

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ»
Факультет гражданской авиации
Кафедра естественнонаучных и общенаучных дисциплин



Конкурсная работа

Тема

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ ОТКАЗОВ
АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ САМОЛЕТОВ

BOEING 737-300/500 И EMBRAER 175/195

Бельская Дана Евгеньевна

очная форма обучения

1-31 04 01 «Техническая эксплуатация воздушных судов и двигателей»

3 курс, группа М118

Научный руководитель: Филиппенко Ольга Сергеевна, старший
преподаватель

МИНСК, 2021

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Постановка задачи. Анализ проблематики.....	4
2. Построение вероятностно-статистической модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195	4
2. 1 «Основные причины отказов противообледенительной системы»	4
2. 1 Построение модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195.....	5
3. Построение вероятностно-статистической модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195	7
3.1. Основные причины отказов двигателя	7
3.2. Построение модели отказов двигателя самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195	7
3. Построение вероятностно-статистической модели отказов пилотажно- навигационной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195.....	10
3.1. Основные причины отказов пилотажно-навигационной системы	10
3.2. Построение модели отказов пилотажно-навигационной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195.....	10
Заключение	15
Приложения	18

Введение

Безопасность полетов – одна из важных задач авиации. Снижение эксплуатационных рисков связаны, в частности, с уменьшением интенсивности отказов. [1, с.1]

Цель работы: Построение моделей отказов некоторых систем самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 и сравнение их надежности.

Задачи работы:

- разработка и реализация вероятностно-статистических моделей;
- анализ причин отказов;
- расчет и оценка характеристик самолетов, их сравнительный анализ.

Актуальность темы обусловлена обеспечением безопасности путем уменьшения интенсивности отказов.

Направление данной темы: использование естественнонаучных методов в авиации, в частности, вероятностно-статистического моделирования, для обеспечения надёжности эксплуатируемых судов гражданской авиации.

Предметом исследования является создание моделей отказов некоторых основных систем самолета (противообледенительная система, двигатель, пилотажно-навигационное оборудование) типа Boeing 737-300/500 и Embraer 175/195 на основе представленных статистических данных за период 06.2018-02.2020.

Метод исследования: Метод исследования: вероятностно-статистическое моделирование систем и процессов эксплуатации воздушных судов (ВС) и их подсистем.

Научная новизна темы состоит в установлении связей между использованием естественнонаучных методов в авиации для решения и реализации задач надежности [2-3]. В практическом смысле результаты, полученные при помощи модели, могут использоваться в качестве рекомендаций при проведении эксплуатационных работ при обслуживании оборудования на самолете Boeing 737-300/500.

Среди основных достоинств построенных моделей можно указать достаточную простоту в реализации, их гибкость. Модели могут реализовываться при помощи любых программных продуктов. В настоящий момент модель реализуется в табличном процессоре.

Выражаем глубочайшую благодарность Гусарову Анатолию Николаевичу, Шегидевичу Артему Артуровичу, Машарскому Захару Владимировичу, а также всем тем, кто оказал содействие в получении актуальных данных по эксплуатируемой модели самолета Boeing 736-300/500 и EMBRAER 175/195 компании Belavia.

Глава 1. Постановка задачи. Анализ проблематики

В работе рассматриваются системы самолетов: противообледенительная система, двигатель, пилотажно-навигационное оборудование. Производится сравнительный анализ указанных систем для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195.

План моделирования:

- 1) построение статистической модели плотности функции распределения. Выбор наиболее подходящей;
- 2) расчет наработки на отказ;
- 3) построение кривой Парето для определения наиболее частых отказов в системе;
- 4) оценка адекватности по Пирсону;
- 5) сравнительный анализ полученных сведений для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195.

В ходе анализа литературы, было выявлено, что по заданной тематике публикации посвящены изучению особенностей систем устройства систем [4]. Один из методов обеспечения надежности – использование кривых Парето, который ранее изучался в литературе. [5]

Построение статистических моделей для различных сложных систем рассматривается в «Прикладная статистика» [3]. Вероятностно-статистические модели изучаемых систем строятся на базе указанных моделей [3].

В работе используются некоторые расчетные данные, на основании которых построены модели в [6]-[8].

2. Построение вероятностно-статистической модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

2.1 «Основные причины отказов противообледенительной системы»

Противообледенительная система – одна из систем жизнеобеспечения самолета. Играет очень важную роль при нахождении самолета в сложных метеорологических условиях. Обледенение существенно влияет на аэродинамику самолета, может приводить к потере управления или сваливанию самолета. Противообледенительная система, прежде всего, служит для предотвращения образования льда на крыле и системе впускного капота двигателя. [4]

В разделе анализируется система отказов противообледенительной

системы самолетов Boeing и Embraer.

2. 2. Построение модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

Анализ данных проводится на базе статистических распределений: Вейбулла, нормального, экспоненциального и сравнение с экспериментальной зависисимостью. Результаты приведены на рисунках 1,2:

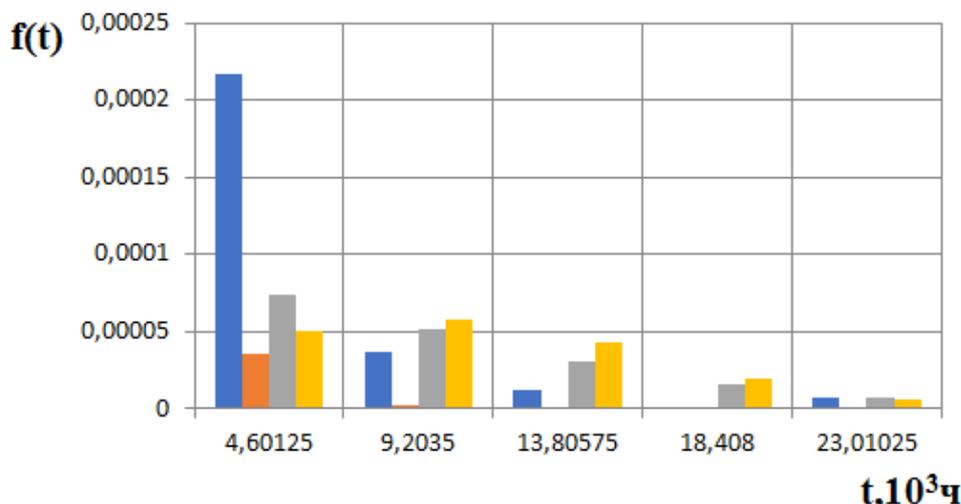


Рисунок 1 – Статистические распределения для BOEING 737-300/500, где синий цвет – экспериментальные значения; оранжевый цвет – экспоненциальное распределение; серый цвет – распределение Вейбулла; желтый цвет – нормальное распределение.

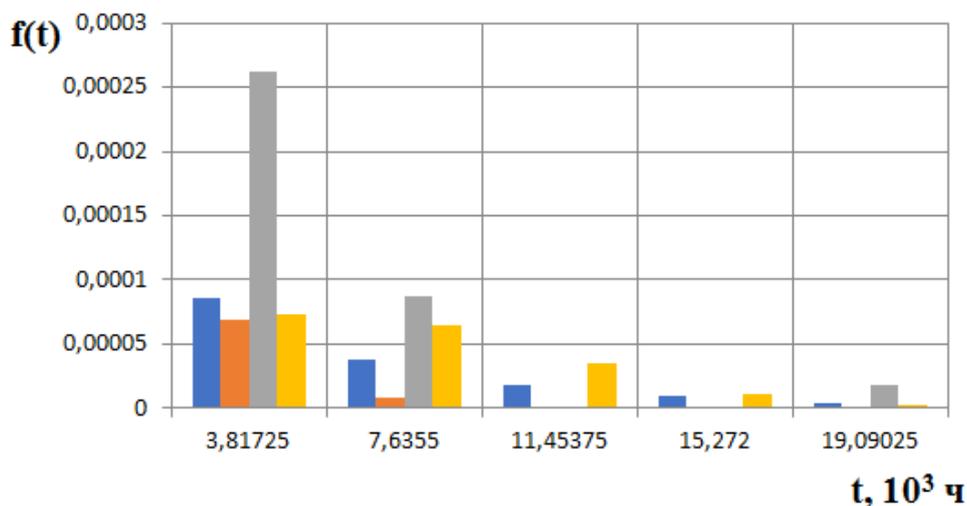


Рисунок 2 – Статистические распределения для EMBRAER 175/195, где Синий цвет – распределение Вейбулла; оранжевый цвет – экспоненциальное распределение; серый цвет – экспериментальные значения; желтый цвет – нормальное распределение.

Далее рассчитываются значения наработки. Наработка была рассчитана в соответствии с распределением Вейбулла и по статистическим данным.

Были получены результаты (таблица 1):

Таблица 1– Расчет наработки на отказ для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 для разных моделей

BOEING 737-300/500		EMBRAER 175/195	
Вейбулл	Экспериментальная	Вейбулл	Экспериментальная
9539	9969	4573	5726

Исходя из таблицы 1, можно сделать вывод, что результаты расчета оказались достаточно близкими по значениям.

Для анализа и определения наиболее уязвимых частей противообледенительной системы строится кривая Парето.

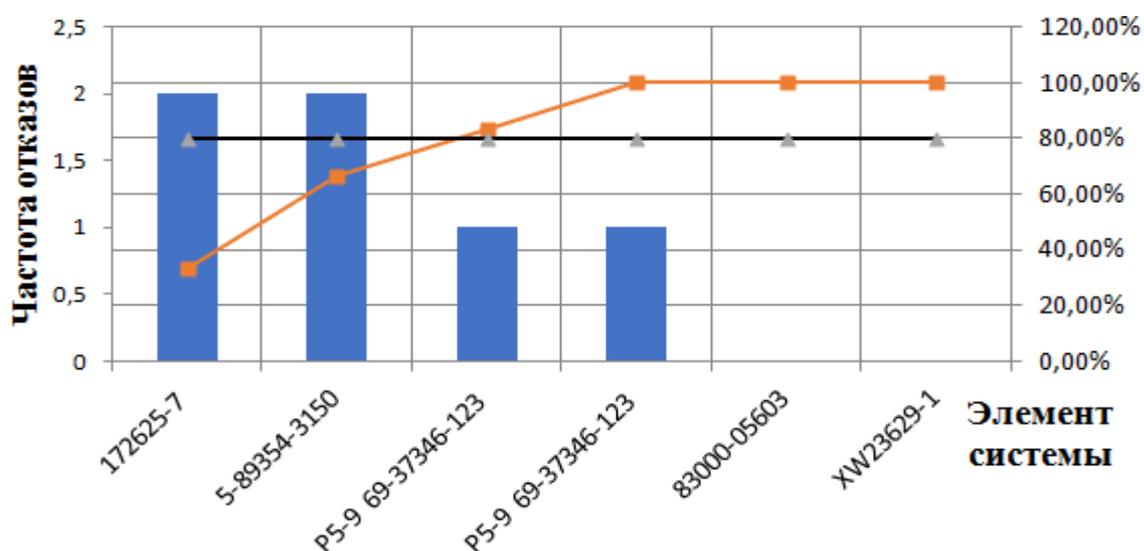


Рисунок 3 – кривая Парето противообледенительной системы самолета BOEING 737-300/500 на гистограмме отказов

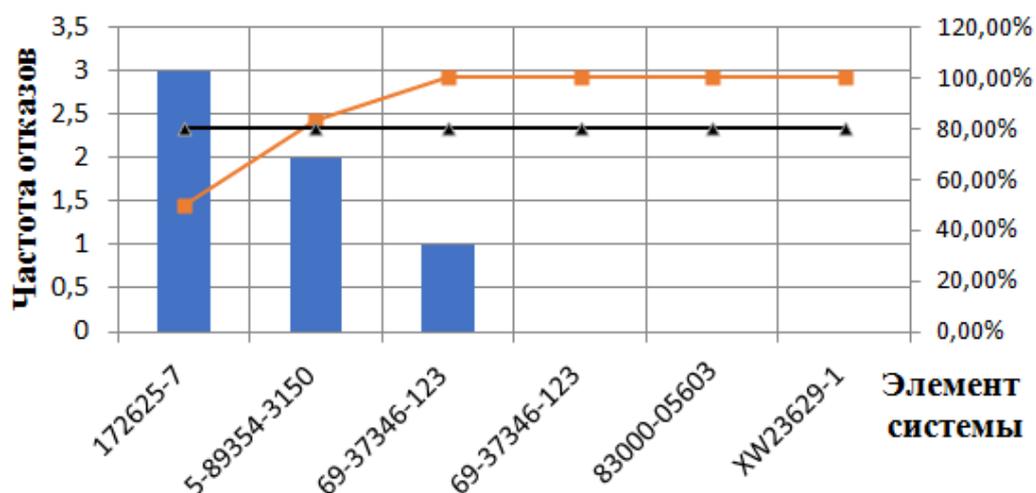


Рисунок 4 – кривая Парето противообледенительной системы самолета EMBRAER 175/195 на гистограмме отказов

Из кривой Парето, заметно, что наиболее подверженными оказываются

элементы, приведенные в таблице 2. Уязвимость элементов находится из условия, что накопленный отказ составляет не менее 80%.

Таблица 2 – Наиболее частые отказы в противообледенительной системе

BOEING 737-300/500	EMBRAER 175/195
Inlet cowl tai valve	Ice detector
Window	-

Для самолета Boeing737-300/500 впускной обтекатель ТАИ реле давления, окна, лобовое стекло и двери.

Для EMBRAER 175/195: детекторы (датчики) льда.

Из построенных моделей заметно, что противообледенительная система самолета EMBRAER 175/195 является более надежной по сравнению с BOEING 737-300/500. Устранение отказов происходит достаточно просто – путем замены датчика льда.

Данные согласуются с моделью, построенной по Вейбуллу для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195. Коэффициент согласования близок к 1 по Пирсону.

Построенные в данной работе модели противообледенительных систем самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 являются адекватными, что подтверждается проверкой по критерию Пирсона.

3. Построение вероятностно-статистической модели отказов противообледенительной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

3.1. Основные причины отказов двигателя

Двигатель самолета – устройство, которое преобразует химическую энергию топлива в кинетическую энергию струй газов, вытекающих из реактивного сопла.

Причин отказов двигателя может быть очень много. Это могут быть как дефекты материалов, так и нелокализованные разрушения.

Далее строятся модели отказов двигателя двух типов самолетов, подбирается наиболее подходящая, осуществляется оценка параметров.

3.2. Построение модели отказов двигателя самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

Анализ данных проводится на базе статистических распределений:

Вейбулла, нормального, экспоненциального и сравнение с экспериментальной зависимостью. Результаты построения приведены на рисунках 5,6:

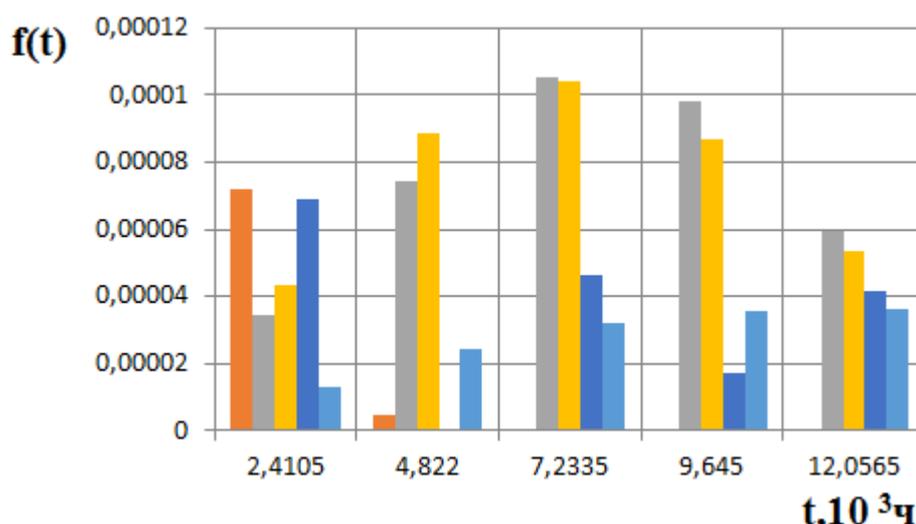


Рисунок 5 – Статистические распределения для двигателя BOEING 737-300/500, где синий цвет – экспериментальные значения; оранжевый цвет – экспоненциальное распределение; серый цвет – нормальное распределение; желтый цвет – распределение Вейбулла; голубой цвет – гамма распределение.

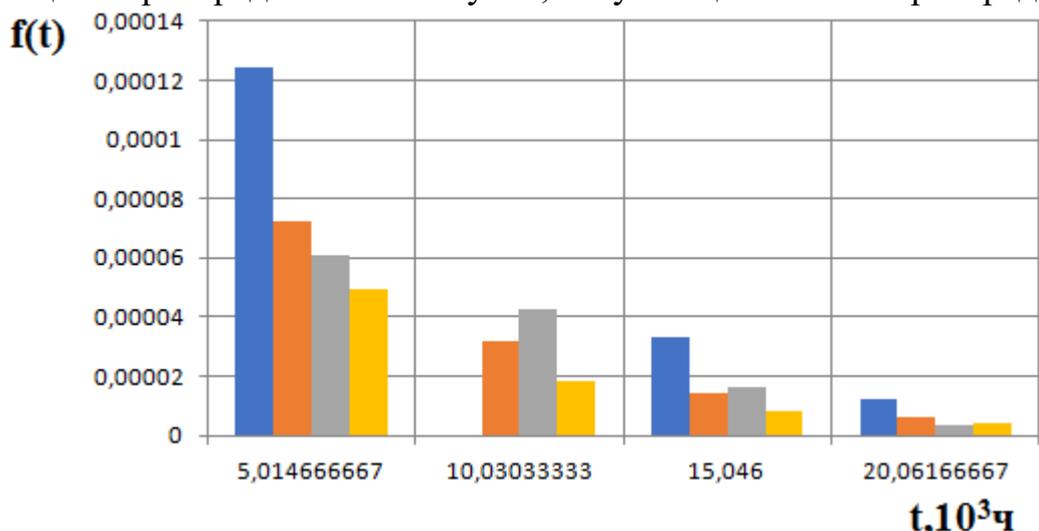


Рисунок 6 – Статистические распределения для двигателя EMBRAER 175/195, где Синий цвет – экспериментальные значения; Оранжевый цвет – экспоненциальное распределение; серый цвет – нормальное распределение; желтый цвет – распределение Вейбулла.

Далее рассчитываются значения наработки. Наработка была рассчитана в соответствии с распределением Вейбулла и по статистическим данным. Были получены результаты (рисунок):

Таблица 3– Расчет наработки на отказ для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 для разных моделей

BOEING 737-300/500		EMBRAER 175/195	
Вейбулл	Экспериментальная	Вейбулл	Экспериментальная

9039	9065	6530	6111
------	------	------	------

Исходя из таблицы 3, можно сделать вывод, что результаты расчета оказались достаточно близкими по значениям.

Для анализа и определения наиболее уязвимых частей противообледенительной системы строится кривая Парето.

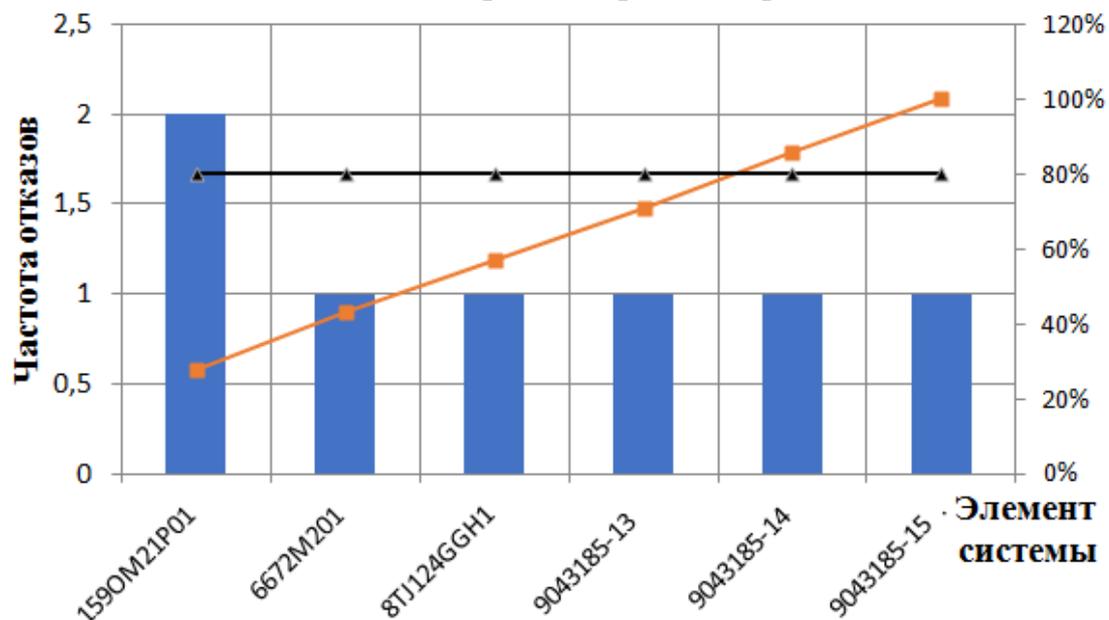


Рисунок 7 – кривая Парето двигателей самолета BOEING 737-300/500 гистограммы отказов

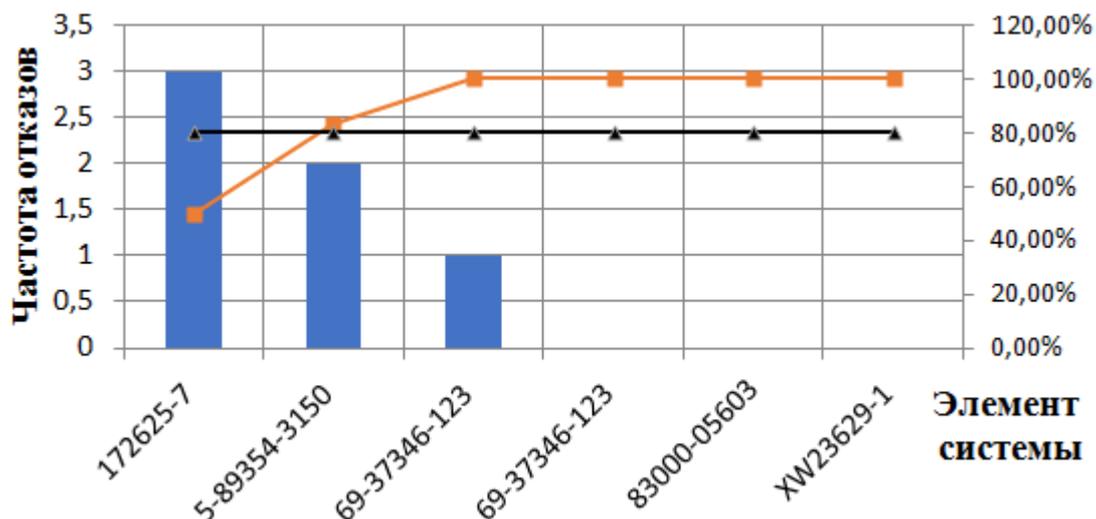


Рисунок 8 – кривая Парето двигателей самолета EMBRAER 175/195 гистограммы отказов

Из кривой Парето, заметно, что наиболее подверженными оказываются элементы, приведенные в таблице 4, находящиеся в области накопленного отказа, равного 80%.

Таблица 4.–Наиболее частые отказы в противообледенительной системе

BOEING 737-300/500	EMBRAER 175/195
--------------------	-----------------

Fan blades #16 and #17 are replaced	Ievm module
	Transient bleed valve

Для самолета Boeing 737-300/500 чаще всего отказывают лопасти #16 and #17 вентилятора в двигателе.

Для EMBRAER 175/195: IEVM (Integrated Engine Vibration Monitoring) module – система контроля вибрации двигателя и переходной выпускной клапан.

Из построенных моделей заметно, что двигатель самолета BOEING 737-300/500 представляется более надежным, что подтверждают многочисленные публикации по сравнительным характеристикам Boeing и Embraer.

Была произведена оценка согласования экспериментальных значений и Вейбулла для EMBRAER 175/195 составила 0,999, для BOEING 737-300/500, для BOEING 737-300/500 составляет 1.

Построенные в данной работе модели систем двигателей самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 являются адекватными, что подтверждается проверкой по критерию Пирсона.

3. Построение вероятностно-статистической модели отказов пилотажно-навигационной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

3.1. Основные причины отказов пилотажно-навигационной системы

Пилотажно-навигационная система – совокупность взаимосвязанных бортовых устройств, обеспечивающих решение задач управления летательным аппаратом и навигации.

Отказы пилотажно-навигационной системы возникают по ряду причин, например, нарушение в вычислительной системе самолетовождения, повреждение системы электронной индикации, недостаточное техническое обслуживание и многие другие факторы.

В разделе анализируется система отказов пилотажно-навигационной системы самолетов Boeing и Embraer.

3.2. Построение модели отказов пилотажно-навигационной системы самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195

Анализируются значения отказов на базе статистических распределений: Вейбулла, нормального, экспоненциального и сравнение с экспериментальной зависимостью. Результаты построения приведены на рисунке:

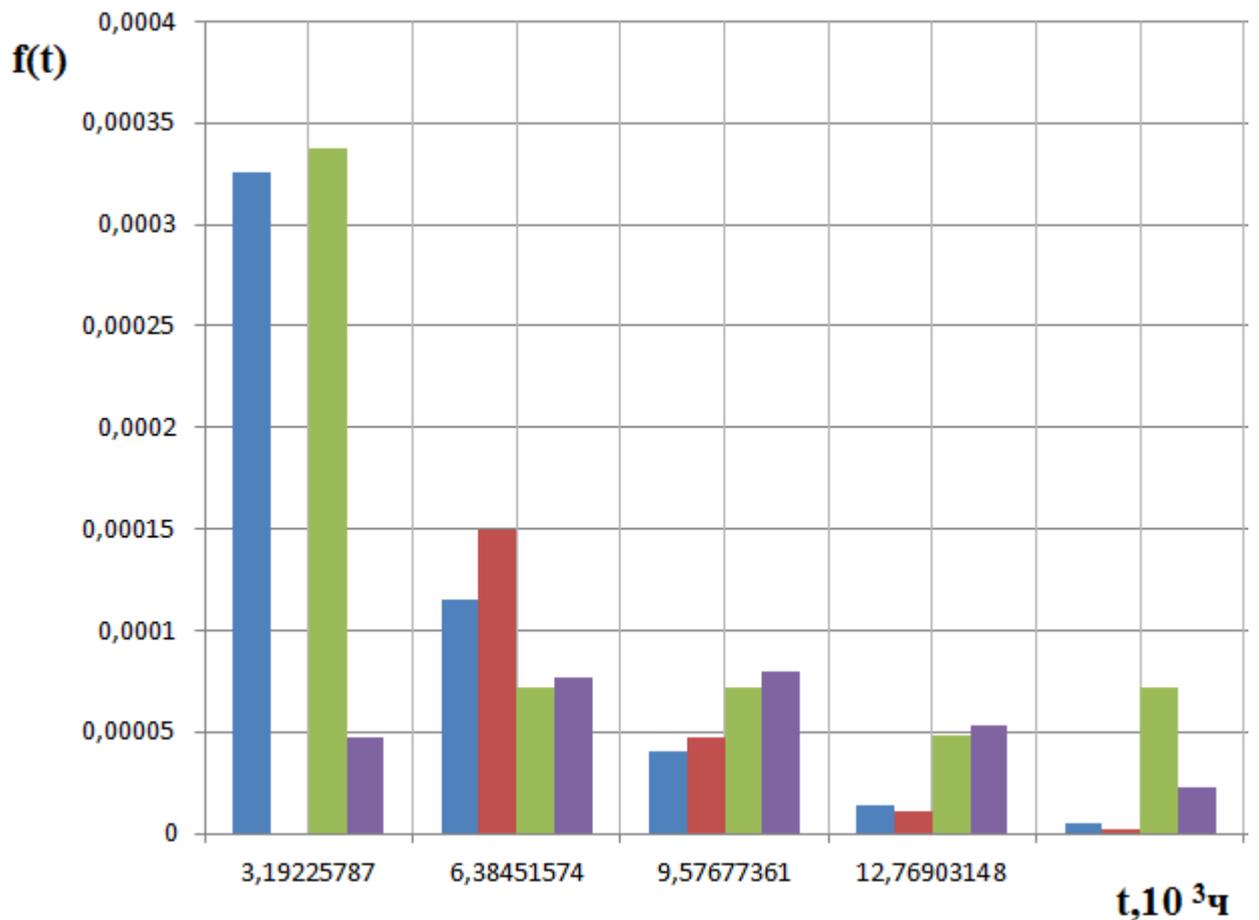


Рисунок 9– Статистические распределения для пилотажно-навигационной системы BOEING 737-300/500, где синий цвет – экспоненциальное распределение; зеленый цвет- экспериментальные значения; красный цвет– распределение Вейбулла; фиолетовый цвет – нормальное распределение.

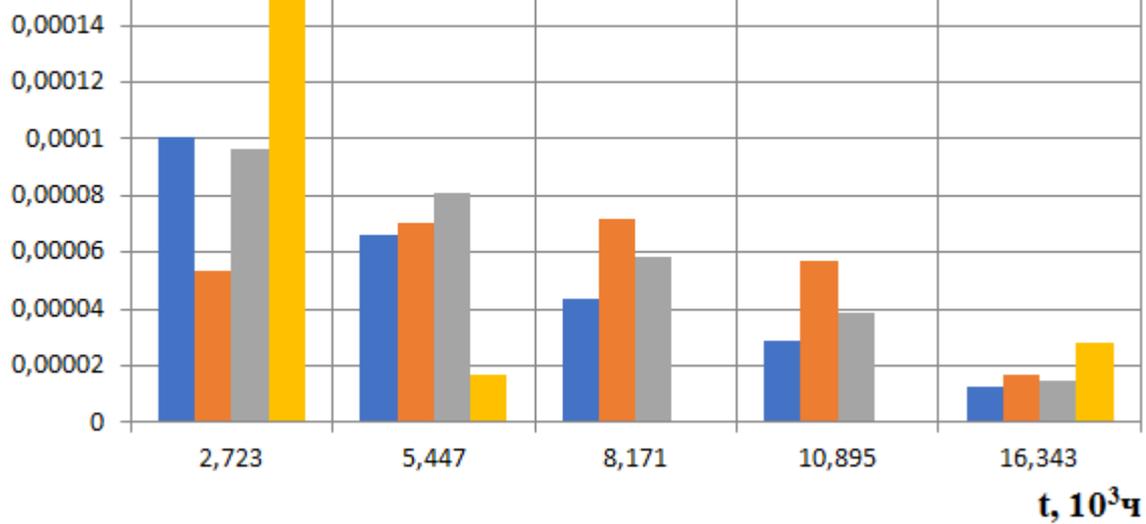


Рисунок 10 – Статистические распределения для пилотажно-навигационной системы EMBRAER 175/195, где синий цвет – экспоненциальное распределение, оранжевый цвет – нормальное распределение, серый цвет – распределение Вейбулла, желтый цвет – экспериментальные значения.

Далее рассчитываются значения наработки. Наработка была рассчитана в соответствии с распределением Вейбулла и по статистическим данным. Были получены результаты (таблица 5):

Таблица 5– Расчет наработки на отказ для самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 для разных моделей

BOEING 737-300/500		EMBRAER 175/195	
Вейбулл	Экспериментальная	Вейбулл	Экспериментальная
849	849	7610	6560

Исходя из таблицы 5, можно сделать вывод, что результаты расчета оказались достаточно близкими по значениям.

Для анализа и определения наиболее уязвимых частей отказов пилотажно-навигационной системы строится кривая Парето. Строится уровень отказов, соответствующий 80% (черная линия), что указывает на высокую степень отказов некоторых элементов.

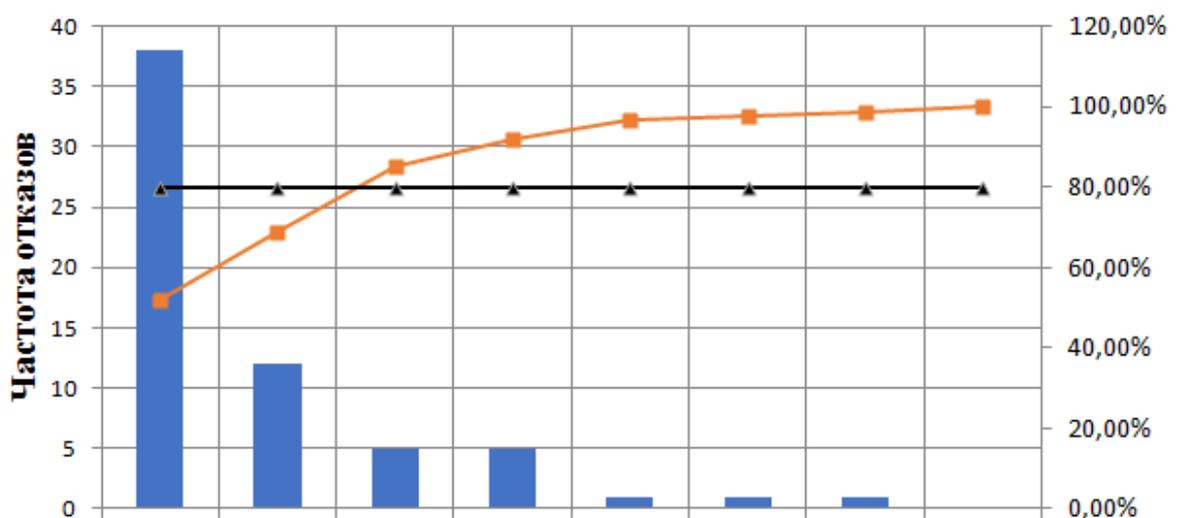


Рисунок 11 – кривая Парето пилотажно-навигационной системы самолета BOEING 737-300/500

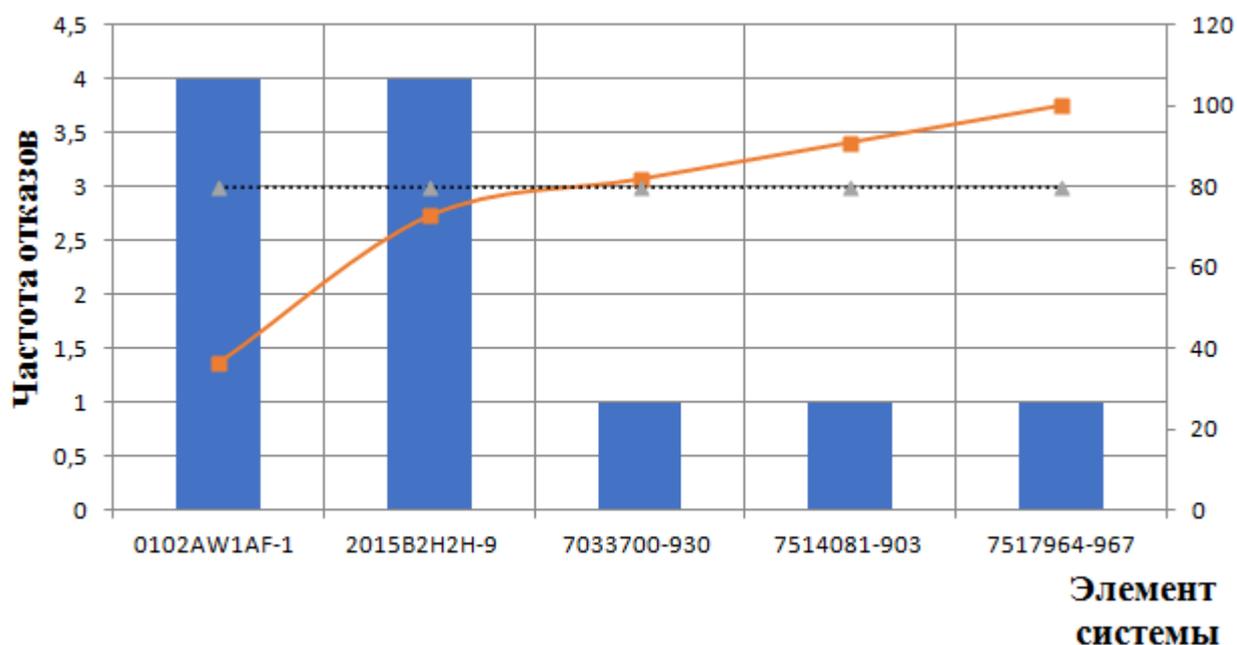


Рисунок 12 – кривая Парето пилотажно-навигационной системы самолета EMBRAER 175/195

Для самолета Boeing 737-300/500 чаще всего отказывает ТАТ (Total Air Temperature)-зонд (позволяет точно измерять температуру, когда самолет находится на земле или движется на низкой скорости) таблица 6.

Таблица 6 – Наиболее частые отказы в противообледенительной системе

BOEING 737-300/500	EMBRAER 175/195
Tat probe	Tat sensor
	Integrated pitot static

Для EMBRAER 175/195: аналогичный сенсор ТАТ и Пито-статическая

система (система чувствительных к давлению приборов для определения скорости полета самолета, числа Маха, высоты и направления высоты).

Из построенных моделей заметно, что двигатель самолета BOEING 737-300/500 представляется более надежным, что подтверждают многочисленные публикации по сравнительным характеристикам Boeing и Embraer.

Оценка на соответствие модели, построенной по Вейбуллу с экспериментальными значениями для самолетов EMBRAER 175/195 и BOEING 737-300/500, составляет значение близкое к единице, что указывает на адекватность используемой модели.

Построенные в данной работе модели пилотажно-навигационных систем самолетов BOEING 737-300/500 и EMBRAER 175/195 являются адекватными, что подтверждается проверкой по критерию Пирсона. Коэффициент корреляции модели и значений находится в окрестностях 1.

Заключение

В работе построены модели, основывающиеся на реальных данных о пилотируемых самолетах Boeing 737-300/500 и EMBRAER 175/195. На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) Наиболее точно для описания противообледенительной системы, системы двигателей и пилотажно-навигационной системы самолета Boeing 737-300/500 подходит распределение Вейбулла.

Для описания противообледенительной системы, системы двигателей и пилотажно-навигационной системы самолета EMBRAER 175/195 также подходит распределение Вейбулла.

Модель нельзя назвать точной в связи с тем, что для более точного эксперимента необходимо больше данных.

- 2) Анализ Парето и отказов на оборудовании:

Наиболее частые отказы в противообледенительной системе самолета Boeing 737-300/500 имеют впускной обтекатель ТАИ реле давления, окна, лобовое стекло и двери. Для самолета EMBRAER 175/195 это детекторы (датчики) льда.

Наиболее частые отказы в системе двигателей самолета Boeing 737-300/500 имеют лопасти #16 and #17 вентилятора в двигателе. Для самолета EMBRAER 175/195 это d IEVM (Integrated Engine Vibration Monitoring)– система контроля вибрации двигателя и преходной выпускной клапан.

Наиболее частые отказы в пилотажно-навигационной системе самолета Boeing 737-300/500 имеют ТАТ(Total Air Temperature)-зонд (позволяет точно измерять температуру, когда самолет находится на земле или движется на низкой скорости.). Для EMBRAER 175/195 это аналогичный сенсор ТАТ и Пито-статическая система (система чувствительных к давлению приборов для определения скорости полета самолета, числа Маха, высоты и направления высоты).

В качестве уровня, на котором обнаруживаются отказы, устанавливается уровень, соответствующий 80% и выше проценту отказов элементов.

- 3) Средняя наработка по трем системам для самолета Boeing 737-300/500 составляет 6628 часов. А для самолета EMBRAER 175/195 средняя наработка равна 6132 часа.

- 4) Наиболее надежной системой, из трех исследованных, у самолета Boeing 737-300/500 является противообледенительная система (9969 часов).

Для самолета EMBRAER 175/195 наиболее надежна система двигателей (6111 часов).

- 5) В результате проделанной работы можно сделать вывод, что более надежным самолетом с точки зрения противообледенительной системы

является EMBRAER 175/195. Система двигателей и пилотажно-навигационная система более надежны у самолета Boeing 737-300/500. Следовательно, более надежным самолетом по этим трем системам является Boeing 737-300/500.

б) Модели являются адекватными, что подтверждается проверкой по критерию Пирсона. Их можно применить для корректировки проведения ремонтных работ.

Расчеты, полученные в работе при наличии данных за более длительный срок эксплуатации, приведет к построению прогностической модели, которую можно использовать для корректировки регламента проведения ремонтных мероприятий.

Список использованных источников

1. Глобальный план обеспечения безопасности полетов ИКАО 2020-2020гг. – Введ. 14.06.2019 г.– Международная организация гражданской авиации, 2019.– 10 с.
2. Государственный стандарт Республики Беларусь надежность в технике Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. . – Переиздание (ноябрь 2008 г.); введ. 15.11.89 № 3375. – Минск, Госстандарт,2008 – 33 с.
3. Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002—2015. – Введ. 01.03.2017 г.– Москва: Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, 2015.– 28 с.
4. Д. Кокс, Э. Снелл. Прикладная статистика. Принципы и примеры. Перевод с английского Е. В. Печурина. – Москва, Мир, 1984- 200 с.
5. А.В. Сидоров, И.С. Ложников. Противообледенительная система BOEING-737// Наука и просвещение: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2020. – 290 с.
6. А.Г. Барсуков. Применение диаграммы Парето для выработки рекомендаций по обеспечению надёжности авиационной техники // Crede experto: транспорт, общество, образование, язык.– Москва, 2018.– с.8-17.
7. О.С. Филиппенко, Д.Е.Бельская. Построение модели отказов противообледенительной системы самолета Boeing 737-300/500// сборник материалов V международной научно-практической конференции БГАА «Авиация: история, современность, перспективы развития». – Минск, 2020.–(в печати).
8. А.И.Кириленко, О.С.Филиппенко, Д.Е.Бельская Построение моделей отказов противообледенительной и радиотехнической систем самолета Boeing 737-300/500 // Авиационный вестник,№3, 2020.– Минск, 2020.– с.36-40.
9. О.С. Филиппенко, Д.В. Полищук. Применение методов максимального правдоподобия и метода моментов для оценки параметров распределения отказов пилотажно-навигационного оборудования » // сборник материалов международной научно-практической конференции БГАА «Социально-гуманитарные аспекты развития общества и авиационной отрасли».– Минск, 2020.– с.282.

Приложения

Приложение 1. Список публикаций Бельской Д.Е. по теме исследования

1. О.С. Филиппенко, Д.Е.Бельская. Построение модели отказов противообледенительной системы самолета Boeing 737-300/500// сборник материалов V международной научно-практической конференции БГАА «Авиация: история, современность, перспективы развития». – Минск, 2020.– (в печати).
2. А.И.Кириленко, О.С.Филиппенко, Д.Е.Бельская Построение моделей отказов противообледенительной и радиотехнической систем самолета Boeing 737-300/500 // Авиационный вестник, №3, 2020.– Минск, 2020.– с.36-40.

Приложение 2. Коэффициенты для распределения Вейбулла

b	Kb	Cb	v
0,2	120	1900	15,83
0,3	8,86	46,9	5,29
0,4	3,32	10,4	3,14
0,5	20	4,47	2,24
0,6	1,5	2,61	1,74
0,7	1,27	1,86	1,46
0,8	1,13	1,43	1,26
0,9	1,05	1,17	1,11
1	1	1	1
1,1	0,965	0,878	0,91
1,2	0,941	0,787	0,837
1,3	0,924	0,716	0,775
1,4	0,911	0,659	0,723
1,5	0,903	0,612	0,678
1,6	0,897	0,574	0,64
1,7	0,892	0,54	0,605
1,8	0,889	0,512	0,575
1,9	0,887	0,485	0,547
2	0,886	0,463	0,523

Приложение 3. Обозначения для элементов противообледенительной системы для Boeing

Элемент	Номер чертежа
INLET COWL TAI VALVE	172625-7
WINDOW	5-89354-3150
MODULE P5-9	MODULE P5-9 69-37346-146
WINDOW HEAT CONTROL UNIT	83000-05603
WINDSHIELD WIPER MOTOR- CONVERTER	XW23629-1
INLET COWL TAI VALVE	172625-7

Приложение 4. Обозначения для элементов противообледенительной системы для Embraer

Элемент	Номер чертежа
ICE DETECTOR	0871L02
FILL/DRAIN NIPPLE HEATER	19000-598
CONTROL UNIT	SYLZ-53118

Приложение 4. Обозначения для элементов двигателя Embraer

Элемент	Номер чертежа
FADEC	111E9320G51
FADEC	111E9320G61
T25 INLET COMPRESSOR TEMPERATURE SENSOR	2043M15PO2
FADEC COOLING FAN	2124M62P04
IEVM MODULE	241-292-004-023
TRANSIENT BLEED VALVE	3291680-3
THRUST CONTROL QUADRANT ASSY	4260-0018-5
FUEL LOW PRESSURE SWITCH	8H0025-1G
T2.5 TEMPERATURE SENSOR	8TW32AAB1

Приложение 4. Обозначения для элементов двигателя Boeing

Элемент	Номер чертежа
FAN BLADES #16 AND #17 ARE REPLACED	1590M21P01
AVM CONDITIONER	6672M201
FUEL FLOW TRANSMITTER	8TJ124GGH1
IGNITION LEAD	9043185-13
IGNITION LEAD	9043185-14
R/H IGNITION LEAD	9043185-15