

Программные средства для анализа последствий отказов и обеспечения надежности изделий

При решении инженерных задач на этапах проектирования и производства нового изделия зачастую игнорируются важнейшие проблемы, бороться с которыми приходится уже впоследствии, на стадии испытаний и эксплуатации. Этот разрыв в современной теории и практике надежности преодолевают при помощи интегрированного логистического подхода, подразумевающего, что техническое послепродажное обслуживание является неотъемлемой частью самого изделия и должно быть рассчитано и обосновано разработчиком и изготовителем. Авторы данной статьи подробно рассматривают программный комплекс компании A.L.D. для осуществления интегрированной логистической поддержки (Integrated Logistic Support) изделий с точки зрения идеологии RCM (Reliability Centered Maintenance).

От материальной избыточности к информационной достаточности

Важнейшим свойством, определяющим уровень конкурентоспособности изделия, является его надежность. Существуют два пути обеспечения надежности. Первый из них, активно применявшийся в прошлом, состоит в том, что параметры изделия, определяющие его надежность, задаются "с запасом". Однако это приводит к увеличению материалоемкости изделия и снижению ряда его эксплуатационных характеристик. Другой путь

заключается в предварительном моделировании поведения изделия на этапе эксплуатации и расчете значений параметров надежности с помощью специализированных программных средств.

На сегодняшний день существует несколько основных подходов к обеспечению надежности изделий. К ним относятся методология анализа видов и последствий отказов FMEA/FMECA (Failure Modes and Effects Analysis), стандарты безопасности SAE ARP 4761, методология подхода к обслуживанию RCM (Reliability Centered Maintenance), системы сбора и анализа информации об отказах и определения необходимых корректирующих действий FRACAS (Failure Reporting and Corrective Actions System). Существует ряд программных систем, реализующих указанные подходы. Одной из таких систем, обладающей развитой функциональностью и получившей достаточно широкое распространение, является комплекс, разработанный израильской компанией A.L.D.

Комплекс программных продуктов A.L.D. включает в себя три компонента:

- ▶ RAM Commander – пакет для проведения инженерных расчетов, связанных с надежностью электронных, электромеханических, механических и других систем. В нем реализованы основные методы исследования надежности для облегчения работы проектировщиков;
- ▶ D-LCC – анализатор полной и детализированной стоимости жизненного цикла изделия. Это финансовый модуль комплекса,

позволяющий оценить экономическую рентабельность принятия того или другого решения в процессе конструирования и эксплуатации изделия;

- ▶ FRACAS Favoweb – система, реализующая связь с заказчиком и контроль над поставщиками.

RAM Commander: просто, как сама надежность

Используя RAM Commander, проектировщик (конструктор) может проводить расчет функциональной надежности, анализ видов и последствий потенциальных отказов по методу FMEA/FMECA, строить и анализировать деревья отказов (FTA – fault tree analysis), выстраивать температурные кривые, оптимизировать ремонт и количество запасных частей, выбирать и производить корректирующие действия, проводить анализ чувствительности и устраивать экспертные оценки.

Удобный интерфейс и модульная структура RAM Commander рассчитаны на обычного пользователя. Разработчиками этого пакета реализованы технологии Drag-and-Drop/Cut-and-Paste и процедура быстрого ввода данных, что значительно облегчает работу. Продукт предоставляет возможность выбрать формат, в котором будут составляться отчеты: MS Access, MS Excel и др., обеспечена поддержка работы в локальной сети.

Одним из важнейших преимуществ RAM Commander является соответствие проводимых в нем расчетов основным международ-

ным стандартам: MIL-HDBK-217 F Notice, BellCore Issue, HRD4, HRD5 British Telecom, RDF93 CNET French Telecom, IRPH93 Italtel, RADC TR 85-91 Non-operating, NPRD-95 for non-electronic parts, MIL-HDBK 472, Procedure 5A.

Процедура расчета в RAM Commander состоит из пяти этапов.

1. Создание проекта и задание его свойств.
2. Создание дерева изделия.
3. Расчеты надежности, готовности и ремонтпригодности изделия.
4. Формирование отчетов (Reports).
5. Работа с дополнительными модулями (Modules).

На первом этапе создается новый проект в среде RAM Commander и задаются все необходимые параметры (или устанавливаются их значения по умолчанию).

На втором этапе (product tree phase) производится ввод или импорт дерева изделия. Используя процесс сверху-вниз (top-down), инженер-пользователь может производить декомпозицию системы в дерево модулей (assemblies), подмодулей (subassemblies) и компонентов (components). Для всего дерева или каждого его элемента в отдельности следует задать все требуемые параметры – такие, как условия эксплуатации (environment), условное обозначение (reference designator) и количество. Если заданы не все необходимые параметры, система будет использовать значения по умолчанию. Для облегчения работы RAM Commander позволяет осуществлять выборку данных из различных внешних источников:

- ▶ импортировать CAD-файлы наиболее часто используемых типов, таких как ASCII, MS Excel, Mentor Graphics, HTML и т.д.;
- ▶ использовать встроенные (Pre-defined) наборы заданных по умолчанию значений (default values);
- ▶ использовать библиотеки компонентов (Component libraries).

Вид дерева изделия в RAM Commander представлен на рис. 1.



Рис. 1. Дерево изделия в RAM Commander

В дереве изделия представлены иерархически все элементы проекта. По окончании его построения можно переходить к следующему этапу – расчету надежности (reliability), готовности (availability) и ремонтпригодности (maintainability). Пользователь может осуществлять вычисления для всего дерева изделия или ограничить их отдельным элементом (компонентом, блоком или подсистемой).

RAM Commander предоставляет несколько различных способов вычисления надежности и ремонтпригодности R&M (reliability & maintainability). Можно выполнять полные или быстрые вычисления. При вычислениях в быстром режиме (Quick mode) RAM Commander вычисляет R&M, используя все дерево изделия целиком, и пересчитывает элементы, которые были изменены с момента предыдущих вычислений, так же как и элементы, для которых изменились какие-либо условия. В режиме Recalculate All (Пересчитать все) RAM Commander применяет значения по умолчанию для всех элементов и вычисляет R&M для всего проекта. Значения по умолчанию используются для полей, содержащих три тире (---). Если в поле имеется фактическое значение, RAM Commander использует именно его для вычисления надежности.

По результатам любых расчетов инженеру необходимо формировать отчеты. RAM Commander отображает результаты анализа и прогнозирования в виде спектра

отчетов и графиков. Их можно экспортировать в такие программы, как MS Word или MS Excel. Одним из преимуществ RAM Commander является возможность не только выбирать форму отчета из списка предоставленных, но и создавать отчеты самостоятельно.

В RAM Commander можно формировать следующие виды отчетов:

- ▶ отчеты для дерева изделия (Tree Reports),
- ▶ отчеты по Парето (Pareto Reports),
- ▶ отчеты по температурной кривой и другие, в том числе по результатам работы дополнительных модулей.

Использование дополнительных модулей – отдельный этап при работе с RAM Commander. С их помощью можно производить анализ и оптимизацию запасных частей (Spares optimizability), строить блок-схему надежности RBD (Reliability Block Diagram) и др.

Алгебра в союзе с гармонией

Возможности модуля RBD (Reliability Block Diagram) позволяют оценить надежность, готовность и среднее время между критическими отказами (Mean Time critical failures – MTBCF) для произвольно выбранной системы. Этот модуль также обеспечивает удобный графический вывод, предназначенный для облегчения процесса изменения структуры исследуемой системы (рис. 2). Кроме того, RBD полностью интегрирован с модулем моделирования методом Монте-Карло.

RAM Commander предоставляет два способа расчета RBD-диаграмм: аналитический и методом моделирования Монте-Карло (распределение Вейбулла). Всякий раз,

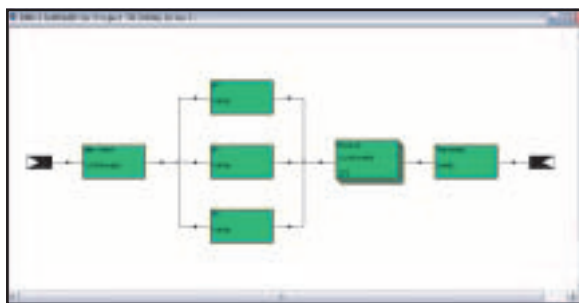


Рис. 2. Окно модуля RBD

когда пользователь модифицирует RBD, аналитические результаты доступности и надежности автоматически пересчитываются и выводятся в строке состояния. Чтобы произвести аналитическое вычисление RBD, в меню Calculation надо выбрать опцию Analytical. Для моделирования методом Монте-Карло в меню Calculation используется опция Monte Carlo. Моделирование методом Монте-Карло позволяет оценить надежность и доступность для произвольной конфигурации, когда для нее нет аналитического решения (рис. 3). Модуль позволяет исследовать случаи редко встречающихся событий и анализировать системы, содержащие сверхнадежные и обычные элементы.

FMEA/FMECA: все под контролем

Важным моментом при исследовании системы и расчете надежности является проведение анализа видов отказов и критичности последствий (Failure Mode Effects and Criticality Analysis – FMEA/FMECA). Данный анализ представляет собой систематизированный набор действий, направленных на выявление и устранение различных видов отказов. Современные стандарты и правила требуют от разработчиков и производителей формального доказательства того, что потенциальные неисправности исключены или находятся под контролем. Анализ FMEA позволяет, в частности, проводить стандартизацию изделий в EASA (European Aviation Safety Agency) и FAA (Federal Aviation Administration). Модуль FMECA RAM Commander был разработан как для специалистов по надежности, так и для разработчиков оборудования, в силу чего он одинаково удобен как для аппаратного, так и для функционального подхода при исследовании.

Процесс анализа FMEA/FMECA включает следующие действия:

- ▶ определение функций/элементов процесса/изделия;
- ▶ определение возможных отказов для функции/элемента;
- ▶ определение возможных последствий отказа;

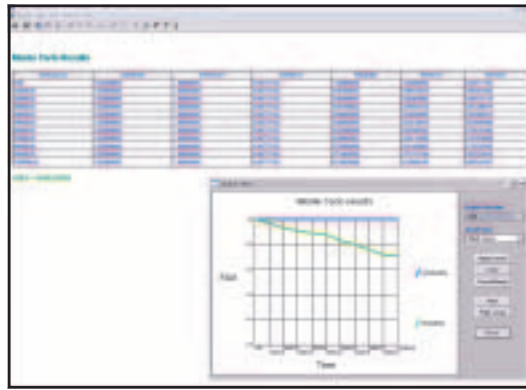


Рис. 3. Результаты моделирования методом Монте-Карло

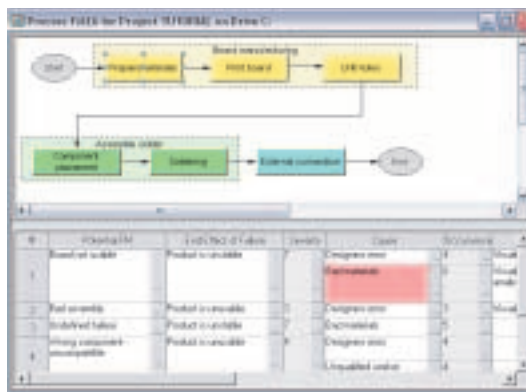


Рис. 4. Окно модуля FMEA



Рис. 5. Дерево отказов (Fault Tree)

- ▶ определение значимости отказа;
 - ▶ определение возможных причин отказа;
 - ▶ определение инцидентов;
 - ▶ определение методов контроля, используемых для проверки функции/элемента на отказы;
 - ▶ определение порядка выявления отказа;
 - ▶ вычисление приоритетного числа риска RPN (Risk Priority Number);
 - ▶ определение корректирующих действий для снижения риска;
 - ▶ вычисление оптимизированной интенсивности возникновения и обнаружения отказов, расчет результирующей RPN;
 - ▶ повторение процесса для оптимизации результатов анализа.
- Методика FMEA может использоваться для решения нескольких

типов задач. Во-первых, это глобальный анализ отказов систем на определенной фазе эксплуатации изделия (например, анализ потенциальных отказов двигателя самолета во время полета) – global FMEA. В ходе этого анализа пользователь систематизирует сведения о влиянии отказов частей проекта на глобальные отказы систем, роли в этом отдельных элементов, способах поиска неисправностей при глобальных отказах и об их последствиях. Во-вторых, это анализ возможных отказов системы на протяжении всего ЖЦИ – как на стадии разработки и проектирования – design FMEA, так и на стадии производства – process FMEA (рис. 4). По результатам такого анализа составляются руководства по эксплуатации изделий и т.п.

Наряду с вариантами анализа FMEA/FMECA, проводимыми “снизу вверх”, RAM Commander предоставляет возможность проведения анализа “сверху вниз”. Один из вариантов такого анализа – построение дерева отказов (FTA – Fault Tree Analysis) (рис. 5).

FTA: опыт, сын ошибок трудных...

Построение дерева отказов – один из наиболее широко используемых методов в анализе надежности систем и анализе вероятности отказов. Он предполагает графическое представление событий в иерархической структуре типа дерева. Метод используется для определения различных комбинаций сбоев аппаратного и программного обеспечения и ошибок, вызванных “человеческим фактором”, которые выливаются в определенный риск или отказ системы.

FTA – один из наиболее уникальных компонентов RAM

Commander. Он реализован с учетом огромного опыта, накопленного специалистами компании A.L.D. по анализу неисправностей, проведенному в сотнях проектов.

С использованием дерева отказов можно проводить два вида анализа:

1. Qualitative Analysis (качественный анализ) осуществляется средствами построения минимальных сечений (Minimal Cut Sets – MCS). Сечение – это такое множество базовых событий (basic events), для которого справедливо условие, что если все его события происходят, то событие в вершине дерева отказов происходит гарантированно. Минимальное сечение – это такое сечение, где соблюдается условие, что если любое базовое событие убрать из множества, то оставшиеся события все вместе уже не представляют собой сечение.
2. Quantitative Analysis (количественный анализ) используется для вычисления безусловных вероятностей, т.е. вероятностей отказов системы.

После проведения всестороннего анализа с использованием модулей FTA и FMEA пользователю необходимо прописать возможные корректирующие действия, оценить их преимущества и недостатки. Для этого в RAM Commander существует модуль принятия решений (Decision Making). Модуль принятия решения – это средство для определения профилактических или корректирующих действий, которые следует осуществить в целях усовершенствования конструкции

изделия или свойств процесса, чтобы снизить риски и выполнить требования заказчика.

В диалоговом окне Decision Making (рис. 6) имеется возможность ввести неограниченное число возможных корректирующих действий (Corrective Action), указать их преимущества и недостатки, составить комментарии, сделать отметки о персональной ответственности и т.д.

Связующее звено в бесконечной цепи

Немалым преимуществом использования RAM Commander является возможность его взаимодействия с FRACAS-системой Favoweb, единственной сетевой системой по устранению отказов.

FRACAS Favoweb – это система, которая накапливает знания по отказам/дефектам, их анализу и корректирующим действиям, чтобы оценивать прогресс в устранении причин отказов/дефектов, а также связанных с ними процессов. Непрерывный мониторинг данных через данную систему позволяет оценить, были ли предшествующие отказы и дефекты устранены через корректирующие действия.

FRACAS Favoweb осуществляет контроль в течение всего жизненного цикла изделия, предоставляет специалистам возможность отслеживать повторяющиеся происшествия, выявлять первопричины отказов путем глубокого инженерного анализа производственного процесса, что приводит к повышению надежности изделий. Favoweb умеет отслеживать серийные номера изделий, облегчая процесс наблюдения.

Преимуществом использования FRACAS Favoweb является и то, что данная система представляет собой так называемое MOTS-приложение (modified-of-the-shelf). При этом для того, чтобы настроить систему под конкретную задачу, достаточно усилий администратора, а написания дополнительных программных модулей не требуется.

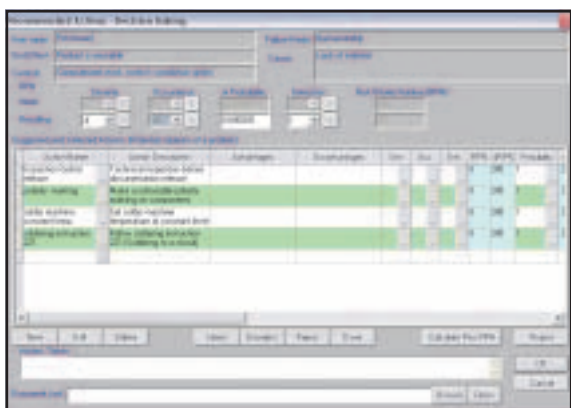


Рис. 6. Диалоговое окно Corrective Action – Decision Making

Компания «Би Питрон»:
системы, технологии, обучение,
консалтинг, инжиниринг
для различных отраслей
промышленности

Работает с 1993 года

Бизнес-партнер
IBM/Dassault Systemes;

Эксклюзивный провайдер
компании **Cimatron;**

Партнер компаний
**MSC Software, CGTech,
IMS** и др.

Акция!

Каждый новый пользователь
CATIA V5 или DELMIA V5
бесплатно
получает

устройство
3D навигации
**3Dconnexion
SpacePilot!**

WWW.BEE-PITRON.COM

Санкт-Петербург, Главный офис
тел.: (812) 272-1666, 273-3004,
факс: (812) 272-3869,
e-mail: all@bee-pitron.com

Москва
тел.: (495) 601-9373, факс: (495) 601-9372
e-mail: info@bee-pitron.msk.ru

Информацию о других
региональных центрах можно
получить в Главном офисе

В процессе наблюдения за жизненным циклом изделия FRACAS Favoweb можно рассматривать и как динамически обновляющуюся базу исходных данных для анализа, и как источник информации, поступление которой инициирует проведение предупреждающих или корректирующих действий. FRACAS Favoweb предоставляет возможность быстрого реагирования на происшествие благодаря своевременному поступлению информации об отказе в систему: "полевые" данные могут приниматься FRACAS Favoweb посредством e-mail и SMS. Кроме того, система обладает функцией распознавания голоса. Все это повышает уровень взаимодействия системы с заказчиками и потребителями и снижает вероятность потери данных об отказе из-за затруднений, связанных с процессом ввода информации.

При поступлении новых данных из базы FRACAS Favoweb инженер может провести дополнительные расчеты в RAM Commander и внести соответствующие изменения в проект на любой стадии ЖЦИ.

Таким образом, если RAM Commander является необходимым инструментом для инженеров по надежности и конструкторов как на этапе проектирования нового изделия, так и на этапе его производства, эксплуатации и модернизации (вплоть до списания), то Favoweb – это инструмент, работа которого важна в первую очередь с точки зрения испытаний и эксплуатации – задач, на которые многие разработчики порою обращают мало внимания.

Favoweb и RAM Commander совместно представляют собой программный комплекс для осуществления интегрированной логистической поддержки (Integrated Logistic Support) изделий с точки зрения идеологии RCM (Reliability Centered Maintenance). RCM – это глобальная стратегия обслуживания технической системы с использованием методов структурного анализа для оптимизации и повышения уровня надежности. С помощью RAM Commander в рамках этой стратегии можно провести исследо-

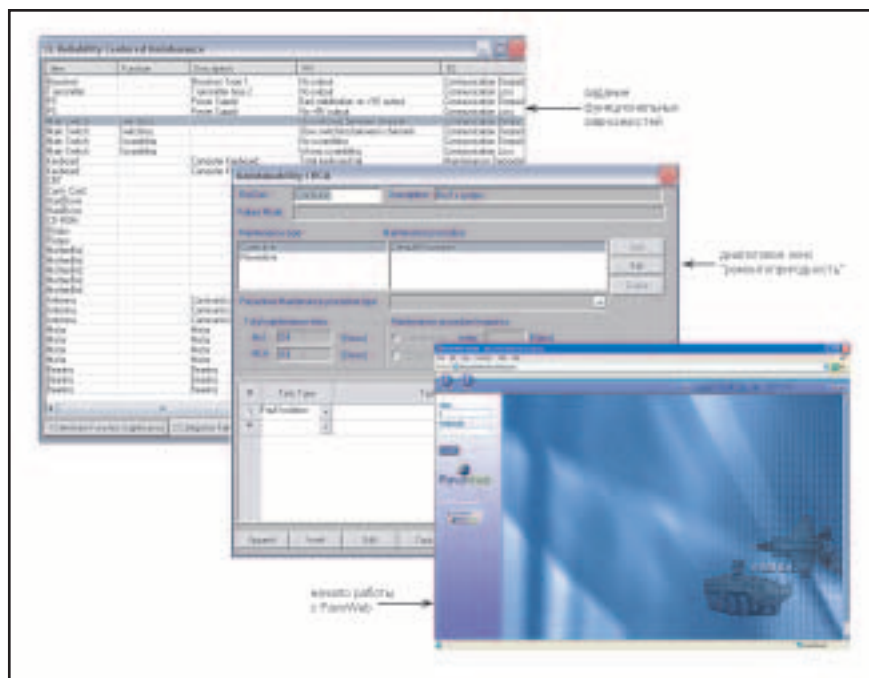


Рис. 7. Реализация стратегии RCM

вания на ремонтпригодность, контролепригодность и т. д. Реализуя стратегию RCM (рис. 7), пользователь RAM Commander должен выполнить следующие действия:

- ▶ построить дерево проекта;
- ▶ задать параметры для каждого элемента проекта;
- ▶ описать функциональные зависимости;
- ▶ провести распределение отказов по категориям (categorization);
- ▶ оценить ремонтпригодность системы;
- ▶ осуществить анализ необходимости и графиков проведения профилактического обслуживания (preventive maintenance decision);
- ▶ передать данные анализа в базу Favoweb.

С помощью FRACAS Favoweb результаты анализа сопоставляются с информацией, полученной во время испытаний и от непосредственных потребителей изделия. В процессе работы с системой выявляются несоответствия, обнаруживаются не учтенные ранее отказы, уточняются данные о критичности отказов, а также реальные сроки ремонтов и их эффективность. Системой инициируется проведение новых анализов и оценок.

Существует несколько реализаций подхода RCM, представляю-

щих собой рекомендации по проведению анализов и мероприятий по устранению и предотвращению отказов, а также графикам ремонтных работ. Среди них NAVAIR 00-25-403 и MSG3-стандарты, применяемые в авиационной промышленности. Поскольку оба эти стандарта полностью поддерживаются программным комплексом от A.L.D., RAM Commander и FRACAS Favoweb успешно используются для проведения анализов и подготовки отчетов о надежности, а также для сбора данных об отказах в проекте разработки самых современных универсальных боевых самолетов JSF (F-35) компании Lockheed Martin и во многих других проектах. В настоящее время готовится к выходу новая редакция стандарта MSG3 – MSG4 и его реализация в версии RAM Commander 7.6.

Компания "Би Питрон", являющаяся бизнес-партнером компании A.L.D., предоставляет предприятиям России и стран СНГ полный комплекс услуг по обучению пользователей, поставке, внедрению, гарантийному и послегарантийному обслуживанию представленных выше систем.

**К. Л. Зильбербург,
Е. В. Мекрюкова,
СП ЗАО "Би Питрон"**