

Ученому секретарю диссертационного
совета Д 212.125.10 ФГБОУ
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» (МАИ)

к.т.н., доценту Денискиной А.Р.

125 993 г. Москва, А-80, ГСП-3,
Волоколамское шоссе, д.4

ОТЗЫВ

официального оппонента Д.В. Неделко

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

Существующие методики разработки шасси вертолета основаны на аналитических расчетах нагрузок, которые должны подтверждаться экспериментом. При такой методике часто приходится вносить изменения в конструкцию и весь алгоритм проектирования повторять заново, включая дорогостоящие стендовые и летные испытания.

В представленной на отзыв работе предложено решение данной проблемы, поэтому исследования, проведенные автором, представляются актуальными и практически важными.

Целью диссертационной работы является 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. Расчеты с использованием численных методов более достоверны, а экономический эффект достигается за счет сокращения объема работ при проектировании шасси путем замены части натурных стендовых и летных испытаний математическим моделированием.

В качестве **объекта исследования** выбран вертолет одновинтовой схемы с трехопорным колесным шасси. Математические модели опор шасси, включая формальные модели амортизаторов и имитационные модели пневматиков, построены на основе исходных данных сертифицированного вертолета Ми-38, опоры шасси которого уже прошли стендовые и летные испытания. Поэтому совпадение результатов расчета с данными

эксперимента служит доказательством достоверности предложенной методики.

Диссертация содержит 119 страниц 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 полностью отражает основное содержание диссертации.

Во введении дано обоснование актуальности исследования, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель диссертации, перечислены задачи, решаемые в ходе работы и положения, выносимые на защиту. Показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования. Достоверность результатов расчета подтверждена их совпадением с данными стендовых испытаний опор шасси и летных испытаний вертолета Ми-38. Результаты исследования были представлены автором на 4 международных и 2 всероссийских научных конференциях.

В первой главе описаны основные конструктивно-силовые схемы взлетно-посадочных устройств вертолета, перечислены специфические требования к вертолетному шасси.

Показано, что выбор конструктивно-силовой схем колесного шасси вертолета зависит от условий эксплуатации вертолета и компоновочных требований. Перечислены достоинства и недостатки различных кинематических схем колесного шасси, используемых на современных отечественных вертолетах.

Дано описание существующего алгоритма расчета нагрузок на опоры шасси, необходимого для проведения выбора параметров амортизатора и пневматика. Приведено описание расчетных случаев по нормам прочности НЛГВ-2 и АП-29, применяемых при сертификации вертолетной техники. Описаны копровые испытания шасси вертолета, служащие для подтверждения расчетных характеристик амортизатора при поглощении энергии посадочного удара. Сформулированы допущения и указаны недостатки существующей методики, основным из которых является отсутствие возможности внесения изменений в конструкцию шасси, так как для подтверждения характеристик амортизатора необходимо повторно проводить стендовые испытания.

При постановке задачи исследования перечислены основные этапы построения динамической математической модели вертолета, учитывающей силу трения между колесом шасси и поверхностью земли, аэродинамические силы и моменты на несущем винте, а также упругие свойства планера. То есть те факторы, которые не принимались во внимание ранее.

Во второй главе представлена разработанная автором математическая модель копровых испытаний опор шасси вертолета.

Рассмотрены конструктивные параметры трехопорного колесного шасси с передним колесом на примере шасси транспортной модификации

вертолета Ми-38. Дано описание конструкции передней и основной опор шасси с перечислением основных конструктивных элементов, рассмотрена работа амортизатора при прямом и обратном ходе, определен набор параметров амортизаторов.

Описан процесс синтеза формально-имитационных моделей амортизаторов в программном продукте Simcenter AMESim, как комбинации работы систем различной физической природы, перечислены допущения, принятые при моделировании, проведен сравнительный анализ результатов расчета с данными натурных испытаний. В ходе работы уточнена заложенная в Simcenter AMESim модель турбулентности протекания жидкости сквозь отверстия путем идентификации зависимости коэффициента протекания от числа Рейнольдса по данным эксперимента.

Оценка достоверности моделей амортизаторов проведена с помощью сравнения результатов расчета и данных завода-изготовителя амортизаторов путем сопоставления диаграмм статического и динамического обжатия амортизаторов передней и основной опор шасси вертолета Ми-38.

Механическая часть опор моделировалась путем наложения двухсторонних связей между твердотельными элементами конструкции опор шасси по заданной кинематической схеме. При этом модель амортизатора встраивается в модель шасси для проведения динамического обмена данными. Жесткость пневматика задана по экспериментальным данным.

Выполнен расчет «сбросов» передней и основной опор с начальными условиями, соответствующими проведенным ранее стендовым испытаниям. Анализ результатов расчета показывает хорошую сходимость с данными натурных копровых испытаний для различных условий сброса, что служит доказательством достоверности предложенной автором математической модели.

В третьей главе рассмотрено моделирование посадки вертолета в программном продукте Simcenter.

Источником геометрических данных для создания моделей механизмов шасси несущего винта и фюзеляжа в блоке Motion и создания конечно-элементной модели фюзеляжа в блоке Structures служит система САД моделирования. В блоке управления задаются зависимости от времени углов общего, циклического шага и угловой скорости вращения несущего винта. Задаются начальные условия для расчета: скорость, угол наклона траектории вертолета и высота центра масс несущего винта над поверхностью. В программе Excel формируются массивы исходных данных для расчета в среде Mathcad коэффициентов силы тяги и крутящего момента на несущем винте с учетом влияния земли. На каждом шаге расчета значение тяги и крутящего момента на втулке несущего винта передаются в блок Motion для расчета движения вертолета под действием внешних сил. Силы, возникающие на стойках шасси при амортизации посадочного удара рассчитываются в модуле Amesim и передаются в блок Motion.

В данном исследовании применяется линейная дисковая вихревая теория несущего винта профессора МАИ В.И. Шайдакова, позволяющая рассчитать индуктивные скорости в широком диапазоне углов атаки и скоростей полета. Влияние земли учитывается в расчете отраженным вихревым цилиндром. При известных начальных условиях, параметрах и законе управления проводится расчет изменения по времени действующих на вертолет сил и моментов, в зависимости от скорости и положения вертолета в пространстве.

Данная модель позволяет оценить напряженно-деформированное состояние планера вертолета при различных режимах, в том числе при аварийных посадках.

Анализ показывает, что при вертикальных скоростях посадки $V_y \geq 7$ м/с возможно разрушение планера вертолета в районе хвостовой балки, что согласуется с данными расследования летных происшествий.

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

Показана возможность выбора параметров амортизатора, различных кинематических схем и геометрических параметров шасси для минимизации массы шасси.

С помощью созданной автором математической модели движения вертолета проведено исследование влияния пространственного положения вертолета при посадке в режиме авторотации несущего винта на величину нагрузок, действующих на шасси. По приведенным в диссертации графикам видно, что с ростом угла наклона траектории θ при посадке вертолета отрыв основных опор от поверхности более продолжителен, чем при пологих траекториях. Нагрузки на переднюю опору с ростом угла θ возрастают. Исследования обжатия амортизаторов передней и основных опор показывают, что при больших углах θ амортизатор передней опоры шасси обжимается до предела, из-за этого нагрузки на опоры шасси существенно возрастают.

Автором дана оценка возможности использования существующего шасси вертолета Ми-38 при увеличении его взлетной массы на 900 кг. Показано, что в этом случае необходима модернизация амортизатора передней опоры шасси.

В заключении сделан вывод о том, что цель диссертационной работы достигнута, задачи, поставленные в процессе работы над диссертацией, решены в полном объеме, а также намечены направления дальнейших исследований.

В диссертационной работе автором решены следующие задачи:

1. Разработана математическая модель для расчета динамики шасси, амортизаторов и пневматиков колес.
2. Проведено моделирование копровых испытаний передней и основной опор шасси вертолета Ми-38.

3. Разработана математическая модель несущего винта вертолета для описания сил и моментов, возникающих на втулке винта при взлете и посадке вертолета с учетом влияния земли.

4. Разработаны абсолютно жесткая и упругая модели планера вертолета.

5. Разработана и реализована математическая модель динамики вертолета при его движении по поверхности земли с учетом влияния изменяющихся по времени силы тяги и реактивного момента несущего винта в стандартных условиях и особых случаях.

6. Проведена оценка влияния конструктивных параметров амортизатора и внешних условий посадки вертолета на соответствие шасси заданным требованиям.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработанная математическая модель посадки и движения вертолета по поверхности земли учитывает кинематические и динамические характеристики шасси, а так же работу несущего винта вблизи земли.

2. Методика моделирования основана на описании объектов с различными физическими и структурными свойствами и 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 том, что с помощью предложенной методики появляется возможность: более точно проводить расчет внешних нагрузок на шасси и планер вертолета в основных посадочных случаях; исследовать различные законы управления вертолетом при посадке и взлете в стандартных условиях и особых ситуациях; сократить объем стендовых и летных испытаний при проектировании и сертификации шасси и планера вертолета путем частичной замены испытаний математическим моделированием; проводить на стадии аванпроекта выбор параметров амортизаторов шасси.

Публикации и апробация работы

Промежуточные результаты исследования были представлены в виде докладов на Международных конференциях «Авиация и космонавтика» 2016, 2017, 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 лично и в соавторстве опубликованы 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. В работе рассмотрена лишь одновинтовая схема вертолета с рулевым винтом, однако соосная схема, применяемая на вертолетах производства АО «Камов» не рассмотрена. Данная схема имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при выборе параметров шасси вертолетов соосной схемы.

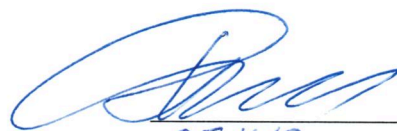
2. В работе рассмотрено моделирование посадки вертолета лишь на неподвижную поверхность, однако сегодня актуальной задачей является исследование поведения вертолета при посадке на палубу движущегося корабля, которая колеблется под действием волнения моря, исследование устойчивости вертолета на качающейся палубе при транспортировке, а также исследование схлестывания несущих винтов при раскрутке.

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

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация Кручинина Михаила Михайловича является законченной научно-исследовательской работой, результаты которой можно квалифицировать как решение научной задачи. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор Кручинин Михаил Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Заместитель начальника
отдела расчетов ОКБ ПАО
«Казанский вертолетный завод»
доктор технических наук



05.11.19

Неделько Д.В.

Подпись Неделько Дмитрия Валерьевича удостоверяю.

Директор по персоналу



М.В. Марюшина

Публичное акционерное общество «Казанский вертолетный завод»

Адрес: г. Казань, ул. Тэцевская, д. 14, 420085.

Тел: +7 (843) 549-66-99

Факс: +7 (843) 549-65-21

kvz@kazanhelicopters.com