

## **Повышение качества изделий путем анализа надежности**

**12 апреля 2010 г.**

Хонг Фам (Hoang Pham)

Рутгерский университет

### **Введение**

Растущая конкуренция среди производителей заставляет конструкторов и проектировщиков искать средства и способы обеспечения качества и надежности изделий, позволяющие максимально снизить стоимость изготовления конечной продукции. Сегодня изделия стали намного сложнее своих прежних аналогов, поскольку в них сочетаются два аспекта современных производственных систем: микро- и макросистемы. Микросистемы — это продукты био-, нано- и информационных технологий, которые характеризуются постоянно уменьшающимися размерами, а также возрастающей быстротой работы и сложностью устройства. Макросистемы напротив становятся больше, и их сложность также возрастает.

Оба этих вида систем часто ассоциируются с областями, имеющими большое значение для общества: энергетика, здравоохранение, производство, связь, транспорт и т. д. Из-за большого влияния на жизнь человека безопасность таких систем должна систематически подвергаться контролю, испытаниям и оценке, чтобы создаваемый ими риск не превосходил приносимую ими пользу. Широко опубликованные отказы изделий, создающие угрозу безопасности, и даже просто сбои, не представляющие опасности для жизни человека, способны нанести вред репутации компаний и торговых марок на долгие годы, а порой и навсегда.

Еще одним осложняющим фактором является то, что компании, производящие такую продукцию, обычно широко распределены географически и включают множество групп, находящихся в удаленных друг от друга регионах, которые сотрудничают в единой системе, взаимодействуя с одним или несколькими поставщиками комплектующих и подсистем, которые впоследствии объединяются в конечное изделие. В современных условиях вполне вероятно, что конечное изделие окажется спроектированным группами конструкторов из различных частей света и затем выпущено на производственных мощностях, расположенных в третьем месте. В такой ситуации задача разработки надежных систем, оборудования и изделий приобретает особую важность.

Управление надежностью, предполагающее объединение процессов, политик и труда множества специалистов по обеспечению надежности с самых ранних этапов жизненного цикла изделия для соответствия высоким эксплуатационным показателям и уровню безопасности, помогает компаниям решать проблемы все более сложных систем и глобально распределенных процессов в условиях современного конкурентного рынка.

## **Важность анализа надежности**

### ***Решение проблем растущей сложности изделий***

Устройство большинства изделий, влияющих на нашу повседневную жизнь, становится все сложнее. Всего несколько лет назад автомобильная аудиосистема включала только радиоприемник и проигрыватель компакт-дисков. Сегодня среди функций бортовой аудиосистемы не только привычное радио и проигрыватель дисков, но и возможность просмотра DVD, сотовая связь, спутниковая навигация, беспроводной доступ в Интернет и многое другое. Разработка и выполнение таких насыщенных информационными технологиями проектов, как правило, осуществляется путем разделения функций устройства на десяток или более компонентов/узлов, каждый из которых проектируется отдельной группой конструкторов и менеджеров. Такие группы чаще всего находятся в географически распределенных местах.

### ***Обеспечение безопасности изделий***

В секторе производства такое новое распределение работ проявляется еще сильнее. Например, новая модель самолета Боинг-787 состоит более чем из 132 000 деталей, производимых на 540 заводах по всему миру. Такая сложность делает анализ надежности как никогда необходимым, особенно если невыполнение такого анализа на каком-либо предприятии может поставить под угрозу жизнь человека. Что будет, если вдруг откажет кардиостимулятор? А если на автостраде откажут тормоза автомобиля? Если не раскроются шасси пассажирского лайнера? Поскольку в таких изделиях применяются сложные технологии (электротехника, электроника, связь), анализ надежности является обязательным этапом процесса обеспечения успеха изделия.

### ***Соответствие требованиям клиентов***

Когда клиент покупает новый ЖК-проектор, телевизор или куда более простое изделие, например компьютерную мышь или лампочку, он ожидает, что изделие будет работать должным образом в течение определенного срока. Когда производитель автомобилей выпускает на рынок новую модель, он должен предоставить потенциальному покупателю все сведения об автомобиле, такие как средний расход топлива, гарантийный срок, периодичность технического обслуживания и пр. Покупатель хочет получить основную информацию, чтобы решить, покупать эту модель автомобиля или нет. Анализ надежности и есть средство получения этой основной информации.

### ***Поддержание конкурентных отличий***

По мере того как изделия становятся все меньше (микросистемы), а сложность их устройства возрастает, обеспечение надежной работоспособности приобретает все большую важность и становится все сложнее. Это вынуждает производителей разрабатывать методы эффективной количественной оценки надежности и безопасности сложных систем в различных условиях эксплуатации. В отраслях, где проявляется высокий уровень конкуренции, анализ надежности становится обязательным для выживания большинства, если не всех компаний. Благодаря ему можно получить ответы на вопросы следующего типа: «Какова вероятность того, что изделие не откажет в ближайшие три месяца?» Или: «Как часто возникают неисправности в течение года?»

## Что такое анализ надежности?

Надежность должна рассматриваться производителями как один из наиболее важных показателей, поскольку она влияет на стоимость изделия, его безопасность и полезность. Надежность определяется как вероятность успешной работы изделия в течение указанного срока в указанных рабочих условиях.

Успешная эксплуатация изделия часто определяется с точки зрения его предназначения. Критерии успешной работы могут со временем меняться, поскольку само изделие претерпевает изменения. Кроме того, критерии могут зависеть от условий эксплуатации. Например, при проектировании и изготовлении компонентов, которые по расчетам изготовителя будут использоваться не больше года, а затем будут заменены новыми, достаточно иметь сведения о надежности работы изделия в течение одного года. В таком случае важно, как ведет себя изделие в течение именно этого срока. Дальнейшее не имеет значения.

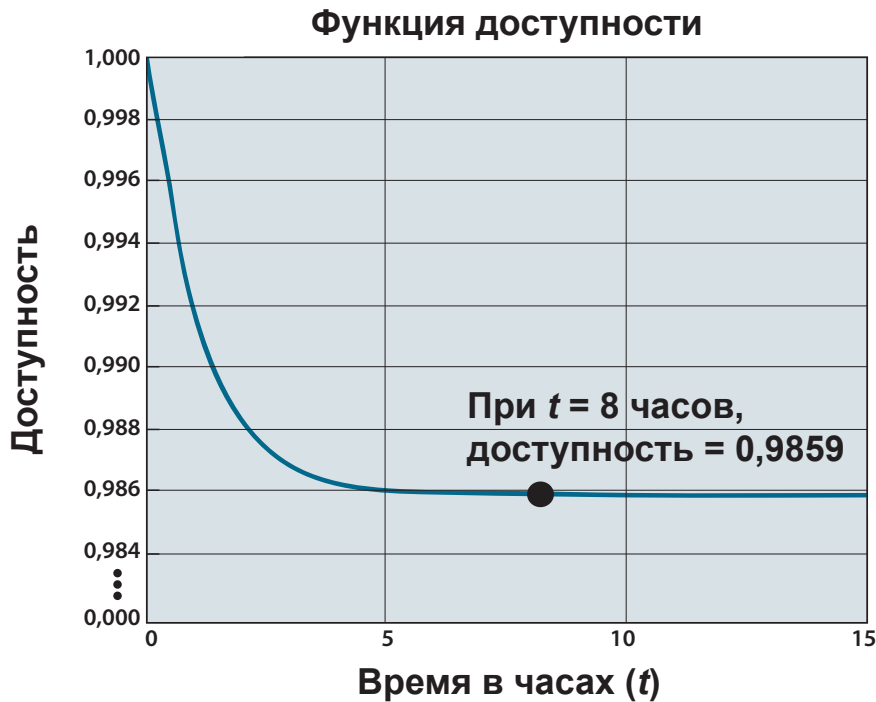
Наиболее распространенные показатели работы изделий:

- надежность — эксплуатационная характеристика изделия, отражающая возможность его удовлетворительного использования с целью выполнения предназначенной для него работы;
- частота отказов — количество отказов на единицу ресурса (время, пробег, количество событий и пр.);
- СВДПО (среднее время до первого отказа) — средняя продолжительность эксплуатации до первого отказа изделия;
- среднее время между отказами (СВМО) — средний срок службы ремонтпригодных изделий, рассчитываемый как среднее время успешного функционирования изделия до очередного отказа.

### **Пример анализа надежности**

Из 1 000 часов рабочего времени автомат, устанавливающий детали на печатные платы, проработал 875 часов. Было выявлено 115 отказов, на устранение которых потрачено 12,5 часов ремонтного времени. Разработчик изделия хочет знать, как долго мог бы безотказно работать автомат в течение обычного 8-часового рабочего дня.

С помощью программного обеспечения *Reliability Prediction* (прогнозирование надежности) можно вычислить, что степень доступности автомата к концу 8-часовой смены составит 0,9859, а для других периодов — как показано на графике ниже. В данном случае СВДПО (среднее время до первого отказа) автомата составляет 7,61 часа, и автомат будет безотказно работать 98,59 % времени.



### ***Значение управления надежностью***

Итак, данные получены. Как теперь компания может использовать эти данные для повышения качества изделий, процессов и услуг? Именно в этом случае и необходимо управление надежностью. Управление надежностью охватывает политики, процессы и процедуры, управляющие использованием этой информации.

Например, 7,61 часа безотказной работы в течение 8-часовой смены считается хорошим показателем работы или нет? Соответствует ли это ожиданиям клиента, условиям гарантии производителя или стандартам, применяемым в конкурентных изделиях? Другими словами, является ли достаточной надежность на уровне 98,59 % для такого рода изделия? Если конкурент может предложить более высокий показатель, если производитель гарантирует более высокие показатели в течение 8 часов работы или если клиент полагает, что 0,39 часа возможного простоя — это слишком много, какие действия необходимо предпринять производителю для ремонта данного автомата и исправления будущих поколений автоматов, чтобы обеспечить более высокие эксплуатационные показатели?

Это всего лишь примеры вопросов, которые могут возникнуть при рассмотрении вариантов использования полученных данных. Управление надежностью гарантирует наличие и применение политик, процессов и процедур, позволяющих принимать ключевые бизнес-решения относительно изделий при использовании сведений, полученных в ходе анализа надежности.

***Роль специалистов по надежности:***

***обеспечение надежности необходимо осуществлять на протяжении всего жизненного цикла изделия.***

Для количественной оценки эксплуатационных характеристик изделия на протяжении его жизненного цикла требуется обладать необходимыми для этого данными. Итак, на каком же этапе жизненного цикла изделия следует выполнять анализ надежности? С одной стороны, конструкторы и менеджеры часто полагают, что анализ надежности следует выполнять только в конце этапа проектирования, после сбора всех данных. С другой стороны, специалисты по обеспечению надежности считают, что анализ надежности необходимо проводить только после разработки и утверждения модели системы. В обоих случаях это происходит на достаточно поздних этапах процесса разработки. Специалисты по обеспечению надежности должны привлекаться к процессу разработки еще на начальном этапе сбора данных и участвовать во всех процессах на этапе разработки изделия.

***Выявление проблем и сбор данных***

Важно осознавать, что качество любого анализа надежности зависит от качества собранных данных. Как показывает практика, сбор данных — это непростая задача. Собираемые данные используются для принятия решения о надежности изделия или системы, поэтому они не только должны быть подкреплены достаточным объемом выборки, но и отражать вариативность в более широкой совокупности изделий. Учет вариативности и является самой сложной задачей, с которой сталкиваются специалисты по обеспечению надежности и менеджеры при сборе данных и выполнении оценки надежности с целью получения содержательных выводов. В целом, анализ данных — это важный этап в анализе надежности, правильность проведения которого позволяет получить осмысленные результаты и, следовательно, принять верное решение. Привлечение специалистов по обеспечению надежности к этому процессу с самого его начала позволяет гарантировать более качественные результаты и принятие более точных и осмысленных решений.

Сбор данных часто выполняется для множества целей. Данные позволяют устранить неопределенность и помогают принимать решения в процессе анализа надежности. Чем точнее определены цели надежности, тем лучше удастся спланировать процесс сбора данных. Для тщательной разработки процесса сбора данных, включая определение способов их получения и количества необходимых образцов, требуется время и совместные усилия специалистов по обеспечению надежности и конструкторов.

Эффективность процесса сбора данных можно повысить за счет четкого определения задачи. Следует заметить, что, если система состоит из множества узлов, например самолет, конструкция которого включает электроэнергетическую установку, шасси, двигатели и пр., количественная оценка ее надежности займет довольно много времени из-за неопределенностей процессов проектирования, производственной среды и планов по сбору данных о надежности.

Здесь возникает два важных и сложных вопроса, которые обычно задают техники, конструкторы и менеджеры: 1) «как выбрать лучшую модель из имеющихся для конкретного набора данных?» и 2) «как выбрать правильное программное обеспечение для анализа надежности при решении конкретной задачи?» Специалисты по обеспечению надежности обладают всеми необходимыми знаниями для определения целей надежности,

постановки задач и выбора методов сбора данных. Это, как правило, обусловлено их опытом в области анализа надежности, знанием методик и практикой работы с исследуемыми изделиями.

### Комплексный анализ надежности

Как правило, процесс анализа надежности включает следующие этапы (см. рис. 1).

(1) *Формулирование задачи* — четкое определение задачи, а также целей и требований к изделию.

(2) *Сбор данных* — определение процесса сбора и анализа данных для конкретного применения.

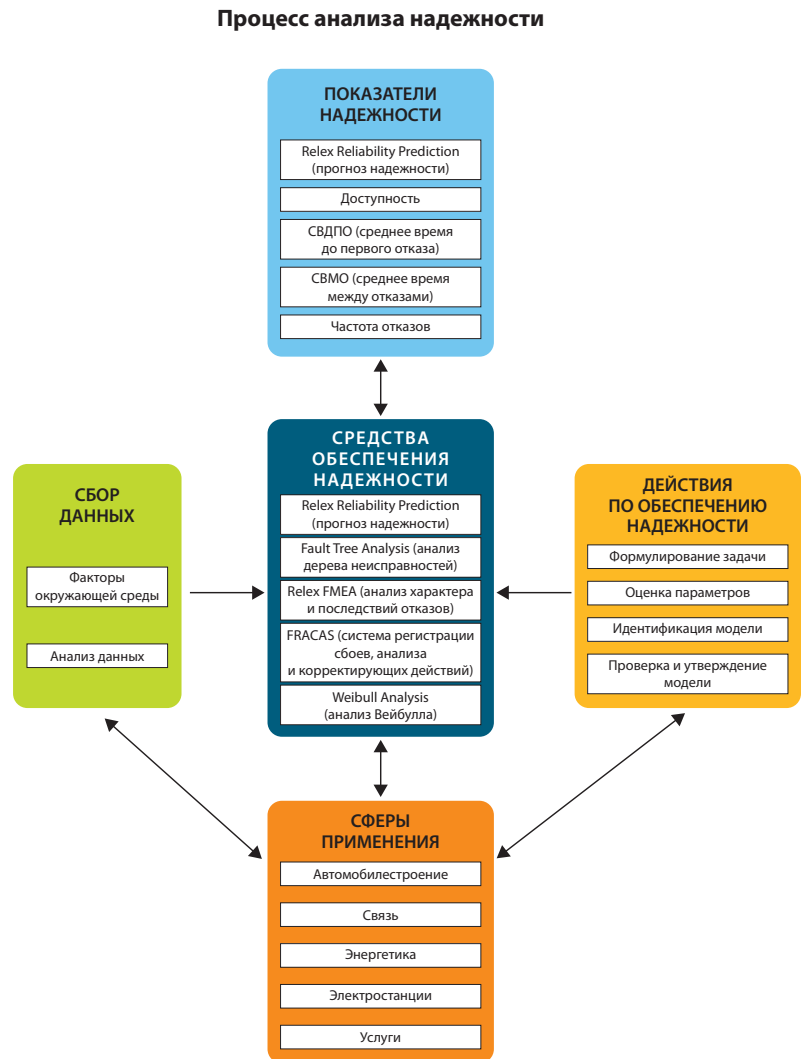
(3) *Оценка и подбор параметров* — определение методов оценки параметров и критериев отбора модели для конкретного применения.

(4) *Определение модели* — выбор соответствующей вероятностной модели для конкретного применения, т. е. модели характерных сбоев детали или системы.

(5) *Проверка модели* — определение методов проверки моделей и данных.

(6) *Утверждение модели* — возврат к этапу 2 (сбор данных), если модель не дает решения.

(7) *Оценка показателей надежности* — получение необходимых значений показателей надежности (среднее время до первого отказа, среднее время между отказами, частота отказов, доступность).



**Рисунок 1. Анализ надежности.**

Этапы комплексного анализа надежности, показанные на рис. 1, представляют собой непрерывный процесс получения отзывов и выполнения вычислений, обеспечивающий максимальную эффективность каждой итерации. В общем, в процессе анализа надежности первый этап предполагает определение и осмысление задачи, включая выяснение цели, ограничений, требований и построение логической схемы системы или изделия. Затем выполняется сбор и анализ данных, а на основе результатов анализа с учетом определенных

критериев выбирается подходящая вероятностная модель. После выбора вероятностной модели с помощью программного обеспечения *Weibull* или *Reliability Prediction* выполняется оценка параметров. После оценки и подбора параметров выполняется проверка и утверждение требований в отношении надежности, целей и результатов.

## **Инструменты, используемые специалистами по обеспечению надежности**

Следующие методики анализа надежности предоставляют широкий диапазон преимуществ производителям.

- **Модуль Reliability Prediction (прогноз надежности)** позволяет оценивать надежность изделия на ранних стадиях процесса разработки, а также определять частоту отказов, СВДПО (среднее время до первого отказа) и проверять, достигаются ли поставленные цели надежности.
- **Модули Fault Tree Analysis (FTA — анализ дерева неисправностей) и Failure Mode and Effects Analysis (FMEA — анализ характера и последствий отказов)** упрощают выявление факторов, снижающих рабочие характеристики и безопасность и обусловленных конструкцией изделия. Первый метод действует сверху вниз, второй — снизу вверх. Анализ дерева неисправностей (FTA) — это детальный дедуктивный анализ условий работы системы, направленный на выявление потенциальных сбоев. Он предоставляет важные сведения о вероятности неисправности и путях ее возникновения. Анализ характера и последствий отказов (FMEA) позволяет оценить надежность конструкции системы и быстро выявить потенциальные слабые места. Путем систематического и документированного рассмотрения всех возможных вариантов отказа изделия удастся выявить причины и последствия каждого типа отказа.
- **Модуль FRACAS (система регистрации сбоев, анализа и корректирующих действий)** используется для сбора оперативных данных о фактической надежности деталей на всем протяжении процесса проектирования и разработки изделия. Это процесс регистрирует сбои и корректирующие действия, направленные на улучшение конструкции изделия. Анализ FRACAS также позволяет определять причины сбоев и классифицировать их. Отслеживание сбоев, анализ причин их возникновения и выполнение корректирующих действий является жизненно важной частью процесса управления надежностью. Система FRACAS предоставляет систематический метод выполнения этого на корпоративном уровне, обеспечивая все заинтересованные стороны, включая техников по обслуживанию, инженеров-конструкторов и тестировщиков, соответствующими необходимыми сведениями.
- **Модуль Weibull Analysis (анализ Вейбулла)** дает возможность вводить данные, полученные с мест эксплуатации, обратно в систему анализа. Это позволяет анализировать характерные сбои деталей и систем с целью получения наиболее точной информации для последующего использования при проектировании и разработке новых изделий.

### ***Роль программного обеспечения по управлению надежностью***

Программное обеспечение для количественной оценки надежности может применяться для эффективного выполнения каждой из указанных функций, выполняя анализ данных на всем протяжении жизненного цикла изделия и помогая специалистам в определении надежности и доступности сложных систем.

*Модуль Reliability Prediction* позволяет определять последствия конструкторских решений, оценивая фактическую надежность изделия и сопоставляя ее с требованиями в отношении надежности. Программные средства выполнения анализов FRACAS, FMEA и дерева неисправностей помогают выполнять эти трудоемкие и разрозненные исследования более просто, системно и в сотрудничестве с другими специалистами в рамках организации.

Другие программные продукты упрощают оптимизацию и исследования методом моделирования и могут сочетаться со средствами создания блочных диаграмм надежности для последующего анализа рабочих характеристик и стоимости срока эксплуатации сложных систем. *Модуль Markov Analysis (анализ марковского процесса)* может использоваться для расчета надежности и доступности системы на основе марковского процесса, а модуль *Maintainability Prediction (прогнозирование ремонтпригодности)* позволяет инженерам анализировать и прогнозировать мероприятия по техническому обслуживанию, сроки ремонта и доступность. С помощью модуля *Weibull Analysis (анализ распределения Вейбулла)* можно анализировать данные об эксплуатационной долговечности на всех этапах жизненного цикла изделия, помогая инженерам прогнозировать будущие отказы. Следует заметить, что, хотя средства анализа надежности и могут предоставить большое количество подробных сведений, необходим опыт, которым обладают специалисты и менеджеры по обеспечению надежности, чтобы, основываясь на точных и сложных технических критериях процесса анализа надежности, принимать правильные решения по ключевым аспектам.

Полностью интегрированные программные модули, предназначенные для выполнения отдельных функций, в руках опытных специалистов по обеспечению надежности, руководствующихся установленными политиками управления надежностью, процессами и процедурами, способствуют упрощению процессов на уровне организации. Программное обеспечение для анализа надежности на уровне предприятия, полностью доступное всем удаленным рабочим группам и даже сторонним поставщикам комплектующих, гарантирует стандартизацию анализа надежности и безопасности изделий и полную его интеграцию в используемые продукты и системы.

Программное обеспечение для анализа надежности способно упростить процессы совместной работы групп разработчиков, ускорить циклы разработки изделий, а также стандартизировать и объединить разрозненные системы тестирования, возврата и обслуживания изделий на местах. Имея полную информацию о работе и безопасности изделия на протяжении всего его жизненного цикла, гораздо проще принимать решения в отношении обеспечения надежности на уровне руководства и эффективнее использовать результаты труда специалистов по обеспечению надежности при принятии управленческих решений.

## **Заключение**

Важность использования анализа надежности для создания надежных изделий в нынешних условиях рынка несомненна. С одной стороны, изделие, к которому предъявляются высокие требования в отношении надежности, может заставить производителя увеличить затраты времени и ресурсов в процессе разработки и изготовления — от конструкторского замысла и анализа проекта до разработки, испытания и эксплуатации. С другой стороны, высокая надежность изделий — это именно то, что стремятся получить клиенты и что чаще всего заставляет их обращаться к производителю вновь.

Правильно подобранные средства анализа надежности могут оказаться очень полезными, если не сказать обязательными, для обеспечения лучшего понимания техниками, конструкторами и менеджерами стоящих перед ними задач, правильного выбора процессов сбора данных, моделей распределения и окончательного применения результатов анализа реальных задач с целью достижения оптимального уровня надежности при разумных затратах.

Д-р Хонг Фам (Hoang Pham) является профессором и председателем факультета промышленного и системного проектирования Рутгерского университета. Он также является членом Института инженеров электротехники и электроники (IEEE) и недавно был удостоен награды «Лучший инженер по обеспечению надежности 2009 года» (2009 Reliability Engineer of the Year), вручаемой этой организацией.