

УДК 629.7.016.3

ОЦЕНКА ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И МОНИТОРИНГ ИХ ДЕГРАДАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.В. Стрелков, О.В. Анимица

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского
Россия, 140180, Жуковский, ул. Жуковского, 1
E-mail: flight15@tsagi.ru

Ключевые слова: летательный аппарат, полетная информация, летно-технические характеристики, деградация характеристик, мониторинг, штатный бортовой регистратор.

Аннотация: В работе рассматривается технология определения часовых и километровых расходов топлива пассажирского самолета по результатам обработки записей бортового параметрического регистратора и их сопоставления с номинальными летно-техническими характеристиками. Технология включает себя методику, алгоритмы и соответствующее программное обеспечение, позволяющее реализовать на практике мониторинг уровня и причин деградации характеристик летательного аппарата в процессе эксплуатации.

1. Введение

Ведущими производителями авиационной техники и авиаперевозчиками уделяется серьезное внимание вопросам организации мониторинга характеристик самолетов [1-4]. В ЦАГИ на протяжении последних лет проводятся исследования, направленные на создание методик, алгоритмов и инструментов обработки полетной информации в интересах определения фактических характеристик летательного аппарата (ЛА) и их отклонения от расчетного уровня [5]. Сегодня можно говорить о разработке в институте технологии обработки полетной информации высокого уровня готовности для решения практических задач. Предлагаемая технология позволяет существенно сократить время обработки первичных полетных данных за счет оценки характеристик самолета в режиме экспресс-анализа на этапе летных испытаний и в дальнейшем реализовать мониторинг их деградации в процессе эксплуатации самолета. Выявленные расхождения фактических и расчетных значений контролируемых характеристик опытного самолета на этапе летных испытаний являются основанием для корректировки используемых методик расчетных и экспериментальных исследований аэродинамических, летно-технических и других характеристик ЛА.

В представленной работе рассматриваются следующие вопросы:

- Доступные потоки информации; расшифровка первичных полетных данных.
- Выделение контрольных (тестовых) режимов полета.
- Обработка тестовых режимов.
- Сравнение фактических характеристик с их номинальными значениями.

- Методика оценки величины и причин деградации удельной дальности.
- Влияние различных факторов на разброс оценок.
- Рекомендации по организации мониторинга характеристик самолета в эксплуатации.

2. Методика, алгоритмы и программное обеспечение для оценки летно-технических характеристик и уровня их деградации

Технология предполагает реализацию автоматизированной «сквозной» обработки первичных полетных данных, начиная с расшифровки файла бортового регистратора и заканчивая выдачей диаграмм характеристик самолета в эксплуатационной области, если речь идет об обработке материалов летных испытаний, или выдачей коэффициента деградации характеристик конкретного воздушного судна, если речь идет об эксплуатации. Основные этапы обработки информации приведены на рис. 1.

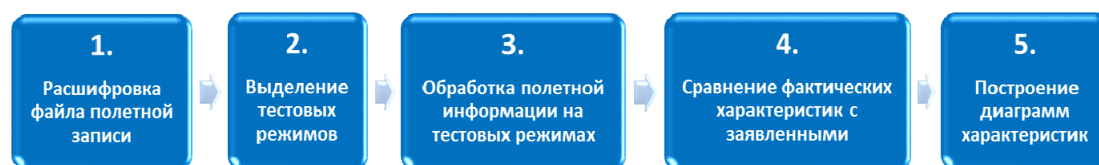


Рис. 1. Этапы обработки полетной информации.

На вход технологической цепочки подается файл полетной информации с бортового регистратора, который обрабатывается соответствующим комплексом программ. Выходом являются фактические характеристики рассматриваемого экземпляра воздушного судна (ВС) и коэффициент их деградации K_d . На рис. 2 приведен пример результата обработки записей параметрической информации с борта одного из самолетов транспортной категории, а именно сравнение фактических и номинальных часовых расходов топлива ВС $Q_{ч}$ для текущего веса и высоты полета.

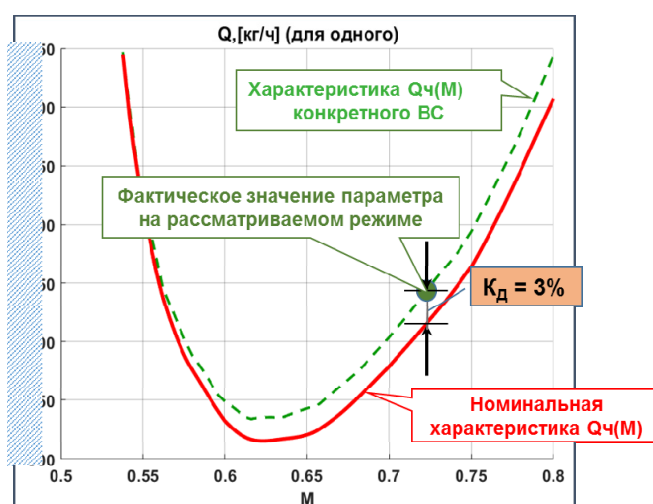


Рис. 2. Сравнение фактических и номинальных часовых расходов топлива ВС.

Под деградацией понимается отклонение текущих характеристик летательного аппарата от их номинальных значений. Например, коэффициент деградации часового расхода топлива самолета K_d рассчитывается следующим образом:

$$K_d = (Q_{\text{ч}} - Q_{\text{ч ном}}) / Q_{\text{ч ном}} \times 100,$$

где: $Q_{\text{ч}}$ – зафиксированный часовой расход на контрольном режиме; $Q_{\text{ч ном}}$ – расход топлива, рассчитанный по полной модели расчета ЛТХ (номинальные характеристики ЛА).

Аналогичная формула используется для расчета коэффициента деградации часового расхода топлива двигателя $K_{\text{дд}}$:

$$K_{\text{дд}} = (Q_{\text{ч}} - Q_{\text{ч ном д}}) / Q_{\text{ч ном д}} \times 100,$$

где $Q_{\text{ч ном д}}$ – часовой расход, который рассчитывается по модели расчета характеристик двигателя (номинальные характеристики двигателя).

Для задач мониторинга деградации по времени характеристик ВС чаще всего используются упомянутые выше часовые расходы топлива или удельная дальность – параметр, изменение которого говорит о комплексном ухудшении/улучшении характеристик самолета. В процессе эксплуатации показатель удельной дальности ухудшается вследствие износа двигателей, деградации аэродинамических характеристик (несимметрия планера, дефекты поверхности), увеличения веса пустого снаряженного самолета (загрязнение поверхности, конденсат в матах теплоизоляции, последствия ремонтов и др.).

В авиакомпаниях для контроля расхода топлива по парку самолетов, как правило, используется блоковый расход топлива (отношение израсходованного топлива к времени полета, начиная с запуска двигателей и заканчивая их остановкой). Этот параметр пригоден для сравнения разных типов самолетов или разных маршрутов, но не позволяет отслеживать деградацию характеристик конкретного ВС из-за его низкой точности.

Существенным моментом в данной технологии является ориентация на записи штатного бортового параметрического регистратора, который обеспечивает возможность прямого доступа к зарегистрированным параметрам благодаря кадровой структуре файла полетной информации. Для расшифровки и первичного анализа исходных файлов с бортового регистратора используется программное обеспечение ARINC-конвертор [6].

Одной из задач настоящей работы является выбор контрольных (тестовых) режимов. Контрольный режим описывается определенным набором ограничений на параметры полета и на параметры работы силовой установки. Поиск тестовых режимов в файле записи полетной информации выполняется с помощью программного обеспечения PartFinder [7].

Обработка тестового режима предполагает вычисление текущего значения исследуемой характеристики ЛА (например, методом усреднения ее значения на режиме) и уточнение параметров режима, которые будут использованы при вычислении номинальных значений рассматриваемой характеристики.

На точность оценки величины коэффициента деградации и, соответственно, на разброс значений оценок существенное влияние оказывает уровень детализации математической модели для расчета номинального значения рассматриваемой характеристики. Погрешности измерения параметров (например, текущего веса ЛА) также вносят заметный вклад в разброс оценок, даже полученных в одном полете.

Одновременное использование математических моделей номинальных расходов топлива для самолета в целом и отдельно для двигателей на выбранном тестовом

режиме дает возможность определить причину деградации удельной дальности (деградация аэродинамических характеристик или деградация двигателей) и предпринять необходимые меры по ее устранению.

Алгоритмы обработки полетной информации на отдельных этапах технологической цепочки (рис. 1) в значительной мере отработаны на реальных полетных данных; разработаны соответствующие программные продукты [6÷7].

Рекомендации по организации мониторинга характеристик самолета в эксплуатации формируются с учетом возможных разбросов величин коэффициента деградации. На рисунке 3 показана предполагаемая динамика коэффициента деградации удельной дальности ВС в процессе эксплуатации. Выполнение планового технического обслуживания двигателя (например, промывка) должно проявиться на диаграмме в виде скачкообразного уменьшения величины коэффициента деградации (синяя линия на рис. 3).

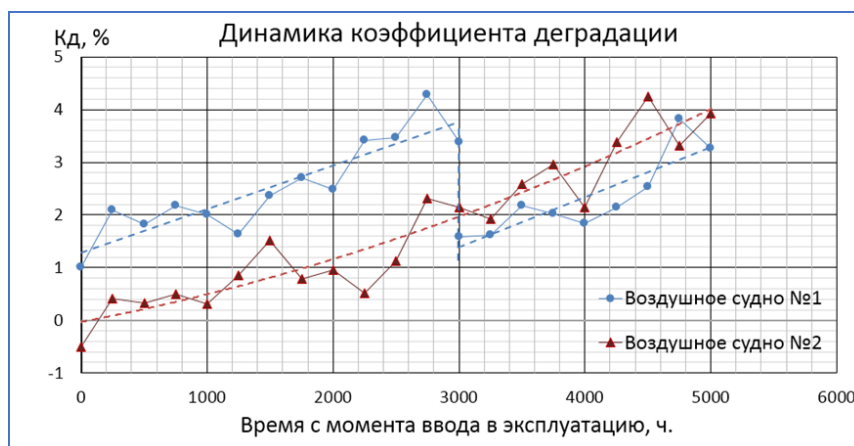


Рис. 3. Динамика коэффициента деградации удельной дальности в процессе эксплуатации.

3. Заключение

Разработанная технология обработки полетной информации предназначена для решения актуальных задач, стоящих перед разработчиками и эксплуатантами авиационной техники. Технология отработана на реальных полетных данных и может быть использована как на этапе летных испытаний для экспресс-оценки летно-технических характеристик опытных ЛА, так и для мониторинга их деградации в процессе эксплуатации серийных ВС в авиакомпаниях.

Список литературы

1. Flight Operations Support and Line Assistance. Getting to grips with aircraft performance monitoring. AIRBUS Customer Services, 2002.
2. Airplane Performance Monitoring Software. User Guide. The Boeing Company, 2005.
3. Методы определения соответствия Федеральных авиационных правил «Экземпляр воздушного судна. Требования и процедура сертификации», 2004.
4. Арепьев К.А., Николас А.В., Масленникова Г.Е. Мониторинг летных характеристик – решаемые задачи и перспективы использования // Научный Вестник ГосНИИГА. 2011. № 1. С. 28-34.
5. Стрелков В.В., Анимица О.В., Буров Я.В. Технология экспресс-оценки фактических характеристик самолета и их отклонения от номинального уровня на этапе летных испытаний и в процессе эксплуатации. // Тезисы доклада на XXIII конференции по аэродинамике, 2022.

6. Буров Я.В., Стрелков В.В. Программа расшифровки полетной информации с бортовых параметрических регистраторов пассажирских самолетов «ARINC-конвертор». Свидетельство № 2017613196. 2017.
7. Анимича О.В., Стрелков В.В. Разработка инструментов (программного обеспечения) для обработки записей полетной информации // Тезисы доклада на XXIII конференции по аэродинамике, 2022.