



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО КАЗЕННОГО ВОЕННОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ
«ВОЕННО-ВОЗДУШНАЯ АКАДЕМИЯ имени
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
(г. Воронеж) в г. Сызрани
(филиал ВУНЦ ВВС «ВВА» в г. Сызрани)

446007, Самарская область, г. Сызрань, ул. М. Жукова, д.1
тел. (8464) 37-38-10, факс (8464) 37-37-22

"07.04." 2025 г. № 124/244

Учёному секретарю
Диссертационного совета
24.2.327.09 при Московском
федеральном государственном
бюджетном образовательном
учреждении высшего
образования «Московский
авиационный институт
(национальный
исследовательский
университет)»
канд. тех. наук
Д.Ю. Стрельцу
125993 г. Москва,
Волоколамское шоссе, д.4. А80,
ГСП-3.

О Т З Ы В

на автореферат диссертации Макеева Павла Вячеславовича «Методы численного моделирования нестационарных аэродинамических характеристик и формирования границ области режимов вихревого кольца винтов и их приложение к задачам повышения безопасности полёта вертолёта».

Актуальность работы. Исследования режимов «вихревого кольца» велись различными методами с конца 1940-х годов, однако носили в основном эпизодический и фрагментарный характер. Рассматривались лишь частные случаи, и затрагивалась лишь ограниченная часть явлений, связанных с режимом «вихревого кольца». В результате накопленный опыт исследований

представляет собой сложную «мозаику» из отдельных результатов, затрагивающих различные проявления данных режимов. Поэтому назрела необходимость комплексного исследования аэродинамических характеристик винтов в области режимов «вихревого кольца» и расчёта формирования их границ, потому что это связано напрямую с обеспечением безопасности полёта вертолёт. Отсюда и требование углубленных исследований аэродинамики винтов на особых режимах полета вертолета, таких как режимы «вихревого кольца» несущего (НВ) и рулевого (РВ) винта, а также висения в условиях бокового ветра и горизонтального полета с малыми скоростями со скольжением. Работы в данном направлении особенно актуальны в связи с большим количеством авиационных происшествий, связанных с указанными режимами полета. Экспериментальные модельные исследования этих задач требуют больших материальных затрат и отличаются большой трудоемкостью. Летные исследования на вертолетах кроме того сопряжены с высокой опасностью. Поэтому в последние годы все большую актуальность приобретают численные методы расчёта аэродинамических характеристик винтов вертолета на основе различных математических моделей. Поскольку указанные выше режимы характеризуются значительной нелинейностью вихревого следа за винтами, еще более усиливающейся за счет интерференции винтов, для их исследования необходимо применение нелинейных вихревых моделей. Такие модели сочетают в себе достаточно точное представление пространственного нелинейного вихревого следа за винтами и относительно невысокие требования к вычислительным ресурсам по сравнению с методами, основанными на решении уравнений Навье-Стокса.

Для достижения цели исследований решались следующие задачи:

- выполнен анализ накопленного опыта исследований;
- разработан «инструмент» исследований;

- выполнены параметрические исследования влияния индивидуальных характеристик винтов на границы режимов «вихревого кольца», что непосредственно связано с безопасностью полётов;
- проведена серия исследований, направленных на получение новых комплексных данных об аэродинамических характеристиках винтов вертолёт в области режимов «вихревого кольца» и др.

Научная новизна работы заключается в том, что все поставленные задачи успешно выполнены.

Практическая значимость

Получен большой объем информации о структурах вихревого следа и полях скоростей в потоке для комбинации НВ и РВ на особых режимах полета, отличающихся высокой степенью интерференции между винтами. Рассчитаны аэродинамические характеристики НВ и РВ с учетом их взаимного индуктивного влияния - интерференции. Проанализированы физические процессы, протекающие при работе комбинации НВ и РВ вертолета одновинтовой схемы и их роль в возникновении и характере эффектов интерференции, проявляющихся в изменении аэродинамических характеристик винтов. Произведены расчет и оценка потребных для обеспечения путевой балансировки вертолета углов установки РВ с учетом интерференции.

Примененный метод расчета аэродинамики комбинации НВ и РВ вертолета одновинтовой схемы позволяет проводить комплексный анализ физической картины обтекания винтов на особых с точки зрения интерференции между винтами режимах полета вертолета. Позволяет получать полные аэродинамические характеристики винтов и оценивать влияние интерференции на обеспечение балансировки вертолета.

Замечания:

- при рассмотрении различных моделей несущих винтов, отличающихся геометрической компоновкой, расчётной нагрузкой,

величиной комлевого радиуса, геометрической круткой и пр. отсутствует, на наш взгляд, оценка влияния аэродинамической крутки и динамической крутки, которая характерна для лопастей, выполненных из композиционных материалов;

– вводится такой термин как кинематическая скорость. Из автореферата не ясно, предполагается ли там учёт махового движения лопасти и учёт, возможно, упругой составляющей скорости.

– отдельно хотелось бы остановиться на том, что негативное влияние режима «вихревого кольца» возможно лишь при строго определённом сочетании целого ряда факторов. Но как только ситуация меняется, то и само явление исчезает. Важно понимать, что режим «вихревого кольца» на рулевом винте - это лишь одна из причин возникновения более сложного явления, такого как лавинообразное самопроизвольное левое вращения вертолѐта.

Однако данные замечания не являются существенными и ни в коей мере не снижают научной значимости работы, не оказывают влияния на положительную оценку работы. Анализируя сказанное, можно сделать однозначный вывод, что диссертационная работа Макеева Павла Вячеславовича «Методы численного моделирования нестационарных аэродинамических характеристик и формирования границ области режимов вихревого кольца винтов и их приложение к задачам повышения безопасности полѐта вертолѐта» является завершённым научным исследованием и удовлетворяет необходимым требованиям ВАК РФ, а ее автор Макеев Павел Вячеславович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.12.- Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

Профессор кафедры «Аэродинамики и динамики

