

УДК 631.7.04-197:631:7.019.8

В.О. ПОВГОРОДНИЙ

Институт проблем машиностроения НАН Украины им. А.Н. Подгорного, Украина

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ САМОЛЕТОВ

Рассматриваются вопросы анализа показателей надежности (безотказности) механических конструкций бортовой аппаратуры отечественных и зарубежных самолетов. Рассмотрен известный метод в динамике и надежности, основанный на оценке надежности (а именно, показателей безотказности) элементов конструкций, включая простые двумерные конструкции (например, платы с электрорадиоэлементами), а также сложные трехмерные конструкции (например, пакеты плат с электрорадиоэлементами), представляющие собой пластинчато-стержневую конструкцию. Прогнозирование показателей безотказности (вероятность безотказной работы и наработка на отказ) производится на основании расчета напряженно-деформируемого состояния конструкций и их элементов и является новой задачей исследований вышеназванных конструкций. При расчете показателей безотказности используется метод с применением теории выбросов, который позволяет определить показатели безотказности и диапазон частот вынужденных колебаний, в котором сама конструкция и ее элементы будут наименее надежными. Результаты, полученные с помощью этого метода, сравниваются с экспериментальными результатами, полученными с помощью испытаний на надежность (безотказность) и эксплуатационными (статистическими). Основные результаты работы нашли промышленное применение при проектировании приборного оборудования для самолетов Украины.

надежность, безотказность, вероятность, прочность, конструкция, проектирование, бортовая аппаратура

Введение

По мере усложнения авиационного бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), расширения областей его применения, повышения уровня автоматизации, увеличения рабочих нагрузок на летчика важность вопросов обеспечения надежности непрерывно растет. Дело не только в том, что повышаются требования к разрабатываемой и производимой аппаратуре, но и в том, что решение вопросов надежности становится одним из основных источников повышения эффективности применения летательных аппаратов, экономии материальных и трудовых ресурсов.

Решение проблемы надежности должно носить комплексный характер и возможно только в рамках структуры: концептуальные исследования – проектирование – производство – эксплуатация, т.е. по всему жизненному циклу.

Знание и правильное применение нормативно-

технических документов (НТД), регламентирующих надежность, позволяет:

- анализировать и рассчитывать надежность;
- распределять требования по надежности между системами и составными частями авиационной техники (АТ);
- устанавливать требования к программе обеспечения надежности (ПОН) субподрядчика;
- исследовать характер и последствия возможных отказов и разрабатывать мероприятия по их предупреждению.

1. Формулирование проблемы

Актуальность ПОН авиационного приборостроения состоит в том, что любой (внезапный, постепенный) отказ любого из элементов БРЭО может привести к некорректным (неточным) показаниям приборов (указателя высоты, приборной скорости и

числа Маха, температуры заборного воздуха), что приведет к изменению высоты эшелонирования, соответственно, созданию аварийной обстановки и повлияет на безопасность полета.

В Украине проектированием и изготовлением авиационных приборов занимаются фирма «Авионика» и предприятия «Авиаконтроль» в г. Харькове и «Электронприбор» в г. Киеве, в России – фирма «МиГ-Сервис», Ульяновское производственное объединение, в США – «Дженерал – Дайнемикс», «Дженерал – Эркафт», фирмы – субподрядчики: «Маркони – Эллиот», «Кайзер», «Хьюз», «Вестингауз». Современный бортовой комплекс включает много составляющих, но основные из них: система воздушных сигналов (СВС), навигационные системы, курсовертикаль, средства опознавания и связи.

В современном авиаприборостроении чаще других используются пластинчато – стержневые конструкции (ПСК), среди которых преобладают конструкции цилиндрической и прямоугольной форм. В частности, блок воздушных параметров (БВП) – приборный контейнер, внутри которого находятся пакеты плат (ячеек), на которые крепятся электронные радиотехнические элементы (ЭРЭ) (рис. 1).

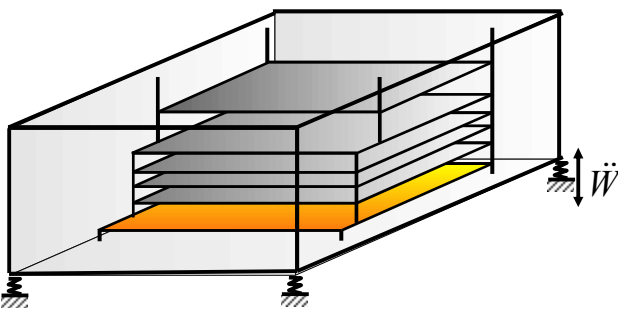


Рис. 1. Конструкция блока воздушных параметров

БВП прикреплен к основанию при помощи конечного числа точечных опор. Каждая опора представляет собой амортизатор АПН (характеристика – зависимость коэффициента динамичности $K_{дин}$ от частоты возмущающей силы f представлена на рис. 2). Данная опора является упругодемпфирующей и движется по гармоническому закону вниз – вверх.

В процессе эксплуатации БВП подвергается интенсивным динамическим нагрузкам, что оказывает влияние на прочность и надежность. Элементы конструкции и сами конструкции испытывают действие динамических сосредоточенных или распределенных усилий или получают кинематическое возмущение от движения всех или нескольких опор.

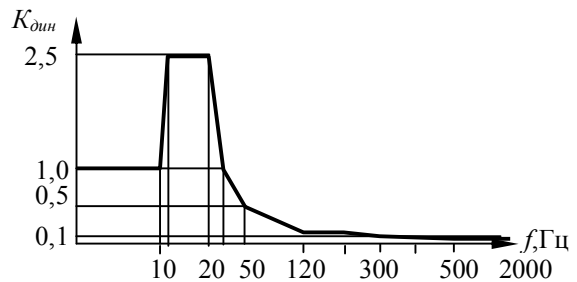


Рис. 2. Частотная характеристика АПН

Это могут быть нагрузки, передаваемые через опоры (например, вибрации от двигателей – вынужденные колебания), аэродинамические нагрузки – собственные колебания, распределенные массовые нагрузки – акустическое воздействие, импульсные нагрузки – при отделении объектов.

Такие нагрузки приводят к вибрационным и резонансным явлениям пакетов плат, к значительным виброускорениям в местах установки ЭРЭ на платах БВП, индуцированию опасных динамических напряжений. Нагрузки и кинематические возмущения могут быть гармоническими, периодическими, аperiodическими, импульсными или случайными функциями времени (например, типа «белого шума» в определенном диапазоне частот) (рис. 3).

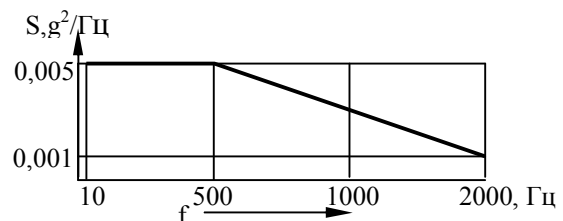


Рис. 3. Спектральная плотность виброускорений, действующих в БВП при испытаниях на широкополосную случайную вибрацию

Для обеспечения надежной (безотказной) работы бортовой аппаратуры установлены жесткие ог-

раничения на параметры динамического отклика в местах установки электронных радиотехнических элементов по частотному спектру, по механическим характеристикам (напряжениям, перемещениям, критическим нагрузкам), а также по размаху виброперемещений, среднеквадратичному значению виброскорости, пиковым, амплитудным значениям виброперегрузок (виброускорений) с допусками.

Отдельные задачи оценки показателей надежности рассматриваются в ряде работ. Так, «прямая» задача оценки показателей надежности, а, соответственно, и прочности (исходя из геометрических размеров, физических характеристик материалов) рассматривается в работах Тихонова, Болотина, Божко, Проникова, Арасланова, Игнатовича, Тарасова, Трощенко, Жовдака. Следует выделить работы Тихонова В.И., Болотина В.В., в которых рассматриваются вопросы применения теории выбросов к расчетам показателей надежности, а также Арасланова А.М. [1], где используется модифицированный (графический) метод – метод разложения по нормальным составляющим, наиболее пригодный для расчетов показателей безотказности, так как позволяет при относительно небольшом объеме вычислений учитывать все особенности объекта, работы Божко А.Е. [2, 3], в которых рассматриваются вопросы определения показателей безотказности при гармонической и полигармонической нагрузках. В работах Сухороброго В.Г. [4] решается задача оценки вероятности работоспособности как в «прямой» постановке, так и «обратная» задача – задача оптимизации геометрических размеров и характеристик материала конструкции с определением допусков (в вероятностной постановке), исходя из минимума вероятности отказов для всей конструкции и для конструкций ракетно-космической техники, но эти вопросы в работе не рассматривались.

На основании опубликованных работ можно сделать следующие выводы. Для относительно

сложных конструкций авиационно-космического назначения решаются, обычно, частные задачи: расчет показателей безотказности под действием статической нагрузки. Достаточно общие подходы для расчетов показателей надежности (безотказности) с учетом фактического многообразия реальных динамических нагрузок существуют, и работа является продолжением всех этих исследований. Другими словами, численные методы оценки показателей надежности (безотказности) достаточно сложных конструкций требуют развития и всестороннего исследования.

2. Решение проблемы

Конструкции, отвечающие современным требованиям надежности и прочности, могут быть спроектированы с применением компьютерного моделирования их поведения (динамики).

Прогнозирование показателей безотказности – вероятности безотказной работы и наработки на отказ, сводится к решению двух глобальных задач:

- задачи расчета динамических характеристик напряженно-деформированного состояния (расчет и построение амплитудно-частотной характеристики, форм колебаний, резонансных частот и т.д.);
- на основе результатов решения предыдущей задачи определение вышеупомянутых показателей безотказности.

Сама задача прогнозирования показателей безотказности решается двумя разными методами:

- разложение подынтегрального выражения определения вероятности безотказной работы на простые составляющие, применение методов теории выбросов, асимптотического метода, а также методов, связанных с физикой отказов;
- проведение статистических испытаний методом Монте-Карло и методами, примыкающими к ним (в частности, методами с использованием различных типов граничных линейных моделей).

Для решения первой из перечисленных выше задач применялся метод конечных элементов в перемещениях с учетом демпфирования амортизаторов (АПН, АФД) и демпфирующих слоев («СПРУТ», никель-кадмиевое покрытие).

Для решения второй из перечисленных выше задач существуют ГОСТ, ОСТ, НТД, которые определяют критические или максимальные значения вышеперечисленных механических характеристик, что является основой для оценки показателей безотказности.

Заключение

Предполагаемые условия режима полета включают в себя много элементов, однако, главными причинами отказов оборудования становятся лишь некоторые из них, например:

- полетные перегрузки при маневрировании;
- вибрация, удары и акустические шумы;
- температура, высота и влажность;
- соль, пыль и песок.

Исследования, проведенные американскими специалистами, показывают, что основными факторами внешних воздействий, действие которых вызывает большинство отказов, являются [5]:

- температура (21% от общего числа отказов);
- вибрация (14% от общего числа отказов);
- влажность (10%);
- песок, пыль (3%);
- соль (2%);
- высота (1%);
- удары (1%);
- причины, не связанные с воздействием окружающих условий (конструктивные, технологические, производственные) (48%).

За последние 30 лет надежность бортового радиоэлектронного оборудования возросла в 10–100 раз [6]. Однако эксплуатационные возможности БРЭО росли значительно медленнее. Обычно при

техническом обслуживании самолета-истребителя 45–50% времени внепланового технического обслуживания приходится на устранение отказов электронного оборудования. Поэтому при разработке и эксплуатации бортового радиоэлектронного оборудования большое внимание необходимо уделять повышению уровня надежности применяемых технических средств.

Литература

1. Арасланов А.М. Вероятностные подходы к силовому проектированию элементов конструкций. – Казань: КАИ, 1992. – 91 с..
2. Божко А.Е. О связи показателей надежности и степеней усталостного повреждения изделий // Доповіді Національної академії наук України. Механіка. – 2001. – № 1. – С. 42–48.
3. Божко А.Е., Мякохлеб К.Б. Интенсивность отказов во взаимосвязи со степенью повреждения изделия от полигармонической нагрузки // Проблемы машиностроения. Динамика и прочность машин. – 2001. – Т. 4, № 3–4. – С. 38–42.
4. Сухорезный В.Г. Инженерные методы проектной оценки вероятности разрушения авиационных конструкций // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ. – 1998. – С. 75–84.
5. Князев В.Т. Стандартизация и обеспечение надежности бортового радиоэлектронного оборудования за рубежом. – М.: Наука, 1991. – 91 с.
6. Повгородний В.О. Прогнозирование показателей надежности механических конструкций бортовой аппаратуры: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09 / Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. – Х., 2004. – 20 с.

Поступила в редакцию 25.03.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Д. Доценко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.