



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени профессора Н.Е.Жуковского»  
ФГУП «ЦАГИ»**

140180 Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1  
тел.: (495)556-4205, факс: (495)777-6332  
E-mail: <http://www.tsagi.ru>  
ОКПО 07542112, ОГРН 1025001624471  
ИНН / КПП 5013009056/501301001

06.09.2017г. № СЛ 05-10-6831

На № \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель Генерального  
директора ФГУП «ЦАГИ» –  
начальник комплекса  
аэродинамики и динамики  
полета ЛА  
д-р физ.-мат. наук, доцент



**С.В. Ляпунов**

2017 г

**ОТЗЫВ**

**ведущей организации на диссертацию Гариповой Ляйсан Ильдусовны  
«Распределенные и интегральные характеристики обтекания несущего  
винта вертолета и оценка колебаний поля давления в ближней и  
дальней зонах», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа  
и плазмы».**

**Актуальность темы диссертационного исследования**

Проектирование летательных аппаратов является поиском решения, удовлетворяющего многим противоречивым требованиям, таким как требования к прочности, весовой категории (для вертолетов), летно-техническим характеристикам, экономическим показателям и другим. На сегодняшний день все большую важность приобретают требования, предъявляемые к уровню аэроакустического излучения, генерируемого летательным аппаратом, что подтверждается ужесточением авиационных правил ИКАО (Международная организация гражданской авиации). Особое значение данный фактор приобретает при проектировании вертолетов, а в частности несущих и рулевых винтов нового поколения. Одним из основных источников акустического излучения вертолета, особенно в дальнем поле, является колебания поля давления в процессе работы несущего винта.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)  
Вх. № 11 9 5041  
от « 11 » 9 17

012057

Аэроакустическое излучение связано с геометрическими параметрами несущего винта и режимом полета (кинематическими параметрами) а, следовательно, и с аэродинамическими характеристиками несущего винта. Таким образом, совместное исследование аэродинамических и акустических характеристик несущего винта вертолета является **актуальной** задачей на сегодняшний день.

### **Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 156 наименований, 2 приложений.

Во **введении** обосновывается актуальность решаемой задачи; дано описание объекта, предмета и методов исследования; сформулированы цель и задачи работы; приведены выносимые на защиту положения и обсуждается достоверность полученных результатов; определен личный вклад автора; описаны структура диссертации и ее краткое содержание по главам.

В **первой главе** представлены результаты литературного обзора по текущему состоянию в области аэродинамического проектирования несущего винта вертолета. Выполнен обзор методов вычислительной аэродинамики и аэроакустики. Описаны модели турбулентности и область их применения. Представлены математические модели, позволяющие получить оценку колебаний давления в дальнем поле. Дано описание и характеристики основных источников звукового излучения для вертолетного винта.

Во **второй главе** автором представлены результаты численного моделирования обтекания моделей несущего винта вертолета и его элементов. Исследование, выполнено начиная с наиболее простых объектов, как обтекание двумерного аэродинамического профиля, и заканчивая трехмерным моделированием обтекания модели полноразмерного несущего винта вертолета. Решены такие методические задачи как выбор параметров и топологии многоблочной структуры расчетных сеток, выбор модели турбулентности, анализ интегральных и распределенных характеристик течения, включая структуру вихревого и отрывного течения около обтекаемых поверхностей как для стационарного, так и для нестационарного режимов обтекания. Автор приводит сравнение результатов расчетов с

различными экспериментальными данными. Показано удовлетворительное, а в некоторых случаях и хорошее согласование полученных результатов, что свидетельствует о правильности выбора математической модели.

В третьей главе автор проводит анализ колебаний поля давления в определенных точках пространства на базе результатов, полученных с помощью численного моделирования. Построены диаграммы направленности звукового излучения от несущего винта. Автор использует математическую модель распространения звукового излучения на основе уравнения Фокса Уильямса – Хокинга (FW-H), позволяющую проводить оценку колебаний давления в дальнем по отношению к объекту излучения поле. Математическая модель реализована в виде программы для ЭВМ. Представлено сравнение результатов расчета с имеющимися в открытой литературе данными по звуковому возмущению от несущего винта вертолета.

В четвертой главе выполнено исследование влияния формы концевой части лопасти на аэродинамические характеристики модели винта вертолета, вихревую структуру течения и на формирование поля давления в ближней и дальней от винта зонах.

В заключении представлены краткие выводы по результатам диссертационного исследования.

#### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации**

Содержание диссертации соответствует заявленной теме и специальности 01.02.05. – «механика жидкости, газа и плазмы».

#### **Соответствие автореферата диссертации ее содержанию**

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание диссертационного исследования.

#### **Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, следует из использования классических уравнений механики

сжимаемого вязкого газа и известных методов их решения, а также подтверждается представленным сравнением расчетных данных с экспериментальными, полученными в КНИТУ-КАИ, и данных, приведенных в работах других авторов.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методики и алгоритма решения уравнения FW-Н, анализе распределенных и интегральных характеристик течения около поверхности лопасти и сечении лопасти винта, проведении оценки колебаний давления в ближней и дальней зонах винта.

Практический интерес представляют результаты исследования влияния формы концевой части лопасти на интегральные и распределенные характеристики винта вертолета.

Результаты данного исследования имеют высокую практическую значимость

### **Новизна полученных результатов**

В диссертационной работе получены интегральные и распределенные аэродинамические характеристики крупномасштабной модели несущего винта вертолета с различными вариантами концевой части лопасти. Впервые определены характеристики модельного винта, установленного на экспериментальную установку Лаборатории №1 КНИТУ-КАИ, включая критические режимы с появлением срыва потока. Разработаны алгоритм и программа для решения уравнений FW-Н с целью оценки колебаний давления в дальнем поле несущего винта произвольной формы в плане. Получены диаграммы направленности колебаний давления в ближнем и дальнем поле модельного и полноразмерного (натурного) несущих винтов вертолета на режиме осевого обтекания. Проведен анализ полученных данных и предложены рекомендации по модификации концевой части лопасти несущего винта для снижения уровня звукового излучения на режиме висения.

### Замечания по диссертационной работе

1. Представленные на рисунках 3.24 и 3.25 данные по уровню звукового давления на оси вращения винта не обоснованы либо некорректно представлены.
2. Не понятно, что автор подразумевает под «полуаналитическим» методом решения уравнения FW-H (стр.126).
3. Из приведенных расчётных данных и ссылок на работы других авторов (глава 2.1.5) не очевидна потенциальная возможность улучшения аэродинамических, акустических и других характеристик винта с помощью активного управления закрылком. Рассмотрен только один режим с малым числом  $Re$  и малой скоростью набегающего потока, не соответствующий эксплуатационным режимам работы винта.
4. В диссертационной работе встречаются термины и обозначения не соответствующие ГОСТу.

Имеющиеся замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа прошла необходимую апробацию в виде многочисленных публикаций и участия автора на научных конференциях.

### Заключение

Диссертация Гариповой Ляйсан Ильдусовны на соискание ученой степени кандидата технических наук представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, в которой содержится решение задачи оценки распределённых и интегральных характеристик обтекания несущего винта вертолета и оценки колебаний поля давления в ближней и дальней зонах, имеющей существенное значение для развития вертолетостроения, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Начальник научно-исследовательского  
отделения №5 ФГУП «Центральный  
аэрогидродинамический институт  
имени профессора Н.Е. Жуковского»,  
К.Т.Н.

5

  
Кириллов О. Е.

Подлинность подписи начальника НИО-5 Кириллова О.Е. подтверждаю:  
Заместитель начальника управления персоналом –  
начальник отдела кадров ФГУП «ЦАГИ»  
«05» \_\_\_\_\_ 2017 г.

  
В.Н. Баранов

