

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АВИАЦИОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ.

В соответствии с принятым в авиационной промышленности комплексом мероприятий по обеспечению усталостной долговечности авиационных конструкций проводились исследования, направленные на повышение научно-технического уровня расчётных и экспериментальных работ на этапах проектирования, испытаний и эксплуатации.

I. Проводились исследования по дальнейшему совершенствованию метода расчёта усталостной долговечности по локальному напряжённо-деформированному состоянию.

Выполнены экспериментальные исследования локальных деформаций и долговечности до возникновения усталостных трещин в образцах с концентраторами напряжений в виде круговых отверстий и боковых выточек. Для измерения деформаций использован комплект малобазных навесных тензодатчиков. Реализован метод динамической петли гистерезиса, который позволил регистрировать амплитуды полной и остаточной деформации в вершине надреза в процессе нагружения. Проведены также испытания гладких образцов, подтвердивших существование зависимости Коффина и в области многоцикловой усталости.

Полученные для ряда алюминиевых сплавов и сталей результаты послужили основой анализа применимости известных параметров НДС в частности, амплитуды полной деформации, локального напряжения, потенциальной энергии деформирования и др., для прогноза долговечности тел с надрезами по характеристикам гладких образцов.

Установлено, что параметром НДС, характеризующим долговечность тела с концентратором напряжений, является амплитуда остаточной циклической деформации.

II.

В связи с важностью учёта характеристик неупругости металла, проведены исследования влияния асимметрии нагружения на циклические деформационные свойства материалов, разработана методика расчёта параметров основной диаграммы циклического деформирования и кинетических диаграмм в зависимости от средних и амплитудных напряжений. Показано, что амплитуда пластической деформации возрастает с увеличением среднего напряжения. Основная диаграмма в виде зависимости средних значений амплитуд пластических деформации от амплитуд напряжений характеризует физический закон деформирования материала при циклическом нагружении. Именно эту диаграмму следует применять для расчёта локального НДС тел с концентраторами напряжений. Получены конкретные данные по усталостным и циклическим деформационным свойствам ряда конструктивных материалов.

2. Для экспериментального исследования процесса развития трещин разработана автоматизированная измерительно-вычислительная система (ИВС) на базе ЭВМ. Изготовлен действующий образец системы.

Для регистрации смещений берегов трещины в ИВС использованы малогабаритные тензометрические датчики относительных смещений нормального раскрытия и поперечного сдвига. Обоснован выбор конструктивно-технологических параметров датчиков и блока датчиков перемещений. Разработана конструкция и технология изготовления одиночных датчиков и блока датчиков. В связи со спецификой измерения смещений берегов в условиях испытаний конструкции, рассмотрены вопросы о влиянии конструктивных параметров датчика на погрешности измерения.

Для проведения одновременного измерения смещений в ряде точек вдоль трещины разработан блок фиксации датчиков перемещений на конструкции. Разработанный блок позволяет учитывать депланацию и непрямолинейность берегов трещины, односторонний подход к трещине. Важным достоинством предложенной конструкции блока является его модульность, позволяющая оперативно изменять диапазоны измерения путём замены датчиков перемещений.

Для проведения тарировки и метрологической аттестации датчиков перемещении разработан микрометрический калибратор. Для определения статической характеристики датчиков применена сквозная градуировка каждого датчика в условиях измерений: задавалось точное воздействие измеряемой величины и регистрировалось значение выходного параметра. Исследована зависимость чувствительности и погрешности измерения датчика от параметров его установки (силы прижима датчика, точности его установки по нормали к поверхности исследуемого объекта, расстояния между точками опирания и пр.) и соотношения компонент относительных смещений нормального раскрытия и поперечного сдвига. Установлено, что в рабочем диапазоне перемещений датчики обеспечивают высокую линейность преобразования и требуемую точность измерения.

Разработаны алгоритмы и программы сбора и обработки показаний датчиков раскрытия трещины. Датчики опрашиваются тензометрической станцией типа СИИТ-3, подключенной с помощью интерфейсного модуля к персональной ЭВМ. ЭВМ управляет тензометрической станцией и снимает показания датчиков в ряде точек вдоль трещины для различных уровней нагружения конструкции. К полученной совокупности экспериментальных данных применяются процедуры статистической обработки и линеаризации по методу наименьших квадратов. Проведены тестовые эксперименты, подтвердившие работоспособность созданной измерительно-вычислительной системы.

3. В целях автоматизации работ по анализу опыта массовой эксплуатации оценке влияния доработок на долговечность разработана автоматизированная информационно-поисковая система по долговечности основных конструктивных элементов самолёта. Использована реляционно-иерархическая модель данных и специализированная система управления базой данных (СУБД), соответствующая особенностям предметной области.

Разработаны принципы классификации и описания конструктивных элементов и типовых повреждений, базирующихся на картах технического обслуживания и технологических картах регламентных работ. Учитываются все возможные виды повреждений (различные виды трещины, коррозия, обрыв

головок заклёпок и болтов, пробойны, разрушения, остаточная деформация и т.п.). Предусмотрена регистрация всей информации карточек учёта отказов и неисправностей (КУН) с указаниями на конструктивно-производственные недостатки. Подсистема ввода и редактирования исходной информации обеспечивает непротиворечивость и целостность содержания базы данных. Используются не только универсальные средства табулирования результатов и средства построителя отчётов, но и специальные программы обслуживания возможных заявок по контролю, обеспечению и продлению ресурса.

4. Предложена классификация способов соединения (ремонта) деталей по несущей способности, технологичности, увеличению дополнительной массы конструкции и т.д.. Разработанная классификация включает способы (устройства) соединения (ремонта) деталей, которые позволяют соединять конструктивные элементы каркаса планера самолёта с помощью заклёпок (болтов), тормозить усталостные трещины, удалять дефекты в конструкции путём вырезания.

Количественные оценки, характеризующие различные способы соединения, получены путём обработки физического эксперимента, суть которого состояла в усталостных испытаниях образцов и натурных конструкций. Собранные и обобщённые данные содержат результаты многочисленных экспериментальных исследований, проведенных за последние 30 лет в лабораториях и ОКБ. Результаты испытаний приведены к стандартным условиям, которые позволили получить эффективные коэффициенты концентрации напряжений, характерные для каждого способа соединения.

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений были определены путём сравнения с кривой усталости полосы со свободным отверстием из соответствующего материала для панелей и натурных конструкций и с кривой усталости полосы с заполненным отверстием для образцов соединений.

5. Сконструирован и изготовлен пакет компактного измерителя колебаний. Его особенностью является наличие встроенного запоминающего устройства, что позволяет проводить обработку результатов на ПЭВМ в любое

время вдали от объекта измерений. Результатом обработки являются частоты и декременты колебаний. Возможна косвенная оценка наличия усталостных повреждений.

6. Разработан и апробирован в промышленности автоматизированный комплекс проектирования трубопроводов (подбор толщин) самолётных систем противообледенения и кондиционирования воздуха с учётом требований по усталости.

7. Создана многоканальная система управления вибросейсмоплатформой большой и сверхбольшой грузоподъёмности за счёт использования большого количества гидроцилиндров, распределенных по плоскости платформы. Увеличение количества цилиндров сверх четырёх, традиционно расположенных по углам позволяет существенно снизить энергозатраты на испытания уменьшением массы виброплиты. Сформулированный принцип одноплоскостного закона распределения регулируемых параметров позволяет преодолеть трудности, возникающие при работе многоканальных приводов, замкнутых на жёсткую вибросейсмоплатформу.

Теоретические исследования проверены и подтвердились при исследованиях на макете многоканальной системы управления.

В случае испытания авиационных конструкций на статическую и усталостную прочность система позволяет прикладывать сложные распределённые нагрузки в соответствии с различными расчётными случаями по нормам лётной годности. Для испытания строительных конструкций и оборудования система позволяет создавать воздействия, имитирующие вибро и сейсмонагрузки, характерные для работы объектов тяжёлого машиностроения в сейсмоопасных регионах.

Благодаря полученным свойствам, разработанная система управления пригодна для обеспечения сертификационных испытаний промышленной продукции, в том числе поставляемой на экспорт, для выявления соответствия характеристик изделий заданным требованиям.

При создании многофункциональной системы управления испытательным оборудованием найдена оптимальная структура системы, разработана

достаточная номенклатура функциональных модулей, создано соответствующее программное обеспечение, что позволяет обеспечить:

- повышение точности воспроизведения и удобство задания сложных воздействий на объект испытания;
- снижение энергозатрат при сохранении производительности испытаний;
- многоуровневую защиту объекта от непреднамеренного разрушения;
- развитую визуализацию данных и широкие функциональные возможности аппаратуры и программного обеспечения для работы при подготовке и проведении испытаний, в аварийных ситуациях, при диагностике систем стенда;
- контроль и протоколирование параметров процесса нагружения;
- повышение надёжности и снижение стоимости системы управления за счёт оптимизации аппаратных и программных средств;
- адаптируемость системы управления к различным видам испытаний и к испытываемым объектам с различными механическими свойствами;

Особое место среди полученных свойств системы занимает возможность испытания транспортных средств на электрогидравлических стендах в частном диапазоне 0-200 гц. При этом решена задача передачи в реальном времени от вычислительных средств к стенду больших объёмов данных о заданных на объект испытаний воздействиях, как детерминированных, так и зарегистрированных в процессе движения транспортного средства в реальных условиях. Для этого реализован высокопроизводительный канал передачи данных и улучшены структура и технические характеристики модулей системы.

Все технические решения и алгоритмы опробованы на созданном и отлаженном 8-канальном макетном блоке управления, который соединен с ПЭВМ типа IBM PC и электрогидравлическим стендом.