

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.08

Соискатель: Клименко Дмитрий Викторович

Тема диссертации: «Методика расчёта пульсаций давления в шнекоцентробежном насосе ЖРД трехмерным акустико-вихревым методом»

Специальность: 05.07.05- «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 12 декабря 2016 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Клименко Дмитрию Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Равикович Ю.А., *ученый секретарь диссертационного совета* Зуев Ю.В., *члены диссертационного совета:*

Абашев В.М., Агульник А.Б., Демидов А.С., Дзюбенко Б.В., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Кулешов Н.В., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Светлов В.Г., Тазетдинов Р.Г., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д.212.125.08, д.т.н., профессор



Зуев Ю.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 12 декабря 2016 №18

О присуждении Клименко Дмитрию Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методика расчёта пульсаций давления в шнекоцентробежном насосе ЖРД трехмерным акустико-вихревым методом» по специальности 05.07.05. - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 03.10.2016, протокол №10 диссертационным советом Д 212.125.08 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации, 125993 г. Москва, А - 80, ГСП - 3, Волоколамское шоссе, д.4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета - №2249-1460 от 02.11.2007 г., об изменении состава диссертационного совета - № 1986-540/1460 от 21.11.2008 г., о продлении срока действия диссертационного совета - № 1925-601 от 08.08.2009 г., о соответствии диссертационного совета «Положению о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» - № 105/нк от 11.04.2012 г., об изменении состава диссертационного совета № 508/нк от 22.08.2012 г., об изменении состава

диссертационного совета - № 548/нк от 06.10.2014 г.

Соискатель Клименко Дмитрий Викторович 1990 года рождения. В 2012 соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2015 году соискатель окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре «Ракетные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель - доктор технических наук, Тимушев Сергей Федорович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Ракетные двигатели», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Шейпак Анатолий Александрович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», профессор,

2. Кучкин Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент, федеральное казённое предприятие "Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности", первый заместитель генерального директора по испытаниям

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация АО «НПО Энергомаш», г. Химки, в своем

положительном заключении, подписанном Ромасенко Е.Н., кандидатом технических наук, начальником отдела агрегатов ЖРД, и утвержденном Чвановым В.К., д.т.н., профессором, заместителем генерального директора, главным конструктором, указала, что диссертация соответствует требованиям пункта 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842. Клименко Д.В. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе 6 работ по теме диссертации общим объемом 4.57 п. л.; работ опубликованных в рецензируемых научных изданиях –4. Из 6 работ, 4 статьи –в журналах, 2 работы – тезисы в сборниках трудов конференций. Все работы выполнены в соавторстве.

Основным авторским вкладом Клименко Д.В. в опубликованных работах является проведение и анализ результатов численного моделирования трехмерного нестационарного течения в насосах различных конфигураций, вывод трехмерных конечно-разностных аналогов акустико-вихревого уравнения и импедансных граничных условий с учетом расщепления акустической и вихревой мод.

Наиболее значимые работы:

1. Клименко Д.В., Тимушев С.Ф. Расчет пульсаций давления в отводе шнекоцентробежного насоса акустико-вихревым методом. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева, 2015. Т. 16. № 4. С. 907-917.

2. Клименко Д.В., Тимушев С.Ф., Корчинский В.В. Сравнительный анализ пульсаций давления в вариантах трубчатого направляющего аппарата шнекоцентробежного насоса ЖРД [Электронный ресурс] // Труды МАИ. 2015.

№82

http://www.mai.ru/upload/iblock/1f9/klimenko_timushev_korchinskiy_rus.pdf
(дата обращения: 20.12.2015).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв на диссертацию ведущей организации, АО "НПО Энергомаш".

В качестве замечаний отмечается:

автор рассматривает только однофазное течение среды, но в случае развития кавитации, в рабочей жидкости присутствует газовая фаза, которая влияет на интенсивность гидродинамической вибрации насоса.

Отзыв на диссертацию официального оппонента д.т.н. профессора Шейпака Анатолия Александровича. В отзыве отмечены следующие замечания:

В рецензируемой диссертационной работе объектом исследования является шнекоцентробежный насос ЖРД с лопаточным направляющим аппаратом и двумя симметрично расположенными спиральными отводами. На практике в ЖРД часто используются насосы без лопаточных аппаратов с одним спиральным отводом. Не ясно какие рекомендации диссертанта будут справедливы для таких насосов.

В диссертации иногда приводятся значения параметров с пятью значащими цифрами (например, на стр. 76). Точность экспериментов позволяет гарантировать только три значащие цифры.

Встречаются, иногда, опечатки. Например, два рисунка с номером 3.1 на стр. 48 и стр. 49. Но в целом диссертационная работа оформлена отлично.

Отзыв на диссертацию официального оппонента к.т.н. доцента Кучкина Владимира Николаевича. В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Неясно, какие преимущества дает акустико-вихревой метод по сравнению с расчетом течения для сжимаемой среды. Хотелось бы видеть сравнение амплитуды пульсаций давления на первой моде ЧСЛ по выбранному автором методу и амплитуды, полученной из CFD расчета для сжимаемого потока.

2. Приведены уравнения Навье-Стокса, описано как происходит

динамическое измельчение сетки, но неясно, что и как вращается в модели ротора. Возможно вращение прямоугольной сетки вместе со стенкой ротора, возможно вращение стенки на неподвижной сетке, возможно, что не вращается ни сетка, ни стенка, а на поток накладывается поле “центробежного” ускорения. Во всех этих случаях есть свои источники ошибок.

3. На рис.3.14, 3.15, 4.33, 4.34 приведены пульсации давления, но не указано, что расчет проведен для несжимаемого течения. Понятно, что в реальности среда - сжимаемая и пульсации могут быть в несколько раз меньше.

4. В работе не приведены пульсации давления $P(t)$ для сеток с разным уровнем измельчения, хотя указано, что расчеты проводились. По ним можно оценить уровень некоторых ошибок, возможно и ошибок в определении пульсаций давления на 1-ой моде ЧСЛ.

5. Недостаточный объем сравнения моделирования по разработанной методике с экспериментальными данными, необходимый для валидации. Например, можно для валидации методики расчета использовать экспериментально измеренные поля скоростей, давлений и т.д. для модельных центробежных насосов, предназначенные специально для валидации CFD расчетов (ERCOFTAC и др.).

Отзыв на автореферат диссертации Мошкова П.А. к.т.н. инженера-конструктора 1-й категории Акционерного общества «Гражданские самолеты Сухого».

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Из автореферата не ясно, каким образом выполнялась обработка нестационарного сигнала. В подписях к рисункам, на которых присутствуют узкополосные спектры, не указана ширина полосы анализатора.

2. Не указан способ определения амплитуд тональных составляющих спектра пульсаций давления в случае, когда энергия «размывается» по нескольким полосам частот.

3. В автореферате не нашлось места для подробного описания экспериментальных исследований.

Отзыв на автореферат диссертации Козубской Т.К. д.ф.-м.н. заведующей сектором Федерального исследовательского центра Института прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. В тексте автореферата допущены опечатки. Например, в формуле (1) на стр. 9 вместо второй производной по времени t дифференцирование расчётной переменной h предлагается проводить по ней же самой.

2. Стоит отметить неполное описание переменных, используемых в приведенных на стр. 11 формулах. Так, при описании граничного условия (14) не дано обозначение переменной Z_1 , не приведен вид переменной g , соответствующей вихревой моде.

3. Неаккуратно представлены графики спектрального разложения на Рис. 8 и 15. Упомянутая в тексте дискретная составляющая на частоте 1540 Гц на левом Рис. 5 выглядит как 1700 Гц, а на правом Рис. 5 - как 1600 Гц.

4. Не дано объяснение мощных дискретных составляющих на более низких частотах, по сравнению с основной и второй гармониками частоты следования лопаток.

5. Опираясь на представленные на Рис. 9 экспериментальные данные, невозможно корректно судить о точности получаемых автором расчётных данных по амплитудам пульсаций давления.

6. Можно отметить также и полиграфическую неаккуратность оформления автореферата. В этом отношении можно отметить разную величину шрифта в формулах (например, формула на стр. 8 вверху в сравнении с формулами на стр. 10-11), а также обозначение одной и той же переменной жирным и стандартным шрифтами, что вносит путаницу, т.к. в научной литературе обычно жирным шрифтом обозначают векторно-матричные переменные.

Отзыв на автореферат диссертации ПАО РКК "Энергия",

подписанный советником генерального директора корпорации, д.т.н., профессором Соколовым Б.А., и главным специалистом Катковым Р.Э.

В отзыве имеется следующие замечание:

ограниченность рассмотренных и проверенных экспериментально конструкционных мероприятий по снижению амплитуды пульсаций давления в шнекоцентробежных насосах. Фактически рассмотрено только применение в насосах трубчатого направляющего аппарата вместо традиционного лопаточного.

Отзыв на автореферат диссертации НИМК ЦАГИ, подписанный начальником отделения аэроакустики и экологии ЛА д.ф.-м.н., профессором Копьевым В.Ф., и ведущим инженером к.ф.-м.н. Чернышевым С.А.

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Разложение возмущенного движения на три составляющие: вихревую, акустическую и энтропийную следует отнести к результату, полученному Чжу и Коважным (см., например, Монин и Яглом, Статистическая гидромеханика, т. 1).

2. Для описания акустической моды, даже в приближении разделенных мод, желательно использовать конвективное волновое уравнение или более полное уравнение Блохинцева-Хоу (Мунин, Кузнецов, Леонтьев, Аэродинамические источники шума, Гл.1).

3. Можно также высказать редакционные замечания: опечатка в формуле (1), ошибка в нумерации рисунков (нет рисунка 13).

Отзыв на автореферат диссертации Жарковского А.А. д.т.н., доцента, профессора кафедры «Турбины, гидромашины и авиационные двигатели» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Расчеты пульсаций давления зафиксированы только в одной ветви спирального отвода.

2. В расчетах не учтены утечки через передний и задний бурты

центробежного колеса.

Отзыв на автореферат диссертации Модорского В.Я. д.т.н., профессора, заместителя декана аэрокосмического факультета, профессора кафедры "Механика композиционных материалов и конструкций", научного руководителя Центра высокопроизводительных вычислительных систем ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет".

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Не описан алгоритм и параметры спектрального анализа расчетного нестационарного сигнала пульсаций давления
2. В автореферате не указаны работы, в которых предложены конструктивные решения для снижения пульсаций давления.

Отзыв на автореферат диссертации Ломакина В.О. к.т.н., доцента кафедры Э10 «Гидромеханика, гидромашины и гидро-пневмоавтоматика» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Допущена ошибка в нумерации рисунков (нет рисунка 13).
2. Не ясно, каким образом определяется шаг по времени для решения волнового уравнения явным методом.
3. В автореферате не описано, как задано граничное условие с учетом удельного акустического импеданса.

Отзыв на автореферат диссертации АО "ГРЦ Макеева" подписанный Пеговым В.И. д.т.н., главным научным сотрудником, и утвержденный Дегтярём В.Г., д.т.н., профессором, академиком РАН, генеральным директором, генеральным конструктором.

В отзыве отмечены следующие замечания:

1. Не ясно, каким образом выполнялась обработка нестационарного сигнала. В подписях к рисункам, на которых присутствуют узкополосные спектры, не указана ширина полосы анализатора.

2. Не указан способ определения амплитуд тональных составляющих спектра пульсаций давления в случае, когда энергия «размывается» по нескольким полосам частот.

Отзыв на автореферат диссертации Демьяненко Ю.В. д.т.н.,
главного специалиста по АП АО КБХА

В отзыве имеется следующее замечание:

Отсутствие информации о дальнейшей потенциальной возможности снижения пульсаций давления в насосе. Например, наряду с применением трубчатого отвода исследовать эффект применения в центробежном колесе насоса формы лопаток со скосом выходных кромок (выходная кромка лопатки находится на цилиндрической поверхности однако не параллельная оси ТНА).

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Клименко Д.В., что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Ведущая организация выбрана в соответствии с её высоким уровнем достижений в области разработки ракетно-космической техники, обеспечивающим возможность определения научной и практической ценности диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика численного моделирования амплитуд тональных компонент спектра пульсаций давления в отводе шнекоцентробежного насоса ЖРД, позволившая сравнить насосы с лопаточным и трубчатым направляющим аппаратом по амплитуде пульсаций давления в каналах направляющего аппарата и на выходе насоса ;

предложены мероприятия по изменению конструкции, позволяющие добиться значительного снижения амплитуд пульсаций давления на частотах

следования лопаток;

доказано, что изменение амплитуды пульсаций давления на частоте следования лопаток по длине проточной части составляет около 10 раз, применение трубчатого направляющего аппарата снижает амплитуду пульсаций давления в два раза;

введена связь между амплитудой пульсаций давления на частоте следования лопаток и напором насоса.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно использован метод конечных объемов вычислительной гидродинамики и акустики с адаптивной сеткой в декартовой системе координат;

проведена модернизация акустико-вихревого метода: сформулированы и реализованы конечно-разностные уравнения, формула расчета источниковой функции в неоднородном акустико-вихревом уравнении и граничные условия в трехмерной постановке для численного моделирования генерации и распространения пульсаций давления на частоте следования лопаток и ее гармониках в отводе шнекоцентробежного насоса турбонасосного агрегата ЖРД;

установлена зависимость между относительной амплитудой пульсаций давления в каналах направляющего аппарата, на выходе насоса и коэффициентом напора.

изложен принцип декомпозиции трехмерных уравнений сжимаемой среды на акустическую и вихревую моды с учётом локального комплексного акустического импеданса на входной границе расчётной области.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:

создана версия программного комплекса FlowVision с встроенным решателем для неоднородного акустико-волнового уравнения;

представлены рекомендации по использованию методов вычислительной гидродинамики для моделирования нестационарных гидродинамических процессов в проточной части насосов;

расчетным путем подтверждено существенное изменение амплитуды пульсаций давления на порядок по длине проточной части отвода шнекоцентробежного насоса;

показано, что угол установки каналов направляющего аппарата, при котором реализуется минимальная амплитуда пульсаций давления, не совпадает, по углу установки, с минимумом гидравлических потерь;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы данные экспериментальных работ, полученных другими исследователями на сертифицированных модельных и огневых стендах АО «НПО Энергомаш»;

численное моделирование реализовано на базе применения пакета программного обеспечения FlowVision, который сертифицирован для расчетов насосов и проверен на опубликованных экспериментальных данных;

идея базируется на корректной декомпозиции уравнений сжимаемой среды и граничных условий на акустическую и вихревую моды;

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке трехмерной версии уравнений акустико-вихревого модуля для численного анализа пульсаций давления в шнекоцентробежном насосе;
- проведенном анализе результатов модельных и натурных испытаний насосов;
- разработке твердотельных геометрических расчетных моделей проточной части;
- постановке и проведении вычислительных экспериментов для вариантов проточной части отвода насоса с использованием численного

моделирования трехмерного нестационарного потока и решения неоднородного волнового уравнения.

На заседании 12.12.2016 диссертационный совет принял решение присудить Клименко Д.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 20, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета



Равикович

Юрий Александрович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зуев

Юрий Владимирович