

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

о диссертационной работе Бобкова Владимира Георгиевича «Численное моделирование обтекания винта вертолета и определение аэроакустических характеристик», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Бобков Владимир Георгиевич закончил факультет прикладной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова в 2001 г. и в 2003-2007 гг. обучался в заочной аспирантуре ИММ РАН. В настоящее время Бобков В.Г. работает в Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук в должности научного сотрудника.

В диссертационной работе В.Г. Бобкова представлены результаты цикла работ, которые выполнялись автором в 2014-2018 гг. в рамках исследования возможности внедрения средств вычислительного эксперимента в процесс разработки винтов современных вертолетов. Конечная цель работы – получать аэродинамические и акустические характеристики винта вертолета в ходе вычислительного эксперимента.

В результате работы автором сформулирована матрица моделей, позволяющая в зависимости от моделируемого режима работы винта и в зависимости от требований к точности исследуемых характеристик выбрать оптимальный набор методов и методик для проведения численного эксперимента с целью оценки аэродинамических и акустических характеристик винта вертолета.

В первой главе диссертации автором приведены модели для описания газодинамического течения около винта (в ближнем поле), в том числе и модель на основе уравнений Навье-Стокса, записанных в неинерциальной вращающейся системе координат и различные модификации вихререзающих подходов. Описана методика моделирования сектора с одиночной лопастью, позволяющая при определенных условиях существенно сократить ресурсоемкость вычислительного метода. В той же главе автором приводится модель для определения акустических характеристик в дальнем поле течения на основе интегрального подхода Фокса Уильямса-Хокинга. При этом автором предложен оригинальный алгоритм реализации метода Фокса Уильямса-Хокинга, в которой интерполяция полей производится на неподвижную контрольную поверхность вокруг вращающегося винта.

Во второй главе автор приводит описание численных методов использованных в работе. Приведено подробное описание численного метода повышенной точности для гибридных неструктурированных сеток на основе квазиодномерной аппроксимации на расширенном реберно-ориентированном шаблоне, применимого для проведения расчетов на неструктурированных гибридных сетках. Также приведено описание методики расчета малоскоростных течений, использование которой актуально при моделировании вращающихся лопастей винта. Приведен алгоритм построения контрольной поверхности и вычисления FWH-интеграла при анализе дальнего поля.

Третья глава посвящена проблемно-ориентированному программному комплексу NOISEtte.Rotor, в котором реализованы описанные в работе алгоритмы и численные методы. Приведены алгоритмические схемы ядра и программных модулей входящих в состав программного комплекса, в том числе модуля построения и преобразования сетки, модуля вычисления аэродинамических сил и модуля определения акустических характеристик в дальнем поле. Также приведено описание системы автоматического тестирования программного комплекса разработанная в ходе работы над ним.

В четвертой главе автор приводит результаты решения задач определения аэродинамических и акустических характеристик модельных винтов, в том числе винта Caradonna-Tung, модельной конфигурации типа «винт в кольце» и модельного несущего винта КБ «Камов» сложной формы. Приведенные результаты вычислительного эксперимента хорошо согласуются с экспериментальными данными, что подтверждает применимость реализованных методов и алгоритмов для определения аэродинамических и акустических характеристик винта вертолета.

В заключении автор приводит основные результаты работы. Она носит целостный характер от постановки задачи, разработки метода, проведения вычислительного эксперимента и верификации результатов моделирования. Благодаря такому подходу результаты диссертации В.Г. Бобкова использованы в практической деятельности АО «Камов» при разработке новых аэродинамических компоновок несущих винтов вертолетов.

Полученные результаты В.Г. Бобкова опубликованы в 7 публикациях соответствующих списку ВАК, 5 из которых входят в индексы цитирования Web Of Science (WoS) и Scopus, а также результаты были представлены автором на более чем 15 научных конференциях.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа Владимира Георгиевича Бобкова соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», и ее автор заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук.

Научный консультант  
Аникин Виктор Андреевич,  
Акционерное общество «Камов»,  
главный конструктор,  
доктор технических наук,  
специальность 05. 07. 01  
140070, МО, Люберецкий район,  
п. Томилино, ул. Гаршина, дом 26/1

В.А. Аникин

Подпись В.А. Аникина заверяю  
Начальник службы по работе с персоналом



Ралдугина Н.В.

(печать)