МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи 04200851883

БЕХТИНА НАТАЛИЯ БОРИСОВНА

УДК 629.735.07

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО

ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ ТРАНСПОРТНЫХ

САМОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ

МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ШАССИ

Специальность 05.22.14 - Эксплуатация воздушного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук,

профессор

Кубланов М.С.

Москва 2008

2 оглавление

Список использованных обозначений и сокращений 5

ВВЕДЕНИЕ 8

Глава 1. Анализ исследований работы шасси на этапах взлета и посадки

воздушных судов 20

1.1 Вводные замечания 20

1.2 Шасси самолета 24

1.3 Силы взаимодействия колеса с поверхностью ВПП 33

1.4 Сила трения 35

1.5 Продольное взаимодействие колеса с взлетно-посадочной полосой

38

1.5.1. Теоретические основы замера коэффициента сцепления 38

1.5.2 Состояние ВШІ в зависимости от осадков 40

1.5.3 Методы и средства оценки условий торможения ВС 42

1.5.4 Скольжение колеса 44

1.5.5. Влияние относительного скольжения колеса на силу продольного сцепления 48

1.5.6. Влияние скорости движения ВС на продольную силу сцепления53

1.5.7. Влияние давления воздуха в пневматике на силу продольного сцепления 57

1.5.8. Влияние осадков на ВПП на продольную силу сцепления 59

1.5.9. Принцип работы автомата юза 67

1.6. Конструктивные особенности взлетно-посадочных полос 70

1.7. Поперечное взаимодействие колеса с взлетно-посадочной полосой73 1.8 Выводы по главе 1 79 Глава 2. Математическая модель движения ВС на этапах взлета и посадки 1 2.1 Вводные замечания 81 2.2. Особенности математического моделирования движения ВС на этапах взлета и посадки 83

2.3 Система дифференциальных уравнений динамки полета ВС 86

2.4 Структурная схема математической модели движения ВС на этапах взлета и посадки 91

2.5 Метод численного интегрирования дифференциальных уравнений \* движения шасси по ВПП 98

2.6 Методы оценки адекватности результатов расчетов с помощью СММ ДП ЛА взлету и посадке ВС 104

2.6.1 Методика статистической оценки адекватности математической модели экспериментальным данным 106

2.6.2 Эвристический метод идентификации математической модели 110

2.7 Выводы по главе 2 113

Глава 3 Разработка унифицированной математической модели

горизонтальных сил взаимодействия шасси с ВПП 115

3.1 Аппроксимация продольного коэффициента сцепления 115

3.1.1 Статистический (регрессионный) анализ экспериментальных данных предельного коэффициента сцепления 117

3.1.2 Статистический (регрессионный) анализ экспериментальных данных коэффициента сцепления скольжения 129

3.1.3 Статистический (регрессионный) анализ экспериментальных данных предельного относительного скольжения 140

3.1.4 Статистический (регрессионный) анализ экспериментальных данных общего коэффициента сцепления 144

3.2 Аппроксимация поперечного коэффициента сцепления 146 \*

3.3 Применение принципа эллипса трения 164

3.4 Доказательство адекватности и идентификация математической модели взаимодействия шасси с взлетно-посадочной полосой 165

3.4.1 Анализ результатов испытаний самолета Ту-204 на ВПП 166

3.4.2 Сравнение результатов вычислительных экспериментов с данными летных испытаний 173

3.5 Выводы по главе 3 190

4 Глава 4. Решение задач летной эксплуатации воздушных судов

гражданской авиации 192

4.1 Вводные замечания 192

4.2 Анализ посадки самолета Ту-154Б-2 RA-85477 в а/п Томск 26 декабря 1996 года 193

4.3 Исследование поведения самолета Ту-204 при боковом заносе 207

4.4 Выводы по главе 4 214

Заключение 217

Список использованных источников 220

ПРИЛОЖЕНИЕ і 241

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 243

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 248

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 250

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 261

ПРИЛОЖЕНИЕ 6 296

Акты внедрения 297

Заключение

Работа направлена на решение задачи, имеющей существенное значение для авиации: создание обоснованных и достоверных методов разработки предложений и рекомендаций по ЛЭ ВС. Целью данной работы явилась разработка предложений и рекомендаций по ЛЭ ВС на этапах взлета и посадки с помощью унифицированной математической модели взаимодействия шасси самолета с ВПП.

Основные выводы по проведенным исследованиям сформулированы в конце каждой главы диссертации. Наиболее общими результатами работы, полученными на основании анализа экспериментальных данных и математического моделирования, являются следующие.

1. Разработка рекомендаций по ЛЭ ВС ГА на ВПП невозможна \*.с

помощью одних лишь летных испытаний, но возможна на основе ММ,

идентифицированных по результатам ЛИ.

2. Для обеспечения необходимого уровня адекватности

существующие ММ должны быть уточнены и расширены в части описания

взаимодействия колес шасси с ВПП в продольном и поперечном

направлениях в зависимости от метеоусловий, состояния покрытия и

геометрического профиля, учитывающего реальные физические

закономерности коэффициента сцепления, а также в части описания

работы автомата юза и конструктивных особенностей поверхности ВПП.

3. Сложившаяся терминология в области трения должна быть

уточнена: в частности, под силой сцепления колеса следует понимать

тангенциальную силу Т, возникающую в плоскости контакта колеса с

опорной поверхностью независимо от режима движения колеса; под силой

трения следует понимать лишь составляющую силы сцепления, лежащую в

плоскости колеса.

218

4. Выявлены наиболее существенные факторы, определяющие силу

сцепления:

- нагрузка на зону контакта колеса с ВПП;

- скорость относительного скольжения колеса по поверхности ВПП;

- боковой увод колеса;

- скорость движения (качения);

- состояние поверхности ВПП;

- давление в пневматике.

5. Для разработки рекомендаций по летной эксплуатации ВС ГА на

участках взлета и посадки выбран метод математического моделирования,

а в качестве инструмента исследования - СММ ДП ЛА, позволяющая

получать результаты ВЭ, пригодные для этого.