

## УТВЕРЖДАЮ

Исх. от «21» 08 2017 г. № 250-05/5238

Заместитель генерального директора  
по научной работе

ФГУП НПО «Техномаш»

А.В. Бараев  
2017 г.

На № 010/657-1 от 09.08.2017



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Казеннова Ивана Сергеевича на тему:

«Прогнозирование и управление кавитационными характеристиками бустерных оседиагональных насосов кислородно-керосиновых ЖРД

с использованием численного моделирования»

на соискание учёной степени кандидата технических наук

по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели  
и энергоустановки летательных аппаратов»

### Актуальность темы диссертационной работы

Одной из главных задач при проектировании бустерных турбонасосных агрегатов (БТНА) жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) с оседиагональными колёсами является определение их кавитационных характеристик и влияния на них геометрических параметров составляющих элементов агрегата. Существующие методики определения кавитационных характеристик разрабатывались, в основном, для шнековых или шнекоцентробежных насосов. Их использование для расчёта кавитационных характеристик и оценки влияния на них геометрических параметров и шероховатости конструкции оседиагональных колёс БТНА недостаточно изучено. Для решения данных задач необходимо разработать методику моделирования кавитационных характеристик, учитывающую влияние различных геометрических факторов. Использование такой методики позволит сократить материальные затраты и время на отработку новой проточной части БТНА, что повысит экономическую

эффективность процесса разработки БТНА. Тема диссертации является актуальной и отличается новизной, поставленная цель достигнута.

**Цель** диссертационной работы – достоверно спрогнозировать полную кавитационную характеристику БТНА со сложной пространственной геометрией проточной части межлопастного канала на этапе проектирования; изучить влияние различных геометрических параметров на кавитационные характеристики оседиагональных колёс; дать рекомендации по возможности использования данных, полученных для шнекоцентробежных колёс ЖРД; ускорить отработку конструкции БТНА и снизить объём материальной части при проведении испытаний, чтобы повысить качество проектирования и снизить экономические затраты на создание насоса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

– разработана методика численного моделирования кавитационных характеристик;

– изучено влияние геометрических параметров, радиального зазора, бандажа и шероховатости на кавитационные характеристики и проведено сравнение их с известными зависимостями для шнекоцентробежных насосов;

– дано описание и проанализирована визуализация параметров кавитационного течения в оседиагональном колесе для различных входных давлений;

– даны рекомендации по улучшению кавитационных характеристик оседиагональных насосов.

**Научная новизна** работы заключается в получении прогноза полной кавитационной характеристики бустерных оседиагональных насосов со сложно профилированными проточными каналами кислородно-керосиновых ЖРД с использованием численного моделирования.

В ходе исследований автором получены **новые научные результаты** теоретического и прикладного характера, которые включают:

– методику численного моделирования кавитационных характеристик бустерных турбонасосных агрегатов с оседиагональным колесом с использованием программного комплекса ANSYS CFX;

– результаты численного моделирования оседиагонального насоса с различными величинами зазоров между лопастями колеса и корпусом насоса при постоянном диаметре колеса. Выбран диапазон зазоров, позволяющий без значительных потерь в энергетических характеристиках получить приемлемые кавитационные качества насоса;

– картины визуализации параметров течения при кавитации на режиме подачи без обратных токов в оседиагональном колесе для различных входных давлений;

– результаты моделирования кавитационных характеристик оседиагонального насоса с разным количеством лопаток. Результаты качественно и количественно хорошо согласуются с данными для шнекоцентробежных насосов;

– результаты моделирования кавитационных характеристик оседиагонального насоса с разной толщиной входной кромки лопасти. Результаты хорошо совпадают с данными для шнекоцентробежных насосов, а также дополняют их по влиянию толщины лопатки у втулки;

– расчётные данные по влиянию бандажа турбины без учёта утечек в зазоре между корпусом и бандажом на кавитационные характеристики оседиагональных насосов. Результаты показывают, что бандаж имеет слабое влияние на кавитационные свойства насоса;

– результаты моделирования кавитационных характеристик с учётом влияния шероховатости поверхности оседиагонального колеса, которое показало, что шероховатость в диапазоне от  $Ra=0$  до  $Ra=20$  не влияет на кавитационные качества насоса по второму критическому кавитационному режиму, но влияет на первый критический кавитационный режим и энергетические характеристики;

– расчётные данные по применению переменного радиального зазора, откуда видно, что его применение позволяет улучшить антикавитационные качества насоса при определённых условиях на 10–12%.

**Достоверность** результатов работы подтверждается согласованием результатов численного моделирования течения в БТНА с результатами проведённых в АО «НПО Энергомаш» модельных испытаний БТНА окислителя ЖРД РД191, качественным совпадением картин кавитации и влиянием геометрических параметров, полученными в результате экспериментов, проведённых другими исследователями.

### **Практическая ценность работы**

Разработанная методика позволяет получить кавитационные характеристики оседиагональных насосов со сложной пространственной геометрией межлопаточного канала при их работе на воде. Это даёт возможность на стадии разработки провести моделирование кавитационных характеристик БТНА ЖРД с различными геометрическими параметрами и получить необходимую по кавитационным и энергетическим качествам геометрию проточной части насоса. Использование методики сократит материальные затраты и время на отработку новых проточных частей БТНА.

## **Публикации и аprobация результатов работы**

Основное содержание диссертации изложено в 3 печатных работах, из которых 3 опубликованы в рецензируемых журналах, включённых в Перечень ВАК.

Основные результаты диссертационных исследований были представлены на 10-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2011», Москва, 2011 г.; конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», Самара, 2014 г.; XX-й Научно-технической конференции молодых учёных и специалистов, Королёв, 2014 г.; Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения», Москва, 2017 г.; Двадцатой Юбилейной Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам, Алушта, 2017 г.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Общий объём работы – 109 страниц текста, 2 таблицы, 61 рисунок.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

## **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к внедрению в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», «КБ Химмаш им. А.М. Исаева» – филиале ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО КБХА, АО «НПО Энергомаш», а также на предприятиях ракетно-космической, авиационной, судостроительной, нефтедобывающей отраслей промышленности, могут быть использованы в учебном процессе в вузах, имеющих кафедры двигателестроения.

В диссертации стоит отметить следующие недостатки:

1. Поля распределения кавитации рассмотрены в стационарной постановке.
2. В работе не проведено моделирование на натурных компонентах и не учтена термодинамическая поправка.

Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором при проведении дальнейших исследований.

## **Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям**

Диссертация И.С. Казеннова является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи прогнозирования и управления кавитационными характеристиками бустерных оседиагональных насосов кислородно-керосиновых ЖРД с использованием разработанной соискателем методики численного моделирования кавитационных характеристик.

Диссертация И.С. Казеннова соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Диссертация выполнена автором самостоятельно, на достаточном научно-техническом уровне, соответствует паспорту специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

И.С. Казеннов заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Отзыв на диссертацию обсужден на заседании секции № 1 «Технология производства изделий ракетно-космической техники» научно-технического совета ФГУП «НПО «Техномаш» 15 августа 2017 г., протокол № 15.

Главный научный сотрудник,  
докт. техн. наук, доцент

«16» августа 2017 г.

В.Г. Бещеков

Ведущий научный сотрудник,  
канд. техн. наук, доцент

«16» августа 2017 г.

Г.Л. Усов

Подписи В.Г. Бещекова и Г.Л. Усова заверяю.

Учёный секретарь научно-технического совета,  
канд. техн. наук



Д.А. Муртазин

Бещеков Владимир Глебович,  
доктор технических наук, доцент, заслуженный изобретатель РФ,  
главный научный сотрудник отделения технологии сварки и пайки  
федерального государственного унитарного предприятия  
«Научно-производственное объединение «Техномаш»,  
3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, Москва, 127018, а/я 131,  
тел. (495) 689 95 71, e-mail: [kulik-nic-svarka@mail.ru](mailto:kulik-nic-svarka@mail.ru)

Усов Генрих Леонидович,  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник отделения технологии испытаний и неразрушающих методов контроля  
федерального государственного унитарного предприятия  
«Научно-производственное объединение «Техномаш»,  
3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40, Москва, 127018, а/я 131,  
тел. (495) 689 95 33, e-mail: [250@tmnpo.ru](mailto:250@tmnpo.ru)