

**Похабов Ю.П.**

ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ УНИКАЛЬНЫХ ВЫСОКООТВЕТСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассматривается подход к обеспечению надежности, позволяющий на ранних стадиях жизненного цикла выявлять и предотвращать потенциальные отказы уникальных высокоответственных систем на примере крупногабаритных трансформируемых конструкций космических аппаратов. Рассматриваемый подход среди прочих дает возможность учитывать конструкторские и технологические факторы, влияющие на надежность.

Ключевые слова: уникальные высокоответственные системы, крупногабаритная трансформируемая конструкция, космический аппарат, надежность, безотказность, свойство, способность, параметр, показатель.

Введение

На бытовом уровне понимания надежная техника не должна отказывать, обязана быть ремонтпригодной и служить долго. В стародавние времена о надежности и качестве товаров судили по имени мастера или по торговой марке. Клеймо мастера или товарный знак служили основанием для эмоциональной оценки качества и надежности товара, в немалой степени определявшей цену его продажи.

С усложнением техники и повышением риска возможных социально-экономических последствий отказов и аварий появилась необходимость оценивать надежность технических объектов в цифрах. Сегодня заданные количественные значения показателей надежности являются неотъемлемой частью технических заданий на разработку объектов техники и несут конкретный частотный смысл допустимых потерь, которые общество готово понести в случае отказов и аварий. Для опасных производственных объектов допустимая частота аварий директивно устанавливается в нормативно-технической документации: ГОСТ 12.1.010-76, ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ Р 12.3.047-98, РД 03-418-01, ГОСТ Р 51901.1-2002, ПБ 12-609-03 и др.

Для объективной верификации требований к надежности возникла необходимость в разработке методик расчетов надежности. Изначально за основу таких расчетов были приняты вероятностные трактовки показателей надежности, аналоги которых определяются методами математической статистики. В результате исследования надежности технических объектов стали сводиться к правилам статистической теории надежности, что в настоящее время закреплено в отечественных стандартах серии 27 «Надежность в технике». Формально это ограничивает область применения современной теории надежности в технике следующими категориями изделий [ГОСТ 27.002-89, Приложение, пояснение к термину «Показатель надежности»]:

– крупносерийными объектами, изготавливаемыми и эксплуатируемыми в статистически однородных условиях, для которых применимо статистическое толкование вероятности;

– единичными восстанавливаемыми объектами, где в соответствии с нормативно-технической документацией допускаются многократные отказы, для описания последовательности которых, применима модель потока случайных событий;

– уникальными и малосерийными объектами, состоящими в свою очередь из изделий массового производства, для которых расчеты показателей надежности в целом проводят методами статистической теории надежности по известным показателям надежности компонентов и элементов.

Однако в современном мире появляется все больше технических изделий, предназначенных для работы в условиях неестественной окружающей среды, и (или) сверхжестких режимов работы, резко отличных от обычных условий работы наземной техники, изготовленных к тому же в единичных экземплярах. Их поведение при эксплуатации не укладывается в рамки понятий и моделей теории вероятностей и математической статистики из-за отсутствия статистических данных и сколь-нибудь обоснованных суждений о законах распределения вероятностей случайных величин. Также существуют объекты, для которых модели теории вероятностей и математической статистики в целом приемлемы, но требуемая точность расчетов показателей надежности, намного превышает точность исходных данных.

Указанные технические объекты являются уникальными, если не существует статистики, или высокоответственными, если вероятность безотказной работы (ВБР) задается близкой к единице, либо являются теми и другими одновременно. Последние объекты составляют класс уникальных высокоответственных систем (УВС), широко используемых в военной, химической, космической, атомной и проч. технике. Отказы таких систем крайне нежелательны из-за существенных финансовых потерь или недопустимы по соображениям безопасности.

Для механических устройств космической техники, в первую очередь механизмов одноразового срабатывания, относящихся к УВС, в научно-технической литературе научно обоснованные инженерные методы обеспечения надежности раскрыты слабо. В порядке ретроспективы, здесь стоит упомянуть работы [1–4].

Характеристика крупногабаритных трансформируемых конструкций с позиций надежности

Образчиком УВС служат крупногабаритные трансформируемые конструкции (КТК) космических аппаратов (КА). Это панели солнечных батарей, космические радиотелескопы и рефлекторы, состоящие из десятков, сотен и даже тысяч взаимосвязанных элементов, кото-

рые обеспечивают раскрытие конструкций в условиях факторов космического пространства (ФКП) (вакуума, невесомости, нестационарных градиентов тепловых потоков, аномально низких и аномально высоких температур и т.д.). Такие конструкции изготавливаются преимущественно в единичных экземплярах с предельно возможной безотказностью. Резервирование критичных элементов (КЭ) КТК неприемлемо по конструктивным соображениям, либо имеет ограниченное применение по массово-габаритным показателям, а проведение ремонтов в случае отказов при эксплуатации по целевому назначению технически неосуществимо.

Сложность обеспечения надежности КТК усугубляется тем, что:

– имитацию совокупного воздействия ФКП (вакуума, невесомости, градиентов температур по сечениям конструкций и т.п.) при наземных испытаниях воспроизвести технически невозможно;

– в силу естественного земного притяжения, из-за больших габаритных размеров и пониженной жесткости конструкций, полноценная наземная экспериментальная отработка по их раскрытию существенным образом затруднена;

– работа механизмов вследствие ограничений по резервированию становится предельно чувствительной к любым ошибкам при конструировании, изготовлении и эксплуатации.

Главная трудность в обеспечении надежности КТК заключается в сложной и неявной зависимости надежности от множества факторов, каждый из которых имеет различную физическую природу и законы проявления, при этом некоторые факторы могут находиться в статистической зависимости с неизвестными коэффициентами корреляции, определение которых практически невозможно. Это связано с тем, что КТК относятся к техническим объектам с переменной структурой, обусловленной их многофункциональностью на протяжении жизненного цикла. Изначально, исходя из условий транспортирования КТК на околоземную орбиту, они находятся в сложном стационарном состоянии, затем производится их трансформирование в рабочую конфигурацию, в процессе которого элементы конструкций за относительно короткий промежуток времени изменяют свое пространственное положение и жестко фиксируются в конце своих перемещений, образуя новое стационарное состояние. В каждом из пространственных состояний и при переходе из состояния в состояние конструкции находятся под воздействием различных внешних условий и режимов эксплуатации, характерных для соответствующей стадии жизненного цикла. Для сравнения следует отметить, что остальные агрегаты и конструкции КА свою структуру в течение жизненного цикла не изменяют. Их надежность, как правило, характеризуется прочностью в единственно возможном пространственном состоянии, при

этом хоть и в изменяющихся в течение жизненного цикла, но однородных внешних условиях и режимах эксплуатации. Для КТК же факторы прочности рассматриваются как частный случай, влияющий на надежность в совокупности воздействия следующих групп факторов:

- конструктивных (ошибок при конструировании, несовершенств методов конструирования);
- технологических (несовершенств или нарушений принятой технологии, технологических ошибок, недостаточных пределов регулировок и настроек, неконтролируемых монтажных воздействий и т.д.);
- геометрических (выбора радиальных зазоров, свободных ходов механизмов и приводных пружин и т.д.);
- трибологических (выбора материалов трибосопряжений, стабильности характеристик смазок, назначения толщин твердо-смазочных покрытий и т.д.);
- вибростойкостных (самоотвинчивания резьбовых соединений, допустимых парциальных частот, допустимых виброперемещений и т.д.);
- теплофизических (допустимых тепловых деформаций, совместимости материалов по коэффициентам теплового линейного расширения, применения тепловых развязок при закреплении и т.д.);
- физико-механических (выбора запасов движущих моментов, допустимых скоростей раскрытия, требуемых значений импульсов сил толкателей для начального страгивания и т.д.);
- прецизионных (точности и стабильности позиционирования, отсутствия люфтов в рабочем состоянии и т.д.);
- организационных (применяемых способов резервирования, обеспечения заданных зон раскрытия, соблюдения последовательности зачековки раскрываемых звеньев и т.д.);
- антропогенных (противодействия непреднамеренным несанкционированным действиям и «дурашлепству» персонала, принятия во внимание факторов инженерной психологии, затрудняющих неправильную сборку или использования конструкции, использования мер защиты от «дурака»).

При такой комплексной зависимости надежности от многообразных факторов, приведение надежности КТК к единому показателю, который можно вычислить на основе какой-либо целостной и универсальной модели, невозможно, поскольку ни одна из известных моделей не способна учесть совокупного воздействия множества не только различных, но и разнонаправленных по физической сущности факторов. Однако и неучет любого из указанных факторов недопустим вне зависимости от знания или представления об интенсивности отказов, присущих каждой из групп факторов. В случае задания ВБР близкой к единице предполагается, что при эксплуатации не должно произойти никаких отказов, в т.ч. с пренебрежительно малой вероятностью.

Подход и предпосылки для обеспечения надежности крупногабаритных трансформируемых конструкций

Философический аспект надежности УВС изложен в работе [5], из которого следует, что надежность технических объектов в зависимости от нахождения на той или иной стадии жизненного цикла можно рассматривать как свойство или способность, при этом следует отметить, что эти понятия не противопоставляются, а дополняют друг друга, выражая единую сущность вещей.

Надежность как свойство рассматривается с позиций сохранения стабильности свойств технических объектов, а безотказность – с позиций *непрерывного* сохранения стабильности свойств технических объектов. Поскольку надежность определяется работоспособным состоянием объекта, то в узком смысле надежность – это свойство объектов сохранять стабильность работоспособного состояния в заданных условиях и режимах эксплуатации в течение некоторого времени или наработки. В таком случае, задача обеспечения надежности заключается в выявлении и устранении потенциальных нестабильностей работоспособного состояния объекта на каждой из стадий жизненного цикла.

Понимание надежности одновременно как свойства и как способности позволяет подходить к решению задачи надежности на системной основе с единых позиций, когда самого объекта еще не нет, но существуют его эвристические или математические модели, когда объект находится в каком-либо из стационарных состояний, а также при переходе из одного состояния в другое. В этом случае процесс функционирования КТК как объекта с переменной структурой полностью укладывается в одно из определений понятия «функционирование» как *«выполнение в объекте (системе) процесса (процессов), соответствующего (соответствующих) заданному алгоритму и (или) проявление объектом заданных свойств»* [ГОСТ 22487-77 (не действ.), Приложение 1 (справочное), статья 3]. Кроме того, применительно к КТК несколько меняется смысл таких понятий надежности, как «сохраняемость» и «безотказность», если термин «сохраняемость» рассматривать в определении утратившего свое действие национального стандарта: *«Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования»* [ГОСТ 27.002-83 (не действ.), статья 5]. С точки зрения выполнения целевой задачи, заключающейся в трансформировании КТК в рабочее состояние, функционирование в сложном состоянии служит проявлением свойства сохраняемости, а при переходе из сложного положения в рабочее – проявлением свойства безотказности. Причем здесь нет «разрыва понятий», поскольку транспортирование – это *«перемещение продукции в заданном состоянии с применением, при необходимости, транспортных и*

грузоподъемных средств, начинающееся с погрузки и кончающееся разгрузкой на месте назначения» [ГОСТ 25866-83, статья 14].

Таким образом, обеспечение надежности направлено на исследование стабильности проявления заданных свойств материальных объектов или способностей проявлять эти свойства на протяжении жизненного цикла. По каждой из групп факторов (прочностных, конструктивных, технологичных, трибологических и т.д.) стабильность способности проявления свойств или собственно самих свойств должна исследоваться с помощью математических моделей и методов, присущих физическим основам отказов, вследствие проявления определенных свойств применительно к конкретным объектам. В такой постановке надежность объектов не подменяется исследованием отдельных их свойств по прочности, механики, трибологии и т.п., а рассматривается как сложное комплексное свойство, в совокупности воздействия множества различных факторов. При этом методика обеспечения надежности КТК в целом строится на следующих базовых принципах:

- человек обязан понять принципы работы и организацию «механизма», который он создает на основе имеющихся научных знаний, а при нехватке знаний, – в результате целенаправленных исследований и экспериментов;
- функционирование любого «механизма» может быть представлено в виде системы свойств;
- любые свойства «механизма» могут быть охарактеризованы количественно;
- работоспособное состояние «механизма» может быть задано областью количественных значений величин, характеризующих его свойства;
- человек в состоянии установить требования в конструкторской документации на изготовление «механизма» так, чтобы количественные значения характеризующих его величин принадлежали области работоспособного состояния;
- человек способен организовать и осуществить производство так, чтобы в процессе изготовления «механизма» требования конструкторской документации (КД) были выполнены, и их исполнение было надлежащим образом проконтролировано.

В основу реализации указанных принципов для обеспечения надежности КТК заложены следующие концептуальные основы:

- 1) Тектология А.А. Богданова (1913);
- 2) Метод расчета сооружений с применением математической логики Н.М. Герсеванова (1923);
- 3) Системный подход Л. фон Берталанфи (1947);
- 4) Парадигма А.И. Уёмова о триединстве философских категорий: вещь → отношение → свойство (1963);
- 5) Теория надежности механических систем В.В. Болотина (1969);
- 6) Идеология робастного проектирования Г. Тагути (1976).

Базовый метод обеспечения надежности крупногабаритных трансформируемых конструкций

Базовым методом обеспечения надежности КТК является метод конструкторско-технологического анализа надежности (КТАН). Этот метод основан на принципе согласования конструкторских и технологических решений на всех стадиях жизненного цикла от технического замысла до выполнения целевой задачи, согласно которому конструктор, технолог и производитель обязаны с единых согласованных позиций понимать и предпринимать все необходимые меры по выполнению требований надежности.

Исходя из принципа осуществления указанного метода, обеспечение надежности – это не формальные и не однократные процедуры, производимые по окончанию каких-либо стадий жизненного цикла, и не ритуальные вычисления «числа девяток» в показателях надежности. Это процесс, который проводится непрерывно и параллельно с процессом конструирования, причем, исходя из единой целевой задачи по созданию надежных объектов, обеспечение надежности и конструирование являются равно значимыми для достижения заданных показателей надежности. Разница заключается в целях и методах их осуществления, и, что принципиально важно, в психологическом аспекте.

Цель конструирования – это достижение работоспособности объекта, цель обеспечения надежности – понимание, почему что-то может отказать, что при этом может произойти и какие действия необходимо предпринять, чтобы объект все же сохранил свою работоспособность. Конструирование, как правило, осуществляется эвристическими методами, а процесс обеспечения надежности – методами, построенными исключительно на утилитарных научных (системных) подходах.

Психологический фактор в процессе обеспечения надежности является ключевым. Одно дело – целенаправленно думать, каким образом объект будет работать и совсем другое дело – думать, по каким причинам он непременно должен отказать. Конструктор склонен защищать свое детище, «закрывать глаза» на упущения и недостатки, смотреть на конструкцию «замыленным» взглядом, и по-человечески это совершенно естественно и нормально. Поэтому сами собой напрашиваются аналогии из юридической практики адвокатов и прокуроров, когда один защищает, другой обвиняет, и вместе они вершат правосудие. На необходимость и уместность разделения функций по обеспечению надежности при конструировании не раз обращалось внимание. Например, Mary L. Bowden [6] в одном из пунктов правил проектирования раскрывающихся конструкций КА указывал: «Полностью проверьте, может ли что-либо предположительно пойти неправильно, обратите внимание, что это должен делать беспристрастный критичный проверяющий, а не проектант или главный инженер, который в данном случае помочь не сможет,

поскольку будет думать о том, каким образом система будет работать, но не о том, каким образом она откажется работать». При этом такой «критичный проверяющий» должен иметь, как образно выразился И.А. Рябинин, «...психологию «диверсанта», т.е. грамотно думать, как ...привести систему в опасное состояние» [7].

Цель КТАН заключается в предоставлении доказательств и подтверждений реализуемости проявления объектом заданных свойств или способностей эти свойства проявить на уровне физической необходимости.

Методика проведения КТАН основана на следующих базовых принципах:

1) Надежность как свойство отношений материальных объектов в виде взаимоположений, взаимосвязей и взаимодействий является суммарным результатом проявления свойств КЭ (термин «критичный элемент» понимается здесь согласно ГОСТ 27.310-95, статья 3.7), обеспечивающих работоспособность объектов во времени;

2) Свойства КЭ, обеспечивающие работоспособность объектов, всегда могут быть обнаружены методами системного анализа, выражены через систему показателей и параметров и количественно определены соответствующими значениями;

3) Любые виды расчетов, сопровождающие проектные и конструкторские работы, служат для обоснования установления требований КД. При решении задач надежности такие расчеты проводятся для количественной оценки значений тех или иных параметров, либо показателей, выполнение которых обеспечивает работоспособное состояние объектов;

4) Установленные в КД требования должны быть в обязательном порядке выполнены при изготовлении деталей и сборочных единиц, сборке, монтаже и приемосдаточных испытаниях изделий и проконтролированы службой технического контроля на производстве;

5) Одновременное исполнение условий по обоснованию, установлению, выполнению и контролю выполнения конструкторско-технологических требований служит гарантией обеспечения заданной надежности.

Проведение КТАН применительно к КТК осуществляется в следующей последовательности:

- проводится предельно точная и четкая квалификация возможных отказов;

- составляется максимально полное представление об условиях возникновения отказов как среды, где они возникают, существуют и развиваются;

- выявляются конкретные причины, способные непосредственно порождать отказы;

- определяется перечень КЭ КТК;

- устанавливаются свойства КЭ, обеспечивающие заданную работоспособность КТК, например, методом отрицательных суждений, в количестве, достаточном, чтобы полностью характеризовать любое состояние КТК из условия недопустимости возникновения отказов;

- свойства, обеспечивающие работоспособность КТК, выражаются через соответствующие показатели или параметры, необходимые для однозначной характеристики его работоспособности и удобные для учета рассматриваемых свойств;

- обосновываются критерии установления предельных значений показателей и параметров, при которых обеспечивается работоспособность КТК;

- устанавливаются предельных значения показателей или параметров;

- устанавливаются требования в КД, обеспечивающие однозначное исполнение заданных значений показателей и параметров.

Последующие процедуры КТАН направлены на то, чтобы указанные требования КД без искажений и интерпретаций нашли отражение в технологической и эксплуатационной документации, были в точности выполнены и надлежащим образом проконтролированы.

Практика применения показала хорошую совместимость КТАН с широко распространенными инженерными методами анализа надежности [3–4]. Также, в результате проведенных на практике анализов надежности механических устройств одноразового срабатывания выявлено, что КТАН как метод верификации требований надежности обладает рядом возможностей и преимуществ по сравнению с известными видами анализов:

1) КТАН является дополнительным видом анализа, который не подменяет существующие анализы надежности КТК, но обобщает и подытоживает их;

2) Применение КТАН позволяет повысить достоверность расчетов, проводимых для обеспечения надежности за счет процедур по установлению соответствия принятых при анализах и расчетах допущений с фактическим конструкторским и технологическим исполнением объектов;

3) КТАН может рассматриваться как средство планирования на системной основе проведения тех видов расчетов, которые необходимы для обеспечения заданной надежности (расчетов на прочность и жесткость, тепловых расчетов, расчетов размерных цепей и т.д.);

4) Использование КТАН позволяет сократить финансовые затраты на изготовление КТК из-за проектных ошибок за счет того, что в отличие от исправления проектных ошибок, обнаруженных на более поздних стадиях жизненного цикла, на их исправление при своевременном выявлении в процессе проектирования требуется ровно столько средств, сколько потрачено на их «свершение»;

5) КТАН позволяет прогнозировать и своевременно предотвращать условия возникновения возможных причин отказов на ранних стадиях разработки. Это способствует не только уменьшению числа отказов КТК в летной практике, но и позволяет существенно снизить материальные затраты на проведение наземной экспериментальной отработки, связанные как с осуществлением доработок конструкций, так и с исправлением последствий отказов;

6) КТАН позволяет алгоритмизировать (формализовать) процесс конструирования и тем самым снижать трудоемкость проведения конструкторских работ;

7) КТАН может служить средством обучения молодых специалистов рациональным методам конструирования с заданными показателями надежности;

8) КТАН позволяет выявлять конструкторские и технологические факторы ненадежности анализируемых объектов, которые невозможно обнаружить никакими другими видами анализов;

9) Применение КТАН позволяет обеспечивать заданную безотказность за счет принятия на системной основе конструкторско-технологических решений, направленных на обоснование, установление, выполнение и контроль выполнения требований к КЭ по безусловному выполнению ими заданных функций

10) КТАН является эффективным средством верификации надежности, поскольку при анализах объясняются не только требования надежности к конструкциям, но и причины их появления.

Подход к проведению анализов по обеспечению надежности

Для достижения и сохранения ВБР близкой к единице необходимо своевременно выявлять и предотвращать все возможные отказы КТК без разделения их по причинам (ошибки, несовершенства методов или нарушения принципов при проектировании, изготовлении или использовании), степени нарушения функций (важная, не важная, критичная, катастрофичная), вероятности проявления (вероятная, маловероятная и пр.). На практике требования ВБР, близкие к единице, подразумевают, что, исходя из тех знаний, опыта и понимания, которые имеются у разработчика на момент проведения анализов по надежности, отказы гарантированно не должны происходить. По крайней мере, при разработке КТК обязаны быть предприняты все необходимые и разумные меры по исключению отказов. Вновь выявленные обстоятельства в процессе изготовления и эксплуатации КТК, которые расширяют представления о возможности возникновения отказов, требуют немедленной корректировки анализов по обеспечению надежности.

Задачи проведения анализов по обеспечению надежности для изделий с предельно высокой безотказностью функционирования, должны включать:

- выявление недопустимых потерь работоспособного состояния;
- анализ условий эксплуатации с выявлением худших случаев сочетания факторов внешнего воздействия, режимов работы и конструкторско-технологического исполнения;
- выявление всех причин возможных отказов, исходя из научно-практического базиса имеющихся знаний;
- разработку мероприятий по устранению причин возможных отказов;

– оценку расчетных значений показателей надежности и соотнесение ее с заданными требованиями к надежности.

Указанные задачи предлагается решать в совокупности применения следующих видов анализов по обеспечению надежности:

1) Функционального анализа, проводимого с целью определения влияния потери отдельных функций на работоспособность изделий, а также определения по каждой функции критериев допустимых потерь и общего критерия отказа изделий (результаты функционального анализа используются при проведении последующих анализов по обеспечению надежности);

2) Анализа худшего случая, проводимого с целью определения возможных сочетаний худших комбинаций внешних воздействий, режимов работы, изменений и деградаций физико-механических характеристик материалов и исполнения геометрических размеров деталей и сборочных единиц (результаты анализа худшего случая используются при проведении последующих анализов по обеспечению надежности);

3) КТАН, проводимого с целью определения значений показателей и параметров, характеризующих безотказность работы изделий, обоснования границ их изменения для обеспечения работоспособного состояния, установления требований в КД по безусловному исполнению требуемых функций, выполнения всех установленных конструкторских требований при изготовлении и организации технического контроля (результаты КТАН необходимы для оценки надежности и использования их при планировании и осуществлении физических мер по обеспечению надежности);

4) Анализа (оценки) надежности функционирования, проводимого с целью подтверждения того, что расчетная ВБР будет не ниже заданной.

Если в результате анализов по обеспечению надежности расчетная ВБР окажется ниже требуемого значения, необходимо осуществить пересмотр конструкторско-технологических требований безотказности с корректировкой границ диапазонов показателей или значений параметров, поменять структурную модель надежности, изменить принятые конструктивные или технологические решения и т.п. После этого необходимо вторично провести анализы по обеспечению надежности с оценкой расчетного значения ВБР вплоть до выполнения заданных условий надежности.

Подход к оценке надежности

Оценка надежности КТК производится на основе выявления и учета оценок частных вероятностей проявления отдельных свойств: конструктивных, технологических, прочностных, тепловых и пр. Оценка отдельных свойств производится методами тех научных знаний, которые применимы для исследования данных свойств, например, для прочности – это методы таких дисциплин, как сопротивление материалов, строительной меха-

ники, теории упругости и т.д. Критерий таких оценок – это вероятность нахождения значений показателей и параметров в диапазонах, обеспечивающих работоспособное состояние конструкций. Для гарантированного обеспечения критериев работоспособного состояния конструкций должны быть выполнены все указанные выше процедуры КТАН. Невыполнение каких-либо из процедур КТАН, либо негативные результаты анализов, означает вероятность нарушения работоспособного состояния по рассматриваемому свойству.

Оценка общей надежности – это аддитивный подсчет результатов оценки частных вероятностей проявления отдельных свойств с учетом метода структурной схемы надежности [8]. Такая оценка не несет частотного смысла в проявлении отказов, а лишь отражает степень уверенности, что все необходимые конструкторские и технологические решения, позволяющие на уровне физической необходимости достигнуть заданного результата, предприняты и осуществлены. Таким приемом разрешается парадокс, заключающийся в том, что, исходя из социально-экономических соображений, заданным требованиям надежности придается конкретный частотный смысл, который в случае приближения требований безотказности к единице превращается в бессмысленность при проведении всяких инженерных вычислений.

В такой постановке любые потребные расчеты получают свое надлежащее место в методологии обеспечения надежности, включая расчеты, сложившиеся в инженерной практике (прочностные, тепловые, жесткостные и пр.). Системный анализ свойств объекта, изменяющихся во времени, задает необходимость и целесообразность проведения тех или иных расчетов, что исключает фактор субъективности при их выборе.

Суммарная оценка надежности КТК может быть произведена на основе метода балльных оценок критичности отказов (ГОСТ 27.310-95, Приложение В, табл. В.1) с той лишь разницей, что в случае, если предприняты и осуществлены все возможные конструкторские и технологические решения, позволяющие на уровне физической необходимости достигнуть заданного результата, то в табл. В.1 требуется ввести дополнительно вид отказов по вероятности возникновения с ожидаемой вероятностью, близкой к нулю (отказ ничтожен), соответственно, с ВБР близкой к единице.

Выводы

В данной статье представлен подход к обеспечению надежности УВС на примере КТК. Результаты практического применения рассматриваемого подхода для анализов трансформируемых конструкций, работающих в различных внешних средах (в космосе для замков системы зачехлки панелей солнечных батарей КА и в нефтяных скважинах для цементировочных муфт обсадных колонн) показали возможность своевременно выявлять потенциально отказы и предотвращать их до того, когда они станут реальностью. Полученная практика применения означенного подхода указывает на перспективность алгоритмизации процесса и создания методик обеспечения надежности для УВС.

Литература

1. Кузнецов А.А. Надежность конструкции баллистических ракет. – М: Машиностроение, 1978. – 256 с.
2. Кузнецов А.А., Золотов А.А., Комягин В.А., Титов М.И. Надежность механических частей конструкции летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979. – 144 с.
3. Шатров А.К., Назарова Л.П., Машуков А.В. Механические устройства космических аппаратов. Конструктивные решения и динамические характеристики. – Красноярск: СибГАУ, 2006. – 84 с.
4. Шатров А.К., Назарова Л.П., Машуков А.В. Основы конструирования механических устройств космических аппаратов. Конструктивные решения, динамические характеристики. – Красноярск: СибГАУ, 2009. – 144 с.
5. Похабов Ю.П. О философическом аспекте надежности на примерах уникальных высокоответственных систем // Надежность. – 2015. – № 3. – С. 16-27.
6. Bowden M.L. Deployment devices // Space Vehicle Mechanisms – Elements of Successful Design, Edited by Peter L. Conley. John Wiley & Sons, Inc., 1998. – P. 495-542.
7. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
8. Похабов Ю.П., Ушаков И.А. О безаварийности функционирования уникальных высокоответственных систем // Методы менеджмента качества. – 2014. – № 11. – С. 50-56.