УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего директора –
главный конструктор ОКБ
ПАО «Казанский вертолетный завод»

_____А.О. Гарипов

«03» 12 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Публичного акционерного общества «Казанский вертолетный завод» на диссертационную работу Ледянкиной Ольги Анатольевны на тему «Методология имитации внешних нагрузок, действующих на одновинтовой вертолет с бесшарнирным несущим винтом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Актуальность темы диссертационной работы.

Применение бесшарнирных несущих винтов на вертолетах стало возможным в связи с развитием технологии изготовления ответственных элементов конструкции авиационной техники из композиционных материалов. Применение новых материалов и технологий приводит к упрощению конструкции втулки и удешевлению технической эксплуатации вертолета. Особым местом в обосновании прочности и надежности втулки несущего винта является определение нагрузок, приходящих на втулку несущего винта, во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации вертолета. Внешнее нагружение несущего винта определяется расчетными методами и непосредственно измеряется в полете на лопастях и втулке. Определенная таким образом внагрузка на винт используется в различных областях проектирования и изготовления вертолета, начиная от обоснования прочности и ресурса лопастей и втулки и заканчивая имитацией этих нагрузок при отработке пилотирования на пилотажных стендах и тренажерах. Во всех этих случаях необходимо иметь достоверные данные по нагрузкам на различных режимах ожидаемых условий эксплуатации вертолета, поэтому тема рецензируемой диссертации является актуальной.

Целью исследования является разработка методологии имитации внешних нагрузок для оперативного их определения в реальном времени, что является важной научно-технической задачей. И она решена автором – построена

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)
Вх. № 8609
от 04 12 2020 г.

методология имитации искусственными нейронными сетями внешних нагрузок на втулке несущего винта.

Оценка содержания и структуры работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержание и структура диссертации соответствует выполненной работе и решениям задач исследования.

Во введении обоснована актуальность темы выполненной диссертации, определена цель исследования, сформулирована научная новизна, практическая значимость и основные положения диссертации, выносимые на защиту и определен личный вклад автора диссертации. Показано соответствие диссертации научной специальности. Приведено краткое описание выполненной работы, сведения об апробации работы и ее публикации.

В первой главе представлена структурная схема нагрузок, действующих на вертолет в общем случае пространственного движения, определены этапы построения имитационной моделей нагрузок, действующих на агрегаты вертолета: обоснование совокупности основных параметров, создание обучающей выборки для каждого режима полета, определение конфигурации искусственной нейронной сети и тестирование полученной сети.

Во второй главе разработана структура и топология искусственных нейронных сетей для обеспечения точности моделирования. Представлены псевдокоды обученных нейронных сетей, готовые к применению для выбранного вертолета. Разработан эффективный метод моделирования нагрузок на несущем и рулевом винтах при изменении их скорости вращения. В результате получены и опробованы имитационные модели агрегатов вертолета, необходимые для моделирования динамики вертолета в ожидаемых условиях эксплуатации. Создана структура имитационных моделей вертолета для расчета нагрузок.

Третья глава посвящена настройке разработанной методологии построения имитационных моделей применительно к конкретному вертолету и конкретной математической модели расчета балансировки и динамики полета вертолета. Путем сравнения с результатами летных испытаний показана возможность воспроизведения нагрузок, действующих на вертолет в конкретных условиях эксплуатации. Выявлена необходимость и решена задача уточнения разработанных имитационных моделей, построенных по результатам математических моделей по данным летных экспериментов. Построены имитационные модели второго уровня для коррекции псевдокодов уже обученных нейронных сетей. Работоспособность имитационных моделей подтверждена внедрением разработанных моделей в математическую модель пилотажного стенда, «полеты» на котором позволили окончательно

подтвердить правильность разработанной методологии моделирования нагружения вертолета искусственными нейронными сетями.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Структура, объем и основное содержание диссертационной работы соответствует требованиям, предъявляемым к научным квалификационным трудам.

Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертационного исследования в полном объеме.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов в области исследований по пункту 1 «Методы определения внешних нагрузок, действующих на объекты авиационной, ракетной и космической техники», включая следующие подпункты:

разработка математических моделей внешних динамических нагрузок, действующих на летательный аппарат;

вопросы измерения и воспроизведения нагрузок, действующих на ЛА в условиях летных и наземных испытаний.

Достоверность научных результатов подтверждается корректным использованием методов исследования, сравнением результатов решения тестовых задач с материалами исследований других авторов, а также соответствием результатов моделирования экспериментальным данным.

Исследования теме диссертации представлены в 12 научных трудах включая 5 научных статьей, опубликованных в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, переводные версии которых представлены в системе цитирования Scopus, и публикации в трудах научно-технических 2 конференций. Получены один патент на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке методологии определения внешних нагрузок, разработке новых подходов к расчету нагрузок на винтах вертолета при изменении их скорости вращения, а также оригинального подхода к моделированию погрешностей.

Практическая значимость определяется применением разработанных моделей в пилотажном тренажере вертолета, а также возможностью применения разработанной методологии в работе опытных конструкторских

бюро и в учебном процессе ВУЗов при обучении по авиационным специальностям.

Научная новизна

1. На основе алгоритмов искусственных нейронных сетей впервые разработана методология построения имитационных моделей нагружения основных агрегатов одновинтового вертолета.
2. Созданы новые имитационные модели нагружения основных агрегатов одновинтового вертолета, оснащенного бесшарнирным несущим винтом.
3. Предложен эффективный способ учета влияния оборотов несущего и рулевого винтов на нагружение вертолета, существенно сокращающий трудоемкость создания имитационных моделей винтов при сохранении требуемой точности имитирования.
4. Предложен новый способ моделирования погрешностей для коррекции результатов имитационных моделей по летным данным натурного летного эксперимента, основанный на моделировании коррекционных зависимостей искусственных нейронных сетей.

Замечания по диссертационной работе:

Из диссертационной работы не ясно каким образом учитывалось изменение скорости звука при изменении высоты полета и температуры воздуха (влияние числа Маха на конце лопастей) на силы и моменты, действующие на винты. Проводилось ли обучение искусственной нейронной сети для различных чисел Маха и Рейнольдса в сечениях лопастей несущего и рулевого винтов при изменении температуры, влажности воздуха и частоты вращения несущего и рулевого винтов?

В работе разработан «способ сближения характеристик модели динамики полета к летным испытаниям», который, по утверждению автора, позволяет скорректировать балансировочные характеристики вертолета, полученные расчетом до летных данных за 400 тысяч циклов обучения, хотя на рис 3.19 можно видеть число циклов Nc = 4 млн. В качестве входных данных при обучении искусственной нейронной сети используется только один параметр: скорость горизонтального полета вертолета. Достаточно ли одной скорости для приведения результатов расчета нагрузок на агрегаты вертолета к летным данным при сложном пространственном движении воздушного судна на разных барометрических высотах и климатических условиях?

Следует отметить, что вышеперечисленные замечания не затрагивают основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту, не снижают научно-практическую значимость проведенных автором исследований.

Заключение

Диссертация Ледянкиной О.А. «Методология имитации внешних нагрузок, действующих на одновинтовой вертолет с бесшарнирным несущим винтом» выполнена на высоком научном уровне, представляет законченное научное исследование и соответствует требованиям «Положения о присуждении научных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., а ее автор Ледянкина Ольга Анатольевна заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Доклад по диссертационной работе заслушан, а отзыв рассмотрен и одобрен на НТС Публичного акционерного общества «Казанский вертолетный завод» (протокол №14 от 02.12.2020 г.).

Начальник отдела прочности и аэродинамики
ПАО «Казанский вертолетный завод»
кандидат технических наук _____ Е.И. Николаев
03.12.20г.

Николаев Евгений Иванович
научная специальность 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов
ПАО «Казанский вертолетный завод»
420006, г. Казань, ул. Тэцевская, 14
тел. +7(843)549-66-99
Электронная почта: kvz@kazanhelicopters.com
Сайт: https://www.rhc.aero/structure/kazanskiy-vertoletnyy-zavod