

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Смагина Андрея Андреевича на тему **«МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ САМОЛЕТА ПО ЗЕМЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»**, представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Актуальность темы диссертации

Характеристики устойчивости и управляемости самолётов в значительной степени определяют уровень безопасности полётов и эффективность лётной эксплуатации, включая эксплуатацию на взлётно-посадочных режимах полёта.

Взлёт и посадка включают в себя участки движения самолёта по земле или взлётно-посадочной полосе (ВПП) различного состояния в широком диапазоне ожидаемых условий эксплуатации. Разнообразие конструкторских решений и расширение круга задач, решаемых самолётами различного типа и назначения, включая беспилотные летательные аппараты самолётного типа (БПЛА), приводит к необходимости ещё на этапах проектирования проводить оценку возможности обеспечения требуемых характеристик устойчивости и управляемости на наземном участке движения самолёта в ожидаемых условиях эксплуатации. До настоящего времени оценка взлётно-посадочных характеристик на этапах разбега и пробега самолёта в основном выполнялась в ходе лётных испытаний (математическое моделирование работы систем шасси проводилось для спроектированных летательных аппаратов в рамках сертификации или расследования авиационных инцидентов). Очевидно, что на этапе лётных испытаний недостатки в системе торможения и/или управления колёсами шасси, требуют больших затрат на доработку конструкции и могут приводить к лётным происшествиям. Следует также отметить, что разработка летательных аппаратов типа «летающее крыло» без использования вертикального оперения, а также разнообразие конструкторских решений, связанных с широким диапазоном соотношений базы и колеи шасси, повышает требования к характеристикам обеспечения

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«20» 11 2023

путьеой устойчивости самолёта, включая этапы разбега и пробега, и приводит к необходимости использования имитационного математического моделирования на ранних этапах разработки летательного аппарата. В этой связи, диссертационная работа Смагина Андрея Андреевича, посвящённая разработке методики выбора рациональных проектных решений систем управления движением самолета по земле (СУДЗ) с использованием имитационного моделирования, **является актуальной.**

Научная новизна диссертационной работы состоит в создании новой методики выбора проектных решений из разработанных автором матриц проектных решений с использованием моделирования работы систем управления движением по земле. Выбор проектных решений осуществляется при помощи новых критериев оценки рациональности для системы торможения и поворота колёс при реализации систем управления движением самолета по земле.

Предложенная методика выбора рациональных проектных решений систем управления движением самолета по земле позволяет на основе использования технологии виртуальных лётных испытаний решать задачи уменьшения длины пробега, повышения характеристик устойчивости и управляемости самолёта на этапе движения по ВПП различного состояния, расширить область ожидаемых условий эксплуатации, повысить безопасность полётов и эффективности лётной эксплуатации летательных аппаратов (ЛА). Учитывая вышесказанное, можно сделать заключение о том, что тема диссертационной работы Смагина Андрея Андреевича **имеет высокую практическую ценность.**

Достоверность всех полученных результатов подтверждается верификацией математической модели, разработанной автором для решения поставленных задач, путем сравнения с результатами летного эксперимента. Верификация проводилась с использованием методов математической статистики и путем построения коридоров погрешностей.

Работа прошла достаточную апробацию, результаты диссертационной работы представлялись, обсуждались и получили положительную оценку на различных конференциях, в том числе международных. По теме диссертации опубликованы

три научные статьи в рекомендованных ВАК РФ изданиях и одна научная статья, входящая в МСЦ WEB OF SCIENCE.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 5-ти приложений, изложена на 147 страницах печатного текста, включает 68 рисунков, список используемой литературы из 76 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы, направленной на формирование проектных решений для СУДЗ самолетов с нестандартными соотношениями базы и колеи, приведены статистические данные по пропорциям геометрии шасси для различных типов самолетов.

Сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, дана общая характеристика диссертации.

В первой главе автором приводится обзор состояния области исследований и рассмотрена степень разработанности вопросов, касающихся систем торможения колёс (СТК) и механизмов поворота колёс (МПК) с оценкой их влияния на особенности движения ЛА по земле. Рассмотрены возможные пути улучшения характеристик устойчивости и управляемости на наземном участке движения самолёта, из которых автор диссертационной работы обращает особое внимание на необходимость доработки конструкции агрегатов и систем шасси, изменение способов управления системами шасси на стадии проектирования и выбора проектных решений. На основании выполненного анализа делается заключение, что формирование проектных решений должно осуществляться по специальной методике, позволяющей заранее до этапа лётных испытаний оценивать и при необходимости доводить до приемлемого уровня характеристики и ограничения системы торможения и поворота колёс при движении по земле. В рамках предлагаемой методики даётся математическая постановка задачи исследования.

Во второй главе описана методика выбора проектных решений СУДЗ из соответствующих матриц проектных решений для СТК и МПК.

Для принятия проектных решений автором предлагается выполнять поэтапную оптимизацию проектных решений и их поверку путем математического моделирования с использованием модулей выбора проектных решений. Поэтапная оптимизация проектных решений выполнена на базе разработанных автором диссертационной работы четырех критериев выбора проектных решений (критериев рациональности):

- К1 - удельная кинетическая энергия, поглощаемая единичной массой исполнительного агрегата СТК;
- К2 - удельный управляющий момент, реализуемый единичной массой исполнительного привода МПК;
- К3 – относительная длина пробега (относительно теоретически минимальной);
- К4 – максимальное боковое отклонение самолёта от оси ВПП при развитии колебательного процесса движения на пробеге.

Автором диссертационной работы приводится описание работы модуля выбора проектных решений СТК для выбора типоразмеров колёс и тормозов (приводится блок-схема модуля СТК в приложении Д), и модуля выбора проектных решений МПК передней опоры для расчёта моментов от внешних сил (располагаемого момента) и оценки массы привода (приводится блок-схема модуля МПК).

На примере выбранных прототипов (самолётов оперативно-тактической авиации, имеющих стандартные схему и пропорции шасси), приводятся результаты поблочной верификация модулей методики на тестовых примерах:

- Для СТК приводятся области существования типоразмеров колёс основной опоры с учётом габаритов выбранных тормозов и области существования типоразмеров колёс передней опоры;
- Для МПК результаты сопоставления расчётного момента привода и его массы, с характеристиками, полученными на прототипе.

Результаты верификации позволяют сделать заключение о достаточной схожести оцениваемых параметров с параметрами выбранных прототипов.

В третьей главе описано построение математической модели, которая воспроизводит движение среднеразмерного ЛА с трёхопорным шасси (носовое колесо управляемое, колёса основных опор тормозные). Дается описание пространственного движения центра масс ЛА, описание динамики качения колеса с упругой шиной, динамики качения тормозных колёс, математическое описание алгоритмов управления тормозной системой. Приводится описание математической модели работы шины с учётом боковой жёсткости и демпфирующих свойств шины, перемещения центра пятна контакта на определённую величина с определённой скоростью под воздействием боковой силы. Предлагаемый автором диссертационной работы алгоритм автоматического управления поворотом колес передней опоры, построен встроенными средствами ADAMS на базе функции динамического отслеживания изменения четырех параметров движения: скорости качения самолета, угловой скорости рыскания, угла курса и линейного бокового отклонения ЛА от оси ВПП. Максимальный угол отклонения носового колеса ограничивается скоростью его качения.

Для оптимизации работы системы управления движением по земле разработана матрица расчетных ситуаций (учёт 8 эксплуатационных факторов), представляющая собой набор параметрических тестов для математической модели, позволяющих оценить эффективность систем шасси по критериям К3 и К4.

Для установки связи между проектными решениями и полученными по математической модели характеристиками СТК и МПК автором предложены модули корректировки, представленные в виде блок-схем. Общий принцип корректировочных модулей основан на принципе рациональной модификации системы под удовлетворение требований общих критериев К3, К4 с минимальным ухудшением частных критериев К1, К2.

В четвертой главе помещены результаты верификации математической модели и показан пример практического применения методики.

Верификация математической модели выполнена двумя способами: построение коридоров погрешности параметров по времени пробега и статистическая обработка результатов моделирования. Результаты верификации показали удовлетворительную сходимость результатов математического моделирования с данными лётных испытаний.

В заключении подведены итоги, описаны основные результаты проведенной работы и сделан вывод об их соответствии поставленной цели и задачам.

В диссертационной работе содержится **5 приложений** в которых приведены структурная схема взлетно-посадочных устройств, табличные базы данных (матрицы проектных решений) СТК, МПК и СУДЗ, а также приводятся блок-схемы алгоритмов методики.

Диссертационная работа Смагина Андрея Андреевича написана чётким, ясным языком с хорошей логической последовательностью изложения. Материалы диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в печатных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, представлены и получили положительную оценку на международных научно-технических конференциях.

Автореферат и научные публикации отражают содержание диссертации. Диссертационная работа в целом является логичным, законченным, самостоятельным исследованием, имеющим как научную новизну, так и практическую значимость. Выводы и рекомендации обоснованы.

Вместе с тем необходимо указать на следующие недостатки:


1. На рис. 1.2 не указано, для какого состояния ВПП получены результаты по величине управляющего момента от носового колеса.
2. На рис. 2.1 не ясно по каким нормативным документам получены граничные значения критериев К3 и К4.
3. Блок-схема модуля «Динамика», изображённая на рис. 2.6, имеет незаконченную ветку.

4. В оценке эффективности управления носовым колесом на пробеге не учитывается вклад, который вносят средства аэродинамического управления по рысканию и крену.
5. В математическом описании алгоритмов управления тормозной системы (глава 3, стр. 66-67) не ясно, как определяются или задаются коэффициенты сцепления тормозных колёс.
6. В описании динамики качения тормозных колёс не верно дается определение относительного проскальзывания колёс S (формула 3.2): формула не работает при нулевой тангенциальной скорости колеса (на режиме юза).
7. Описание закона автоматического управления носовым колесом носит поверхностный характер со ссылкой на функцию динамического отслеживания параметров движения.
8. В блок-схеме корректировочного модуля для МПК (рис. 3.6) допущена ошибка в блоке проверки условия по ΔZ_{\max} .
9. Текст диссертационной работы изобилует сокращениями, затрудняющими чтение материала.
10. В материалах автореферата и диссертации встречаются опечатки и стилистические погрешности.

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, представленная для оппонирования диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Предложенная автором диссертационной работы Смагиным Андреем Андреевичем методика выбора рациональных проектных решений систем управления движением самолета по земле с использованием имитационного математического моделирования и технологии виртуальных лётных испытаний, позволяет на начальных этапах проектирования **оптимизировать проектные решения**, а для самолетов со стандартными пропорциями шасси, методика позволяет **повысить качество проектирования** СТК и МПК за счет повышения полноты оценки их характеристик и ограничений при движении по земле.

По объёму выполненных исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г., а её автор Смагин Андрей Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
начальник отдела 901 ПАО «МИЭА»


Гребенкин А.В.

«15» 11 2023 г.

Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и авиатики»

Адрес: 125167, город Москва, Авиационный переулок, 5

Тел.: [+7 \(499\) 152-48-74](tel:+7(499)152-48-74)

e-mail: inbox@aomiea.ru

Официальный сайт: <https://miea.kret.com/>

Подпись Гребенкина Александра Витальевича удостоверяю

Учёный секретарь к.т.н., с.н.с.

Кербер О.Б.

(должность)

(Фамилия И.О.)



С отзывом ознакомлен.
Смагин А.А. / 20.11.23