

Публичное акционерное общество



«Авиационная корпорация  
« Р у б и н »

143903, Московская область, г. Балашиха  
Западная промзона, шоссе Энтузиастов, д.5  
приемная: тел. 8(495) 521-50-65  
общий отдел: тел. 8(495) 521-51-94  
факс 8(495) 521-53-11  
E-mail : [info@akrubin.ru](mailto:info@akrubin.ru)  
23.11.2023 № 16873/200.2

И.О. проректора по научной работе  
Федерального государственного  
бюджетного образовательного учре-  
ждения высшего образования «Мос-  
ковский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)», д.т.н., профессору  
Равиковичу Ю.А.

---

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д. 4

Уважаемый Юрий Александрович!

В ответ на Ваше письмо (исх. 010/12-24.2.327.09 от 02.11.2023), направляем отзыв ведущей организации ПАО АК «Рубин» 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».

Приложение: Отзыв ведущей организации на 5 листах, 2 экз.

Главный конструктор по ВПУ

В.В. Блохин

Исполнитель Волков С.В.  
Тел. +7(495)521-72-71, [volkov\\_sv@akrubin.ru](mailto:volkov_sv@akrubin.ru)

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

24 11 2023

УТВЕРЖДАЮ

Главный конструктор по ВПУ  
ПАО АК «Рубин»

В.В. Блохин

« 23 » 11 2023 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации ПАО Авиацiонная корпорация «Рубин» 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**

Проектирование широкой номенклатуры современных типов самолетов требует решения проектировочных задач, связанных с разработкой агрегатов и систем взлетно-посадочных устройств, которые должны обеспечивать устойчивость и управляемость при движении по земле во всем диапазоне скоростей.

Ограничения, накладываемые принятыми проектными решениями в части внешнего облика некоторых современных самолетов, их конструктивно-силовых схем и компоновки могут приводить к нестандартным соотношениям базы и колеи шасси (БПЛА схемы «летающее крыло», сверхзвуковые административные самолеты), в результате чего такие летательные аппараты приобретают особенности при движении по земле-склонность к рысканью при несимметричном торможении, недостаточную управляемость в канале курса и ряд других. Если для самолетов с общепринятой «стандартной» компоновкой шасси относительно центра масс подобные особенности практически исключены, то для некоторых типов самолетов требуется оценка характеристик устойчивости и управляемости на стадии формирования проектных решений для систем и агрегатов шасси. Известные существующие методики не подразумевают подобной оценки, что делает работу Смагина А.А. актуальной и практически ценной.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

« 27 » 11 2023 г.

## **Структура и содержание 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** обоснована актуальность темы диссертационной работы, направленной на формирование проектных решений систем управления движением по земле (далее СУДЗ) самолетов с нестандартными пропорциями шасси, приведены статистические данные по пропорциям базы и колеи шасси для различных типов самолетов.

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

**В первой главе** рассмотрена степень разработанности темы исследования в части существующих методов проектирования, а также вопросов, касающихся систем торможения колёс (СТК) и механизмов поворота колёс (МПК) с оценкой их влияния на особенности движения по земле. На основании выполненного анализа делается заключение, что рациональный выбор проектных решений требует внедрения специальной методики, позволяющей заранее до этапа лётных испытаний оценивать и при необходимости доводить до приемлемого уровня характеристики и эксплуатационные ограничения при движении по земле. Приводится математическая постановка задачи исследования.

**Во второй главе** описана методика выбора проектных решений, изложены алгоритмы и формульные зависимости методики. Приведены и обоснованы критерии, используемые в методике. Приведена систематизация потенциально возможных проектных решений в матрицы проектных решений. Проведена поблочная верификация модулей методики на тестовых примерах. Результаты верификации позволяют сделать заключение о достаточной сходимости оцениваемых параметров с параметрами выбранных прототипов.

**В третьей главе** описано построение математической модели, которая воспроизводит движение самолета с трёхопорным шасси. 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.

Для оптимизации работы системы управления движением по земле разработана матрица расчетных ситуаций, представляющая собой набор параметрических тестов для математической модели.

Для интерпретации результатов моделирования автором предложены модули корректировки, представленные в виде блок-схем.

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

Верификация математической модели выполнена по летному эксперименту 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.

Научная новизна состоит в создании новой методики выбора проектных решений для систем управления движением по земле самолета с трехопорным шасси.

Предложен усовершенствованный алгоритм проектирования, в рамках которого стадии выпуска рабочей конструкторской документации предшествуют виртуальные испытания, позволяющие оценивать характеристики и ограничения со степенью подробности, которая ранее обеспечивалась лишь в процессе приемосдаточных испытаний агрегатов и систем шасси в составе самолета. Методика устанавливает связь между выбранными проектными решениями и обеспечиваемыми характеристиками движения по земле, позволяя разработчику выбрать направление оптимизации СУДЗ.

Автором введены новые критерии оценки рациональности проектных решений в части отдельных систем шасси и предложены систематизированные матрицы проектных решений для систем.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что использование методики при проектировании позволяет обеспечить гарантированные «виртуальными испытаниями» преимущества во всем диапазоне эксплуатационных ограничений и скоростей движения по земле:

- повышение безопасности полетов, в том числе и при возникновении аварийных ситуаций в процессе движения (разрушение шин, отказы подсистем шасси);

- предсказуемый отклик на управляющий сигнал в канале курса (отсутствие склонности к прогрессирующим курсовым колебаниям при торможении на покрытии с различными коэффициентами сцепления, требующей постоянных импульсных воздействий летчика);

**Достоверность всех полученных результатов** подтверждается верификацией математической модели, разработанной автором для решения поставленных задач, путем сравнения с результатами летного эксперимента.

Работа прошла достаточную апробацию 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 международную систему цитирования WEB OF SCIENCE.

Автореферат и научные публикации отражают содержание диссертации. Диссертационная работа в целом является логически выстроенным, целостным и самостоятельным исследованием, имеющим как научную новизну, так и практическую значимость.

**Тем не менее, выявлены следующие недостатки:**

1. Из текста диссертации не ясно, каким образом выполнен расчет момента от внешних сил на поворотную часть передней опоры (рис. 2.13): использована ли для этого целевая математическая модель, или какой-либо аналитический метод.
2. При построении областей существования тормозных колес автором наносится ограничение по размерности тормоза, однако во всех рассмотренных примерах это ограничение не влияет на область существования колеса. Из поясняющего текста неясно, всегда ли это так и зачем тогда нужно такое ограничение.
3. На страницах 43-44 не обосновано, почему автор задается некоторыми конкретными значениями размеров узлов и деталей тормозного колеса.
4. В расчетах автором не используется единая система размерностей физических величин.
5. В материалах автореферата и диссертации присутствуют неточности в написании формул (одни и те же физические величины, параметры и характеристики обозначены разными символами).
6. На стр. 52 имеется опечатка в обозначении размерности давления в колесе (указано  $\text{кгс}\cdot\text{см}^2$ )

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу по актуальной для современной авиационной промышленности теме.

Диссертационная работа полностью 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».

Отзыв на диссертационную работу рассмотрен и одобрен на заседании НТС ПАО АК «Рубин» (Протокол 1/011 от 14.11.2023).

Доктор технических наук,  
ведущий инженер-конструктор

« 22 » 11 2023 г.

А.Н. Лисин

Заместитель генерального директора  
по перспективным разработкам –  
Главный конструктор

« 22 » 11 2023 г.

В.И. Третьяк

Публичное акционерное общество Авиационная корпорация «Рубин»

Адрес: 143912, Московская обл., г. Балашиха, Западная промзона,

ш. Энтузиастов, 5.

Тел.: +7 (495) 521-51-94; +7 (495) 521-53-11

e-mail: info@akrubin.ru

Официальный сайт: <https://acrubin.ru/>

С отзывом ознакомлен  
27.11.23 Селу