

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Бобкова Владимира Георгиевича

«Численное моделирование обтекания винта вертолета и определение аэроакустических характеристик», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Задача улучшения летно-технических характеристик вертолетов сохраняет свою значимость, несмотря на достигнутый существенный технический прогресс. Приоритетными направлениями развития вертолетостроения являются снижение уровня акустического излучения (генерации шума), повышение уровня комфорта (снижение вибраций и уровня шума в кабине). Кроме того, задача снижения уровня шума вертолета имеет приоритетное значение вследствие ужесточения требований по нормативным документам ИКАО (Международной организации гражданской авиации, ICAO). Вследствие этого, задача разработки средств математического моделирования аэроакустического излучения в целях проектирования вертолетной техники является актуальной темой исследования.

Теоретической основой работы является сочетание методов численного (CFD) моделирования обтекания вертолетного винта и распространения звуковой волны в окружающем воздушном пространстве.

Структурно работа поделена на несколько глав, имеющих внутреннюю взаимосвязь.

Во введении проводится обзор работ по теме диссертации, обоснованы актуальность темы, научная новизна и практическая значимость результатов, сформулированы цель и положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации представлена математическая формулировка задачи на основе системы уравнений Навье – Стокса для сжимаемого газа во вращающейся системе координат; определен принцип

постановки граничных условий, выбрана основная модель турбулентности для задач в стационарной постановке. В этой же главе дается краткое описание уравнения Фокса Уилльямса – Хокингса (FWH) для моделирования распространения звуковой волны и приведена «карта моделей» в виде таблицы, определяющей математическую постановку задачи в зависимости от соответствующей ей физической постановки.

Во второй главе дано изложение теоретических положений и методов, положенных в основу алгоритмов и программ, описание которых дано в третьей главе. Особенностью предложенного алгоритма для решения уравнений Навье-Стокса является численная схема повышенной точности, предназначенная для проведения расчетов на гибридных неструктурированных сетках. Используемая квазиодномерная реберно-ориентированная реконструкция для аппроксимации конвективных членов в уравнениях Навье-Стокса позволяет строить численные схемы с повышенным порядком точности. Отличительной особенностью этих схем является их экономичность (низкая вычислительная стоимость) при расчетах на произвольных неструктурированных сетках. Заслугой диссертанта здесь является то, что данный подход был впервые применен для моделирования течения около винта вертолета в областях ближнего поля, в том числе и для моделей в неинерциальной системе координат.

Отдельное внимание в рамках второй главы уделено методам численного моделирования течений при различных значениях числа Маха, включая очень низкие значения. Использование единого численного алгоритма, работающего при различных значениях числа Маха является важным фактором при моделировании течения около винта вертолета, в силу специфики распределения линейных скоростей течения около вращающейся поверхности.

Еще одним достижением диссертанта в данной главе является оригинальный алгоритм реализации метода Фокса Уилльямса – Хокингса для оценки акустического излучения в дальнем поле течения. Особенностью

предложенного алгоритма является использование неподвижной FWH поверхности, что позволяет избежать сингулярности, связанной с возможным перемещением FWH поверхности со скоростью, превышающей скорость звука.

В третьей главе диссертации представлен созданный в результате диссертационной работы проблемно-ориентированный программный комплекс, предназначенный для оценки аэродинамических и акустических характеристик винта вертолета.

В четвертой главе представлены результаты расчетов аэродинамических и акустических характеристик вертолетных винтов различной конфигурации, полученные с помощью созданного программного комплекса. Валидация программного комплекса для расчета аэродинамических характеристик винта проведена по результатам сравнения рассчитанных данных с результатами экспериментов для винтов Caradonna-Tung, АО «Камов» и КНИТУ-КАИ. Определены также акустические характеристики винтов АО «Камов».

В заключении к работе сформулированы основные выводы и результаты работы.

Можно выделить следующие наиболее значимые результаты работы:

- 1) разработана методика моделирования обтекания винта вертолета на основе системы уравнений Навье – Стокса в неинерциальной системе координат;
- 2) разработан численный алгоритм расчета акустических характеристик винта вертолета на основе интегрального метода Фокса Уилльямса–Хокинга для оценки шума в дальнем поле;
- 3) разработан численный метод CFD моделирования, который может быть использован при моделировании течений в широком диапазоне скоростей.

Замечания по диссертационной работе

1. В некоторых разделах работы используются специфические обозначения, не встречающиеся в литературе. В частности, возможно по этой причине в некоторых выражениях складываются величины, которые в общепринятых обозначениях имеют различную размерность.

2. При постановке граничных условий к уравнениям RANS на стр. 28 не вполне понятен принцип определения параметров внутри газодинамической области (слишком размытое определение) для последующего определения параметров удаленного потока через характеристические соотношения.

3. Не ясно с какой целью формулируется условие непротекания (1.10) для вязкой жидкости, если как отмечалось в рукописи ранее на стр. 28 «... на твердой границе ставиться условие прилипания, то есть условие равенства нулю величины вектора скорости».

4. В выводах к первой главе сказано, что «Результатом проведенных в первой главе исследований является построение карты моделей ...». На мой взгляд, утверждение о проведенных исследованиях здесь является слишком «сильным», поскольку карта моделей (которая, сама по себе не содержит ошибок или противоречий) построена исключительно на основе рассуждений автора и без ссылки на проведенные автором исследования или литературные источники.

5. На стр. 121 автор утверждает: «Очевидно, что результат использования схемы первого порядка непригоден для анализа вихревой структуры течения, и, как следствие, для анализа акустических свойств винта». Вообще говоря схемы первого порядка по пространственным переменным используются только на начальном этапе моделирования, а затем производится переход к схемам второго порядка. Поэтому данное утверждение следовало бы рассматривать именно по отношению к схемам второго порядка.

6. На рис. 4.17 и 4.18 представлены аэродинамические силы и коэффициенты в зависимости от угла установки лопасти. Из представленных рисунков и описания к ним следует различный характер поведения сил и их коэффициентов (при сопоставлении результатов расчетов и эксперимента).

7. Из рукописи диссертации не вполне понятно, чем принципиально отличаются постановки задач для разделов 4.3 и 4.4: для винта из раздела 4.3 "наиболее слабый звук детектируется на оси вращения винта", а для винта из раздела 4.4 - напротив "максимум уровня звукового давления находится в области оси вращения винта, а не в плоскости вращения".

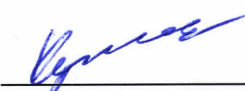
Указанные замечания не являются принципиальными и не меняют общего положительного мнения о диссертации.

В целом работа представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком уровне и аккуратно оформленное.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты исследований прошли достаточную апробацию, представлялись на конференциях и семинарах различного уровня. По работе имеется достаточное количество публикаций.

Диссертационная работа «Численное моделирование обтекания винта вертолета и определение аэроакустических характеристик» отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор Бобков Владимир Георгиевич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук,
профессор каф. аэрогидродинамики
КНИТУ-КАИ


А.Н. Кусюмов

10.09.2018

