, получены результаты исследований колебаний реальных роторных конструкций с задеваниями и без задеваний о статор, даны рекомендации по уменьшению опасных последствий контактного взаимодействия ротора со статором.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Ведущие рецензируемые научные журналы из перечня ВАК

1. Костюк, А.Г. Колебания турбоагрегата на фундаменте, вызываемые неуравновешенностью валопровода / А.Г. Костюк, В.Ф. Шатохин // Теплоэнергетика. – 1971. – № 12. – С. 79 – 82.

На основе разработанного метода и программ для ЭВМ приведены результаты моделирования колебаний трёх и семиопорного роторов турбоагрегатов (ТА). Получены спектры разложения и АЧХ вынужденных колебаний роторов на гибком фундаменте. Статор-фундамент турбоагрегата представлен двухмассовыми моделями. Параметры заменяющих моделей по каждой опоре определяются по экспериментальным динамическим податливостям прототипов ТА. Результаты моделирования сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными.

2. Шатохин, В.Ф. Численный анализ колебаний турбоагрегата в случае импульсного кинематического воздействия / В.Ф. Шатохин // Вестник машиностроения. – 2008. – № 8. – С. 14 – 20.

Приведен метод и результаты моделирования нестационарных колебаний ротора ТА на многомассовых опорах при детерминированном импульсном воздействии (контактном или неконтактном взрыве). Сопоставление полученных перемещений и ускорений с допускаемыми позволяет судить о возможности использования изделия после воздействия.

3. Костюк, А.Г. Движение неуравновешенного ротора с задеванием о статор / А.Г. Костюк, В.Ф. Шатохин, О.А. Волоховская // Теплоэнергетика. – 2012. – № 2, – С. 3 – 11.

Приведен метод и результаты моделирования нестационарных колебаний ротора ТА после внезапной разбалансировки с задеваниями о податливый статор и исследованием особенностей развития малоизученного явления обката ротором статора.

4. Шатохин, В.Ф. Развитие обката неуравновешенного ротора по статору / В.Ф. Шатохин // Электрические станции. – 2013. – № 11. – С. 17 – 28.

На основе математического моделирования нестационарных колебаний ротора после его внезапной разбалансировки рассмотрены некоторые особенности развития обката многоопорного тротора по статору и позиционные силы, возбуждающие асинхронный обкат в случае контакта вращающегося ротора со статором, аналогично силам в масляной плёнке подшипников скольжения или аэродинамическим силам рабочего потока в проточной части и уплотнениях турбины, вызывающим самовозбуждающие колебания ротора. Дана характеристика позиционных сил (в форме коэффициентов жёсткости), ответственных за возбуждение и поддержание асинхронного обката, развитие которого способно привести к опасным последствиям, вплоть до разрушения турбоагрегата

5. Шатохин, В.Ф. Исследование развития обката ротора по статору в условиях разного быстродействия систем защиты турбоагрегата // Теплоэнергетика. – 2014. – № 7. – С. 53 – 62.

Рассматривается возможность стабилизации развивающегося асинхронного обката ротором статора в условиях срабатывания систем защиты разного быстродействия. Развитие асинхронного обката ротором статора возможно в случае контакта вращающегося ротора со статором при больших амплитудах вибрации, вызываемых внезапной разбалансировкой ротора, вынужденными или самовозбуждающимися колебаниями ротора и др. причинами. Опасность асинхронного обката связана с практически мгновенным развитием самовозбуждающихся колебаний ротора при контакте со статором и опасными для целостности турбоагрегата (ТА) амплитудами колебаний ротора, силами взаимодействия между ротором и статором.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от различных предприятий, связанных с тематикой диссертационной работы.

Все отзывы положительные.

Основные замечания следующие:

1. Ленинградский металлический завод, подписанный Главным конструктором СКБ «Турбина», к.т.н. Лисянским А.С. и Начальником сектора вибрационных исследований и наладки турбоагрегатов, к.т.н. Шкляровым М.И.

1. Хорошо известно, что задачи моделирования нестационарных колебаний требуют солидных вычислительных затрат, однако в автореферате не приводятся данные о длительности произведённых расчётов, а также о способах сокращения объёмов вычислений.

2. ОАО НПО "Сатурн", г. Рыбинск, подписанный Главным техническим аудитором по конструкционной прочности, д.т.н., старшим научным сотрудником Михайловым А.Л. и Генеральным конструктором, д.т.н. Шмотиным Ю.Н.

1. К сожалению, из автореферата не видно, как учитывается в математической модели жесткость конструктивных элементов самого ротора. Её определение – это самостоятельная сложная задача, а от конструктивного исполнения ротора будут зависеть его модальные параметры: демпфирование, частоты и формы собственных колебаний, которые могут повлиять на явление обката в зависимости от режима работы ТА.

3. Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск, подписанный заведующим кафедрой "Авиационные двигатели" д.т.н., доцентом Ремизовым А.Е. и проректором по науке и инновациям, д.т.н., профессором Кожиной Т.Д.

1. Соискателю удалось совместить упругую деформацию ротора с пластической деформацией в области контакта ротора и статора. Однако следует признать, что несмотря на постоянное сокращение доли аналитических методов исследования процессов в ГТД именно они позволяют наиболее глубоко понять природу и свойства исследуемых процессов.

2. В автореферате недостаточно раскрыт и обоснован механизм моделирования различного взаимодействия с корпусом бандажированных и небандажированных рабочих лопаток, а также, не понятно как задаются свойства комбинированных и многослойных корпусов.

3. Представляется спорным утверждение соискателя (стр. 39 автореферата) о том, что «...достоверность математического моделирования колебаний роторов .. обосновывается примерами последствий катастрофических разрушений турбоагрегатов...».

4. ОАО «Силовые машины», подписанный заместителем генерального директора – техническим директором, член-корреспондентом РАН, д.ф.-м.н. Петреней Ю.К. и начальником исследовательского отдела натурных испытаний, учёным секретарём НТС ЛМЗ, к.т.н. Некрасовым А.Л.

1. В автореферате не указан выбранный метод интегрирования системы уравнений по времени.

5. Kalifornia, Los Angeles, подписанный Фридманом Владимиром Марковичем, бывшим руководителем сектора динамики и прочности турбо и гидрогенераторов

Ленинградского объединения «Электросила», проф. кафедры «Механика и процессы управления» Ленинградского политехнического института, заведующим лабораторией «Динамика и прочность электро- и энергомашин» Института проблем машиноведения РАН:

1. Контакт между ротором и корпусом (статором) приводил к тяжелейшим разрушениям энергоагрегатов и ни о каком исследовании вибрационного состояния агрегата после контакта ротора и статора речи не может быть.

2. В электромашиностроении существует важная проблема вибрационного поведения асинхронного двигателя большой мощности в случае, когда в рабочем режиме может возникнуть контакт между наружной поверхностью вращающегося ротора и внутренней поверхностью статора. Эта ситуация аномальная, но нередко встречающаяся, поскольку, в силу принципа работы асинхронного двигателя, воздушный зазор между ротором и статором выбирается минимальным. Представляло бы несомненный интерес комплексное изучение указанной проблемы, включая оценку возможной тепловой деформации ротора и действие сил одностороннего магнитного притяжения в сочетании с расчетом вибрационного состояния ротора в режиме обкатки или проскальзывания.

6. Тамбовский государственный технический университет, подписанный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника» Жуковым Н.П. и к.т.н., профессором кафедры Ляшковым В.И.

1. Основным требованием к любой математической модели является ее адекватность реальной действительности. Как доказательство такой адекватности на рис. 35 и 36 приводятся результаты численного и физического экспериментов. Однако сопоставление этих результатов позволяет сделать заключение об адекватности модели только на качественном уровне. В реферате не приведены никакие, даже самые простые числовые оценки, позволяющие судить о степени адекватности модели.

7. Брянский государственный технический университет, подписанный заведующим кафедрой «Тепловые двигатели», к.т.н., доцентом Роголёвым В.В., доцентом кафедры, к.т.н. Осиповым А.В. и проректором по научной работе, к.т.н., доцентом Сканцевым В.М.

1. Автор показывает опасность развития асинхронной прецессии (асинхронного обката) и силы его вызывающие, однако какие силы поддерживают синхронную прецессию не показано.

2. Неясно, почему линии, характеризующие формы колебаний валопровода (рис. 31) имеют изломы, по крайней мере, в двух сечениях.

8. Калужский филиал МГТУ им. Баумана, подписанный заведующим кафедрой тепловых двигателей и теплофизики, к.т.н., доцентом Жиновым А.А. и к.т.н., доцентом Сидоровым А.А.

1. Ничего не сказано о возможности применения полученных математических моделей и программных средств для исследования динамики роторов газотурбинных двигателей (ГТД), в которых используются подшипники качения и высокие скорости вращения.

9. Национальный исследовательский университет «МЭИ», подписанный заслуженным деятелем науки и техники, д.т.н., профессором кафедры паровых и газовых турбин Трухнием А.Д.

1. Не ясно, каким образом учитывалась в математической модели жесткость масляного слоя в зазорах подшипников.

10. Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного национальной академии наук Украины (г. Харьков), подписанный заведующим отделом вибрационных и термометрических исследований, д.т.н., профессором, лауреатом Государственной премии Украины в области науки и техники Шульженко Н.Г. и учёным секретарём института к.т.н., ст. научным сотрудником Курской Н.М.

Замечаний нет.

11. Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» (г. Запорожье, Украина), подписанное начальником отдела прочностных расчётов и исследований, к.т.н. Шереметьевым А.В.

1. На основании определения сил, возбуждающих асинхронный обкат, автору работы следовало бы разработать рекомендации для конструкторов по уменьшению коэффициента трения в точке предполагаемого контакта ротора о статор.

12. ЗАО «Институт энергетического машиностроения и электротехники» (г. С-Петербург), подписанный генеральным директором Спириным В.В., Главным конструктором турбин и турбоагрегатов, к.т.н. Ерохиным С.К. и ведущим конструктором проекта, к.т.н. Ивановым Н.М.

1. В диссертации показано, что частота прецессии при обкате может меняться в широком диапазоне и приближаться к собственной частоте системы ротор - опоры - статор. Из автореферата недостаточно ясно какие практические рекомендации дает автор по отстройке от резонанса ротор-опоры существующих машин для эффективного погашения возможного обката.

2. На наш взгляд в автореферате желательно привести больше экспериментальных данных по режимам обката турбомашин с целью оценки соответствия принятых моделей взаимодействия реальным условиям.

13. ЗАО "Научно-производственное внедренческое предприятие «ТУРБО-КОН», подписанное Главным конструктором-заведующим Межведомственной научно-исследовательской лабораторией им. В.А. Фёдорова (ЗАО НПВП "Турбокон"), д.т.н. Кирюхиным А.В. и зам. директора по науке, д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки и техники, Лауреатом Государственной премии России в области науки и техники Мильманом О.О.:

1. Реальную границу развитых автоколебаний следует определять в нелинейной постановке. Этот факт необходимо учитывать при проведении расчётов реальных турбин, о чём необходимо было бы упомянуть в автореферате.

2. Требуется пояснение утверждения автора о том, что податливость статора с учётом его демпфирования может ослаблять или даже предотвращать автоколебания (стр. 16, 18, 23 автореферата). Известно, что чем ниже первая собственная частота колебаний рассматриваемой системы, тем ниже лежит граница устойчивой работы. Вместе с тем демпфирование, как справедливо показывает автор, является одним из действенных средств ослабления и предотвращения колебаний, но не работает при абсолютно жёстком статоре. Таким образом, по-видимому, существует какой-то оптимум между величиной демпфирования в статоре и его податливостью, при котором минимизируется опасность возникновения развитых колебаний, и необходима методика поиска этих оптимальных параметров.

3. Практическая ценность работы несомненно бы увеличилась, если бы автор привёл конкретные рекомендации по выбору (расчётному поиску) параметров, обеспечивающих отсутствие асинхронного обката - величины податливости и демпфирования статора, собственных частот роторной системы, зазоров в проточной части и подшипниках и т.п. так, как он делает при разработке рекомендаций по доработке быстродействия системы защиты.

14. Тутаевский филиал «Рыбинского государственного авиационного технического университета» (г. Тутаев, Ярославской области), подписанный директором филиала, к.ф.-м.н., доцентом Ершовым В.И.

Замечаний нет.

15. Ростовский государственный строительный университет, подписанный д.т.н., профессором кафедры «Техническая механика» Гайджуровым П.П.:

1. Использование стержневых конечных элементов для моделирования упругих колебаний массивных роторов позволяет лишь качественно описать исследуемый процесс. Для более точных расчётов, как правило, применяют объёмные конечные элементы.

16. Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского (ХАИ), г. Харьков, Украина, подписанный профессором кафедры «Теоретической механики, машиноведения и робототехнических систем» д.т.н. Доценко Н.Е. и зав. кафедрой конструкции авиационных двигателей «ХАИ», д.т.н., профессором Епифановым С.В.

1. В реферате для прямого или обратного прецессионного движения введено понятие «синхронного» или «асинхронного» обката, хотя в общем случае, понятие синхронный - асинхронный обычно связано с частотой, а не с направлением.

17. ЗАО "Уральский турбинный завод", подписанный Главным конструктором, к.т.н. Култышовым А.Ю. и начальником бюро вибрации и прочности отдела расчётов Кшесинским Д.С.

Замечаний нет.

18. Ярославский государственный технический университет, подписанный заведующим кафедрой двигателей внутреннего сгорания, заслуженным работником высшей школы, к.т.н., профессором Жаровым А.В. и профессором кафедры двигателей внутреннего сгорания, д.т.н. Яманиным А.И.

1. Объем автореферата существенно превышает рекомендованный Положением о порядке присуждения ученых степеней. При этом он перегружен формулами (часть из которых является общеизвестной), выводом уравнений и пр.

2. В соответствии с ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» в автореферате должна быть сформулированы цель и задачи исследования. В рецензируемом автореферате приведены только задачи исследования, формулировка которых дана в слишком обобщенном виде.

3. На стр. 6 указано, что одним из положений, выносимых на защиту, является метод конечных элементов (МКЭ) как основа алгоритма и разработанного программного обеспечения. Представляется, что выносить на защиту МКЭ, широко применяемый в практике, в том числе, для расчета быстропеременных переходных процессов, нет необходимости. Вместе с тем, известно, что результат расчета быстропеременных переходных процессов существенно зависит от организации вычислений (параметры модели, величина шага расчета и пр.), о чем в реферате сведений нет.

4. В автореферате не указано, какой профессиональный программный продукт, реализующий МКЭ, был использован в качестве основы для разработки соответствующих программных модулей. Здесь же следует заметить, что в реферате не приведено описание этих модулей (на рис. 37 дана только структура программного обеспечения), не указано, как оценивалась корректность расчетов по ним. Кроме того, следовало бы сопоставить результаты решения, полученные с помощью разработанного программного обеспечения и с помощью известных программных комплексов того же назначения (в частности, Dynamiks R4, Concept NRES и, возможно, других).

5. Следовало бы более конкретно описать экспериментальные исследования (аппаратное обеспечение, оценка точности и пр.). Приводимые в работе данные свидетельствуют, главным образом, о качественном совпадении расчетных и экспериментальных данных (в частности, не вполне понятно, что подтверждает рис. 36, г).

6. Выводы по работе в большей степени соответствуют только одной из указанных на с. 3 задаче диссертационного исследования – изучению взаимодействия ротора и статора. Выводы, соответствующие другой задаче – совершенствованию проектирования и эксплуатации ТА, – практически отсутствуют.

19. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, подписанный д.т.н., профессором, зав. кафедрой "Тепловые электрические станции и теплотехника" Ефимовым Н.Н. и к.т.н., доцентом кафедры "Тепловые электрические станции и теплотехника" Шестаченко И.Я.

1. Опечатка в названии (написано ТУРБОГ~~А~~ГРЕГАТОВ).

20. Казанский национальный исследовательский технический университет (КНИТУ-КАИ), подписанный д.т.н., профессором, кафедры реактивных двигателей и энергетических установок Великановой Н.П.

1. В реферате не указана цель работы, указаны только задачи исследования.

2. В разделе о практической значимости не указано, имеются ли акты внедрения.

3. В заключении приведены слишком объёмные пункты, что затрудняет их восприятие.

21. Федеральное агентство морского и речного транспорта. Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, подписанный, зав. кафедрой теории и конструкции судовых ДВС, д.т.н., Жуковым В.А. и профессором кафедры теории и конструкции судовых ДВС, д.т.н. Безюковым О.К.

1. Из автореферата не ясно, проводилась ли проверка адекватности разработанных математических моделей исследуемым физическим процессам.

2. В автореферате не представлены структура и основные характеристики комплекса программных средств.

Некоторые замечания, отмеченные в отзывах на автореферат, имеют редакционный характер.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что выбранные специалисты и организация, обладают высокой квалификацией и известны своими достижениями, в частности, в области науки, к которой относится диссертация (турбо-машиностроение). Они квалифицированно оценили значимость исследования и определили научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований *разработаны* физические и математические модели, методы и программные модули комплекса программных средств колебаний роторов с задеваниями и без задеваний о статор, позволяющие системно определять динамические характеристики роторов турбоагрегатов при стационарных и нестационарных воздействиях и прогнозировать реакцию ротора на различные воздействия. Представленные в диссертации анализ развития контактного взаимодействия ротора и статора (обката) и исследования разных его режимов в приложении к двух- и многоопорным роторам с разными по конструкции типами подшипников, а также анализ сил возбуждающих обкат ротором статора, объясняющий причины возникновения опасных колебаний проведены впервые и являются важными достижениями автора.

Другим важным достижением является **предложенный** автором метод определения основных параметров для радиуса безопасности эксплуатации агрегата в случае импульсного кинематического возбуждения (сотрясения основания). **Теоретическое значение имеют** предложенные и разработанные в диссертации автором представления о причинах возникновения обката и процессах его развития, определении параметров, сопровождающих обкат, а также условий выхода к самому опасному явлению обката - обратной процессии ротора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные в диссертации модели, методы и программные средства математического моделирования колебаний роторов при различных воздействиях применяются при проектировании, модернизации стационар-

ных и транспортных турбоагрегатов, насосов, центрифуг в течение нескольких десятилетий, и их применение позволяет принимать превентивные меры для предотвращения аварий в системе ротор-опоры, что обеспечивает надёжную и длительную промышленную эксплуатацию агрегатов в различных отраслях экономики России и других стран.

Достоверность результатов диссертации подтверждается:

- использованием фундаментальных математических и физических моделей для решения задач динамики ротора;
- выбором при разработке алгоритмов и комплекса программных средств стандартных алгоритмических языков программирования, библиотек стандартных прикладных программ для решения задач линейной алгебры, методов интегрирования систем дифференциальных уравнений высоких порядков, использованием функций удвоенной точности счёта при выполнении операций на ПК;
- верификацией алгоритмов с помощью системы тестов;
- сравнением результатов математического моделирования колебаний с экспериментальными результатами и результатами отечественных и зарубежных авторов;
- логической непротиворечивостью результатов, полученных в диссертации, и реально наблюдавшихся процессов развития аварийных ситуаций и последствий аварий.

Личный вклад автора заключается в:

- формировании общей идеи и цели работы;
- в разработке физических и математических моделей процессов колебаний роторов ТА при различных воздействиях;
- в разработке алгоритмов и программных модулей комплекса программных средств по определению реакции системы ротор–опоры на различные воздействия;
- в разработке методик расчёта, анализе и обобщении полученных результатов исследований;
- в выполнении исследований на основе математического моделирования колебаний роторов ТА различного назначения с задеванием и без задеваний о статор и подготовке публикаций.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается основной идейной линией, концептуальностью и взаимосвязью выводов. В ней решена научная задача определения условий и последствий (которые могут быть катастрофическими) виб-

рации вращающихся машин с задеваниями ротора о статор, имеющая важное народнохозяйственное значение.

На заседании 11 декабря 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Шатохину В.Ф. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.04.12. «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 17, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета



Тумановский Анатолий Григорьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Березинец Павел Андреевич

11 декабря 2014 года