

Расчёт надёжности технических изделий на основе методов всеобщего управления качеством

Calculation of reliability of technical products based on methods of universal quality management

Зимин Е.М.

Студент по программе магистратуры Московского политехнического университета, г. Москва

e-mail: zimigosh@mail.ru

Zimin E.M.

Master's Degree Student, Moscow Polytechnic University, Moscow

e-mail: zimigosh@mail.ru

Мартишкин В.В.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» Московского политехнического университета, г. Москва

e-mail: vmartishkin@mail.ru

Martishkin V.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department "Standardization, Metrology and Certification", Moscow Polytechnic University, Moscow

e-mail: vmartishkin@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам расчёта надёжности технических изделий на основе методов всеобщего управления качеством. Обзор методов производится на примере определения безотказности сборочных единиц автомобиля. Рассматриваемая схема представляет собой упрощённую схему устройства автомобиля с вероятностью безотказной работы каждого его элемента, равной 0,9. В статье также приведено сравнение значений безотказности системы, полученной методом всеобщего управления качеством и классическим методом.

Ключевые слова: надёжность технических изделий, методы всеобщего управления качеством, определение безотказности.

Abstract

The article is devoted to calculation of reliability of technical products based on methods of universal quality management. Methods are reviewed using the example of determining the reliability of car assemblies. The present diagram is a simplified diagram of an automobile device with a probability of failure-free operation of each of its elements equal to 0.9. The article also presents a comparison of the system reliability values obtained by the method of universal quality management and the classical method.

Keywords: reliability of technical products, methods of universal quality management, determination of reliability

Технические изделия могут находиться в исправном или в неисправном состояниях. В исправном состоянии они соответствуют всем требованиям нормативно-технической документации (НТД), в неисправном не соответствуют хотя бы одному требованию НТД. Неработоспособные изделия всегда являются неисправными. Надежность является комплексным показателем качества, но для технических изделий в зависимости от назначения и условий эксплуатации определяют единичные показатели, входящие в понятие надежность: безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность (ГОСТ 27.002-89). Для деталей и сборочных единиц наибольшее значение имеют безотказность, долговечность и сохраняемость. В машиностроении фактическую безотказность определяют по результатам приемочных и контрольных испытаний, после чего возникает возможность осуществить прогнозирование безотказности при эксплуатации изделий. Наибольший интерес в области прогнозирования представляют методы прогнозирования безотказности, на основе свойств материалов деталей, которые выражаются в виде совокупности физико-механических параметров, определяющих работоспособность деталей и сборочных единиц при возникновении случайных отказов (при исключении внезапных отказов). Методы прогнозирования безотказности основываются на математическом моделировании функциональных свойств изделий в предполагаемых условиях эксплуатации.

Принципиальное отличие метода определения безотказности изделий в рамках принципов всеобщего управления качеством от принципов классической теории надежности заключается в том, что при расчетах качества технических изделий, безотказность не является конечной целью, а является средством обеспечения проявления параметров качества, ради которых изделие создавалось, т.е. свойств функциональности и работоспособности. Таким образом, безотказность $P(t)$ в формулах расчета качества технических изделий представляет собой коэффициент сохранения качества изделия в течение нормативного срока эксплуатации. Для проведения анализа безотказности изделия необходимо осуществлять декомпозицию – разделение изделия на составные части. Эту операцию проводят как для восстанавливаемых, так и для невосстанавливаемых изделий. Проведение этой операции дает возможность отделять отказы от повреждений, что способствует получению объективной информации по действительной безотказности изделия. Определение безотказности сборочных единиц в рамках теории всеобщего управления качеством (в отличие от классической теории надежности) мы осуществляем с учетом значимости безотказностей деталей, влияющих на конечную безотказность сборочных единиц. Значимости как признак качества, представляют собой коэффициенты весомости, которые получают через балльные оценки r_i описывающих влияние безотказности конкретных деталей на безотказность сборочной единицы. Коэффициенты весомости определяют методом номинальных и предельных значений по формуле:

$$\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i} = \frac{\frac{q_{i.н}}{|q_{i.пр.} - q_{i.н}|}}{\sum \frac{q_{i.н}}{|q_{i.пр.} - q_{i.н}|}} \quad (1),$$

где $r_i = \frac{q_{i.н}}{|q_{i.пр.} - q_{i.н}|}$ – балльная оценка качества i -й детали (в данном случае безотказности);

$q_{i.н}$ – номинальный (определенный по чертежу) параметр качества;

$q_{i.пр.}$ – предельный (базовый) параметр качества;

$\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$ – принцип нормирования величин в пределах $0 \dots 1.0$.

Таким образом, получают коэффициенты весомостей, описывающие степень влияния безотказности детали на безотказность сборочной единицы, т.е., чем выше значение β_i , тем выше вероятность безотказной работы конкретной детали.

Значение вероятности возникновения отказа F_n определяют в зависимости от принятого закона распределения случайных величин. Поскольку все отказы представляют собой независимые события, то условную вероятность отказа изделия определяют по формуле среднего взвешенного арифметического:

$$F_n = F_1 \times (1 - \beta_1) + F_2 \times (1 - \beta_2) \dots F_n \times (1 - \beta_n) \quad (2),$$

и соответственно безотказность изделия:

$$P_n = P_1 \times \beta_1 + P_2 \times \beta_2 \dots P_n \times \beta_n \quad (3).$$

По данному принципу вероятность отказа сложного изделия представляет собой сумму вероятностей отказов его элементов с учетом их весомостей. Метод определения безотказности в рамках всеобщего управления качеством распространяется только на элементы, расположенные по последовательной схеме расчета надежности. Поэтому в данном случае достаточно определить коэффициенты весомости только для последовательных элементов схемы.

Расчет безотказности выполняют с целью обеспечения соответствия предъявляемых требований к показателям безотказности деталей в процессе работы изделия. Если действительные значения безотказности не соответствуют проектным показателям, то производится корректировка конструкции деталей и сборочных единиц с целью достижения проектной (требуемой) безотказности изделия. Сначала разрабатывают функциональную модель изделия, а затем на основании этой схемы составляют схему расчета надежности изделия.

Правила составления функциональных моделей сборочных единиц, предшествующих составлению схем расчета надежности:

- при расчетах показателей безотказности (независимо от схемы расчета безотказности: последовательная, параллельная или смешанная) детали в расчетной схеме безотказности сборочных единиц располагают в порядке уменьшения безотказности;

- самым высоким значением безотказности должна обладать самая значимая деталь в сборочной единице, которую располагают в начале расчетной схемы безотказности.

Для расчета безотказности изделия на стадии проектирования используют следующие исходные данные:

- показатели надёжности элементов аналогов, эксплуатируемых в таких же условиях;

- технические требования на разрабатываемое изделие;

- показатели безотказности комплектующих изделий, включённых в техническую документацию (технические условия, стандарты).

Безотказность системы с параллельным включением элементов определяют по формуле:

$$P_0 = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (4).$$

Таким образом, увеличение числа параллельно включенных элементов увеличивает безотказность сложной системы. При параллельном включении элементов изделие выйдет из строя только при отказе всех элементов схемы.

Системы с последовательным соединением элементов не имеют структурного резервирования, их отказ наступает при отказе любого элемента. Большинство технических изделий по последовательной схеме, поэтому при отказе какого-либо одного элемента изделие перестает выполнять свою функцию. Безотказность изделия,

собранный по последовательной схеме, определяется произведением вероятностей безотказной работы элементов:

$$P_0 = P_1 P_2 P_3 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (5).$$

Увеличение количества элементов при их последовательном включении приводит к снижению безотказности изделия. Для пояснения вышеприведенных принципов, ниже приведен пример расчета вероятности безотказной работы сборочной единицы по схеме расчета надежности, изображенной на рис. 1. В то же время представленная схема, в какой-то мере, представляет собой упрощенную схему устройства автомобиля с вероятностью безотказной работы каждого его элемента равной 0,9.

На рис. 1 представлена структурная схема автомобиля для расчета его безотказности по смешанной схеме, при этом принято, что вероятность безотказной работы каждого элемента схемы равна 0,9.

Представленная схема представляет собой упрощенную схему устройства автомобиля с вероятностью безотказной работы каждого его элемента равной 0,9.

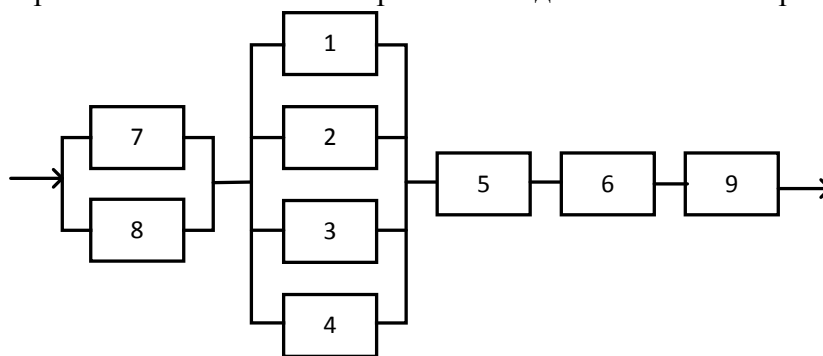


Рис. 1. Схема расчета безотказности автомобиля

1; 2; 3; 4 – цилиндры четырехцилиндрового двигателя; 5 – кузов; 6 – трансмиссия; 7 – тормоз ручной; 8 – тормоз ножной; 9 – шасси.

Схема расчета безотказности автомобиля начинается с двух зарезервированных элементов (ручной и ножной тормоза 7,8), соответствующих двум независимым системам торможения. Эти элементы должны быть самыми надежными в автомобиле, поэтому эти элементы располагают в начале схемы расчета надежности. Затем располагают двигатель, в котором имеется четыре цилиндра, соединенные по параллельной схеме (зарезервированные элементы) 1-4. Далее последовательно соединены два элемента (5 и 6) кузов и трансмиссия, а потом элемент (9) соответствует шасси автомобиля.

Для простоты расчетов безотказность автомобиля определена по смешанной схеме расчета безотказности без учета времени эксплуатации:

$$P(t) = [1 - (1 - P_{7,8})^2] \times [1 - (1 - P_{1-4})^4] \times P_5 \times P_6 \times P_9 = \\ = [1 - (1 - 0.9)^2] \times [1 - (1 - 0.9)^4] \times 0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.728$$

Таким образом, итоговая безотказность работы машины всегда меньше безотказности её составных частей.

Определение безотказности по принципам всеобщего управления качеством.

Как было указано выше, описанный метод определения безотказности в рамках всеобщего управления качеством распространяется только на элементы, расположенные по последовательной схеме расчета надежности. Поэтому в данном примере достаточно определить коэффициенты весомости для элементов схемы P_5, P_6 и P_9 . Формула определения безотказности по принципам всеобщего управления качеством:

$$P(t) = [1 - (1 - P_{1-4})^4] \times [(P_5 \times \beta_5) + (P_6 \times \beta_6) + (P_9 \times \beta_9)] \times [1 - (1 - P_{7,8})^2]$$

Расчет безотказности производим для условий $P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_9 = 0.9$. Коэффициенты весомости для элементов P_5 , P_6 и P_9 одинаковые, так как их показатели качества одинаковые, поэтому $\beta_5 = \beta_6 = \beta_9 = 0.333$, $\sum \beta_{5,6,9} \approx 1.0$.

$$P(t) = [1 - (1 - 0.9)^4] \times [(0.9 \times 0.33) + (0.9 \times 0.33) + (0.9 \times 0.33)] \times \\ \times [1 - (1 - 0.9)^2] = 0.999 \times 0.891 \times 0.99 = 0.881$$

Значение безотказности системы, полученной этим методом, выше классического метода за счет того, что учитывает только возможные отказы, а дефекты в данном случае не учитываются. Расчетное значение вероятности безотказной работы t , полученное на этапе проектирования изделия, затем определяют в процессе ускоренных испытаний на надежность, после чего безотказность уточняют натурными испытаниями или наблюдениями при эксплуатации.

Ниже описан принцип достижения требуемого уровня необходимой безотказности. Реализация данного принципа заключается в разработке автоматизированной экспертной системы, которая представляет собой комплекс компьютерных программ, используемых для решения задач повышения качества изделий с привлечением исходных массивов информации, систематизированных в виде баз знаний, накопленных экспертом (или экспертами). В базах знаний сосредотачивают всевозможные сведения и мероприятия по обеспечению требуемой безотказности на всех этапах жизненного цикла производства технического изделия. Необходимые рекомендации по обеспечению безотказности пользователь получает в результате диалога с компьютером после формирования запроса. В течение диалога пользователь отвечает на вопросы компьютера, после чего компьютер формирует сообщение о возможном решении вопросов безотказности в интересующем узле или агрегате изделия. На рис. 2 представлена принципиальная схема взаимодействия экспертной системы с производственным циклом создания технического изделия.

Ключевым моментом в представленной схеме является п. 1.4 – «Алгоритм достижения безотказности деталей, обеспечивающих выпуск изделия, соответствующих мировому уровню качества». Этот алгоритм предлагается использовать в машиностроении, так как мы считаем, что надежность (безотказность) технического изделия на 95% зависит от качества и надежности деталей, а также от своевременной выбраковки ненадежных узлов. Алгоритм достижения безотказности деталей обеспечивает выпуск продукции на высоком техническом уровне качества. Первым этапом алгоритма является определение ожидаемого качества деталей, которые при эксплуатации изделия были выявлены как ненадежные. Ожидаемое качество деталей – это качество, определенное по параметрам, указанным на чертеже детали. При недостаточном качестве детали (не соответствующего качеству базовой детали) корректируют значения параметров с целью достижения качества базовой детали.

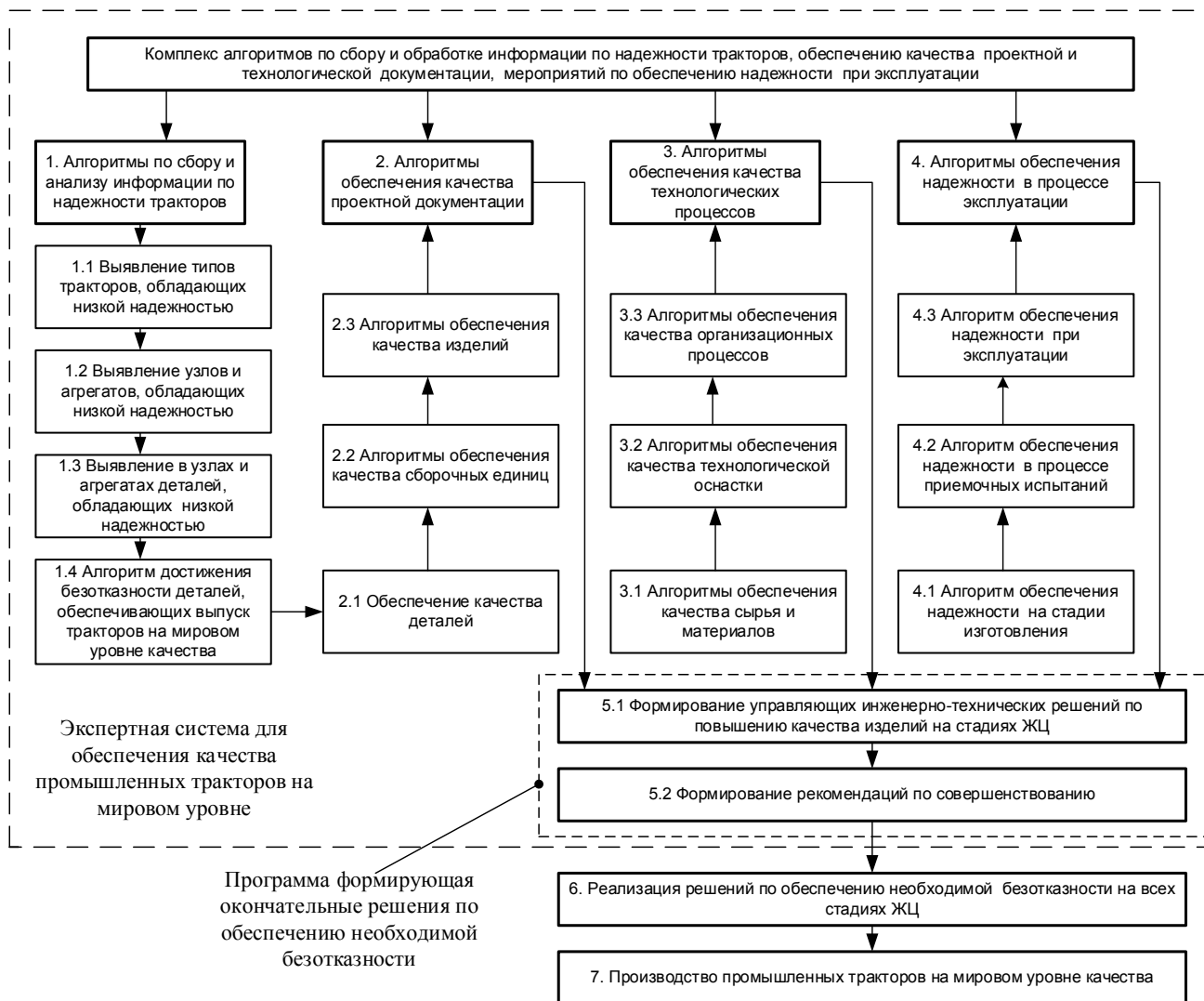


Рис. 2. Принципиальная схема экспертной системы по обеспечению производства технических изделий, обладающих высоким техническим уровнем

Неразрушающий контроль проводят на предмет обнаружения недопустимых дефектов в сечениях и на поверхностях, ответственных за безотказность: различных включений, неплотностей и др. дефектов, ослабляющих рабочее сечение детали. По результатам ускоренных испытаний производят (при необходимости) корректировку чертежа детали, т.е. корректировку конструктивных и технологических параметров, связанных с безотказностью детали. Детали, изготовленные в соответствии с п.п. 1 – 6 описанного алгоритма, по определению должны обладать требуемым качеством и безотказностью. Также контроль качества детали необходимо осуществлять в процессе производства.

После проведения всех вышеперечисленных мероприятий считается, что обеспечено производство технических изделий, соответствующих высокому техническому уровню качества с 95%-ой вероятностью (5% – возможное возникновение допустимых и не критичных дефектов).

Литература

1. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
2. Конструирование приборов. В 2-х кн./ Под ред. В.Краузе; пер. с нем. В.Н.Пальянова: Под ред. О.Ф.Тищенко.– Москва: Машиностроение, 1987. – 384 с.
3. *Федюкин В.К.* Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учебное пособие/ В.К.Федюкин. – Москва: КНОРУС, 2009. – 320 с.
4.
http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CALS_Непрерывная_информационная_поддержка_поставок_и_жизненного_цикла_изделия
5. <http://promtractor.tplants.com/ru/company/review/>