

**УТВЕРЖДАЮ**

Исполнительный директор

АО «Камов»



С.И. Михайлюк  
2019г.

## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Акционерного общества «Камов» на диссертационную работу Кручинина Михаила Михайловича «Методика выбора параметров колесного шасси одновинтового вертолета на основе формально-имитационных математических моделей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

### **Актуальность темы диссертации**

Используемые в настоящее время в процессе проектирования шасси вертолета математические модели амортизаторов, получены на основе проведенных ранее стендовых испытаний. Методика разработки шасси на основе данных моделей требует большого объема времени и средств. При сертификации вертолета, подтверждение требований АП-29 также проводится путем проведения стендовых и летных испытаний. Это приводит к многочисленным доработкам и модификациям шасси в процессе разработки.

Существует необходимость в изменении методики разработки шасси основанной на аналитических расчетах амортизаторов и пневматиков, при использовании которой полученная конструкция шасси с первого раза редко соответствует всем предъявленным требованиям. Численные методы позволяют получить более точный результат при расчете амортизации шасси.

При моделировании посадки сила тяги несущего винта в соответствии с АП-29 задается равной весу вертолета, однако, на самом деле направление и величина силы тяги изменяются по времени, в зависимости от положения органов управления несущим винтом.

Представленная работа направлена на решение вышеперечисленных проблем.

**Цель диссертации** – разработка методики выбора параметров колесного шасси вертолета одновинтовой схемы на основе математических моделей его движения по поверхности земли в стандартных условиях и в особых случаях представляется актуальной и практически важной. Использование математических моделей, основанных на численных методах, делает расчеты более достоверными, становится возможным существенное

сокращение объема работ при проектировании шасси путем замены части натуральных стендовых и летных испытаний математическим моделированием.

**Объектом исследования** является вертолет одновинтовой схемы с трехопорным колесным шасси, при этом данная методика может быть применена на другие схемы вертолета и другие схемы шасси.

### **Оценка содержания диссертационной работы и ее завершенность**

Содержание диссертации отражает процесс поиска решений задач, сформулированных соискателем и обеспечивающих достижение цели работы:

1. Разработка математических моделей для расчета динамики шасси, амортизаторов и пневматиков колес.
2. Моделирование копровых испытаний передней и основной опор шасси.
3. Разработка на основе линейной дисковой вихревой теории математической модели несущего винта вертолета для описания сил и моментов, возникающих на несущем винте при взлете и посадке вертолета с учетом влияния земли.
4. Разработка абсолютно жесткой и упругой моделей планера вертолета.
5. Разработка и программная реализация математической модели динамики вертолета при его движении по поверхности земли с учетом влияния силы тяги несущего винта и крутящего момента, изменяющихся по времени, в стандартных условиях и особых случаях.
6. Оценка влияния конструктивных параметров амортизатора и внешних условий посадки вертолета на соответствие шасси заданным требованиям.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, направленного на повышение точности расчетов и сокращение времени и стоимости разработки вертолетного шасси определены объект и предмет исследования, сформулированы цель диссертации, задачи, решаемые в ходе работы и положения, выносимые на защиту, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования. Степень разработанности темы исследования представлена в виде обзора отечественных и зарубежных научных работ в области выбора параметров шасси и моделирования динамических процессов при посадке вертолета. Введение содержит так же информацию о степени достоверности и апробации результатов исследования.

**В первой главе** дано описание конструкции, методов расчета, проектирования и испытаний колесного шасси вертолета. Приведена классификация шасси вертолета, сформулированы основные требования, предъявляемые к шасси вертолета при проектировании.

Проведенный обзор различных конструктивно-силовых схем колесного шасси вертолета показывает их преимущества и недостатки, а так же особенности нагружения элементов конструкции шасси.

Выполнен детальный анализ существующей методики выбора параметров, расчета внешних нагрузок и амортизации шасси вертолета. Проанализированы основные расчетные случаи при посадке вертолета по нормам прочности АП-29 и НЛГВ-2. Приведено описание копровых испытаний опор шасси, необходимых для подтверждения характеристик амортизации при поглощении энергии посадочного удара.

М.М. Кручининим определены недостатки существующей методики разработки колесного шасси вертолета и показана целесообразность построения динамической математической модели вертолета.

**Во второй главе** дано описание построения математической модели динамических испытаний опор шасси вертолета на сброс.

Дано описание конструкции передней и основной опор шасси вертолета, а так же описание работы амортизаторов на прямом и обратном ходе.

Показаны этапы построения формально-имитационных моделей опор шасси вертолета, перечислены допущения принятые при моделировании, проведен сравнительный анализ результатов расчета с данными натурных испытаний.

Анализ диаграмм поглощения работы опорой шасси при сбросе показывает, что результаты моделирования совпадают с экспериментом с точностью  $\approx 5\%$ , что служит доказательством достоверности предложенной методики расчета, причем как на прямом, так и на обратном ходе амортизатора.

**В третьей главе** дано описание моделирования посадки вертолета без пробега по взлетно-посадочной полосе и с пробегом по ней.

Реализована совместная работа различных программных продуктов в рамках единого информационного пространства.

Показаны негативные особенности пирамидальной схемы шасси вертолета: перемещение колеса в поперечном направлении относительно поверхности, приводящее к появлению боковой силы трения. При учете силы трения между колесом и поверхностью нагрузка на основных опорах существенно превышает уровень нагрузок, полученный по существующей методике расчета на режиме вертикальной посадки.

Для корректного учета влияния несущего винта на силы и моменты, передаваемые на фюзеляж, проведен расчет аэродинамических характеристик несущего винта, работающего вблизи земли. Алгоритм расчета основан на линейной дисковой теории. Влияние земли учитывается в расчете отраженным вихревым цилиндром.

Для оценки напряженно-деформированного состояния конструкции под действием возникающих нагрузок построена упругая модель планера вертолета.

Результаты моделирования хорошо совпадают с натурными испытаниями при ударе шасси вертолета о поверхность и описывают кратковременный отрыв шасси от поверхности после первого удара. Следовательно, модель посадки вертолета можно считать достоверной.

С помощью построенной модели проведен инженерный анализ аварийной посадки вертолета с большими скоростями снижения и анализ влияния внешних факторов при посадке вертолета на снег, что, несомненно, представляет большой практический интерес, так как для таких режимов посадки трудно провести летный эксперимент.

**В четвертой главе** показано применение моделирования в качестве системного подхода на различных этапах проектирования шасси вертолета.

Проведенная параметризация математических моделей планера, опор шасси и несущего винта позволяет провести выбор параметров шасси на всех этапах проектирования вертолета и оценить степень выполнения эксплуатационных и компоновочных требований, а также требований норм прочности путем проведения виртуальных копровых испытаний шасси в отдельности, либо моделированием посадки вертолета в различных условиях.

Рассмотренные задачи выбора параметров шасси, подтверждение возможности использования существующего шасси при увеличении взлетной массы вертолета, изучение влияния внешних условий посадки, положения вертолета при посадке на величину нагрузок на шасси решены с помощью предлагаемой методики, следовательно, данная методика применена на практике, что подтверждается актом о внедрении.

Эффект при внедрении данной методики выбора параметров шасси заключается в снижении времени проектирования примерно на полгода и затрат примерно на 30%, по сравнению с существующей методикой.

**В заключении** отражены основные результаты диссертационной работы.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- математическая модель посадки и движения вертолета по поверхности земли разработана с учетом кинематических и динамических характеристик шасси, а так же работы несущего винта вблизи земли.
- методика моделирования основана на описании объектов с различными физическими и структурными свойствами, при этом данная методика реализована в виде совместной работы различных пакетов программ в общем информационном поле с возможностью интерактивного и динамического обмена данными между ними.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем:

- Уточнены диапазоны изменения внешних нагрузок на шасси и планер вертолета в основных посадочных случаях.
- Исследованы различные законы управления вертолетом при посадке в стандартных условиях и особых ситуациях.
- Показана возможность сокращения объема стендовых и летных испытаний при проектировании и сертификации шасси и планера

вертолета путем частичной замены испытаний математическим моделированием.

- На стадии аванпроектов вертолетов Ми-171А3 и перспективного тяжелого вертолета проводится выбор параметров амортизаторов шасси
- Реализована совместная работа программ в рамках единого информационного пространства.

Следует отметить внедрение данной методики в процесс проектирования шасси в ОКБ АО «МВЗ им. М.Л. Миля»

**Достоверность** результатов расчета подтверждена их совпадением с данными стендовых испытаний опор шасси и летных испытаний вертолета Ми-38.

Научные результаты не противоречат опубликованным работам других авторов.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Предложенная методика выбора параметров шасси является достаточно универсальной и может быть использована при разработке колесного шасси различных летательных аппаратов, включая вертолеты и самолеты.

Методика применима при разработке колесного шасси:

- вертолетов с различной конструктивно-силовой схемой шасси на предприятиях холдинга «Вертолеты России»;
- самолетов на предприятиях ОАК.

#### **Публикации и апробация работы**

Промежуточные результаты исследования были представлены в виде докладов на Международных конференциях «Авиация и космонавтика» 2016, 2017 и 2018 гг. в Москве, на Международной научно-технической конференции «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» 2017 г. в Москве, на 12-ом форуме Российского вертолетного общества 2017 г., на XXXXVII Всероссийском симпозиуме, посвященном 70-летию Государственного ракетного центра им. академика В.П. Макеева 2017 г. Автором в соавторстве опубликованы 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

Получен акт о внедрении результатов диссертационной работы М.М. Кручинина.

Объем выступлений и публикаций показывает, что результаты диссертационной работы в полной мере прошли апробацию.

#### **Оценка структуры, объема и стиля диссертации и автореферата**

Диссертация содержит 119 страниц основного текста, 71 рисунок, 16 таблиц и состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 102 наименований.

Диссертация написана грамотным научно-техническим языком.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

**В качестве замечаний можно отметить следующее:**

1. В работе рассмотрена посадка вертолета на неподвижную поверхность, однако на сегодняшний день существует необходимость моделировать также посадки вертолета на палубу движущегося корабля, который качается под действием волнения моря.

2. При утверждении, что методика расчета внешних нагрузок, предложенная в нормах НЛГВ-2 и АП-29 несовершенна, необходимо более подробно рассмотреть сравнение результатов расчета по методике НЛГВ-2 и АП-29 и методики расчета с использованием численного моделирования, предложенной автором.

Приведенные выше замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

**Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям**

Результаты диссертационной работы Кручинина Михаила Михайловича «Методика выбора параметров колесного шасси одновинтового вертолета на основе формально-имитационных математических моделей» можно квалифицировать как решение актуальной научной задачи. Данная диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Кручинин Михаил Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Диссертационная работа Кручинина Михаила Михайловича рассмотрена на научно-техническом совете Акционерного общества «Камов» 06.02.2019 2019 года, протокол № 11/19/НТС

Главный специалист по несущим системам вертолета,  
начальник отделения аэроупругости ОКБ Камов  
доктор технических наук

Бурцев Б.Н.

Подпись Бурцева Бориса Николаевича удостоверяю:

Начальник отдела  
по работе с персоналом  
(должность)



(подпись)

Н.В. Зайцева  
(Ф.И.О.)

Адрес ведущей организации:

140070, Московская область, городской округ Люберцы, рабочий поселок Томилино, улица Гаршина, дом 26/1