

Зимин Е.М., Мартишкин В.В. Расчет надежности технических изделий на основе методов всеобщего управления качеством // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 37–43. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.3.05

Zimin E.M., Martishkin V.V. Calculating the reliability of technical products based on General quality management methods. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2020, vol. 22, no. 3, pp. 37–43. DOI: 10.15593/2224-9877/2020.3.05

ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение
Т. 22, № 3, 2020

Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science

<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9877/2020.3.05
УДК 338.24

Е.М. Зимин, В.В. Мартишкин

Московский политехнический университет,
Москва, Россия

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ВСЕОБЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Рассматривается обеспечение базового уровня качества технического изделия с помощью разработки и внедрения экспертной системы, обеспечивающей отсутствие отказов и дефектов на стадии эксплуатации данного изделия. 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. Изучение вопросов надежности технических изделий показало, что недостаточная надежность изделия связана с целым рядом проблем. Приведен перечень мероприятий, с помощью которых возможно повысить технический уровень и качество технического изделия. Описана необходимость разработки экспертной системы для обеспечения качества технических изделий на высоком уровне. Описанная ЭС должна давать оценку ожидаемого качества деталей или изделий до передачи конструкторской документации в производство. Внедрение такой экспертной системы даст возможность на предпроизводственных стадиях (разработка КД и ТД) принимать меры для устранения возможных дефектов деталей, сборочных единиц и изделий до начала эксплуатации изделия. В ходе работы были сделаны следующие выводы: показатель надежности технического изделия, рассчитанный методом всеобщего управления качеством, выше, чем при помощи метода классической теории надежности; разработан алгоритм, при котором после проведения всех вышелечисленных мероприятий считается, что обеспечено производство технических изделий, соответствующих высокому техническому уровню качества с 95%-ной вероятностью.

Ключевые слова: безотказность, всеобщее управление качеством, классическая теория надежности, надежность технического изделия, неразрушающий контроль, сохраняемость, схемы расчета надежности, техническое изделие, экспертные системы, ускоренные испытания, функциональная модель.

E.M. Zimin, V.V. Martishkin

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

CALCULATING THE RELIABILITY OF TECHNICAL PRODUCTS BASED
ON GENERAL QUALITY MANAGEMENT METHODS

Ensuring the basic level of quality of a technical product by developing and implementing an expert system that ensures the absence of failures and defects at the stage of operation of this product. The failure-free calculation is performed in order to ensure compliance with the requirements for the failure-free performance of parts during the operation of the product. If the actual reliability values do not correspond to the design parameters, then the design of parts and Assembly units is adjusted in order to achieve the design (required) reliability of the product. First, they develop a functional model of the product, and then, based on this scheme, they make a scheme for calculating the reliability of the product. The study of the reliability of technical products has shown that the lack of product reliability is associated with a number of problems. The paper provides a list of measures that can be used to improve the technical level and quality of a technical product. The article describes the need to develop an expert system to ensure the quality of technical products at a high level. The described ES should give an assessment of the expected quality of parts or products before transferring the design documentation to production. The introduction of such an expert system will make it possible at the pre-production stages (development of CD, etc.), to take measures to eliminate possible defects in parts, Assembly units and products before the start of product operation. In the course of the work, the following conclusions were made: the reliability index of a technical product calculated by the method of General quality management is higher than using the method of classical reliability theory, an algorithm was developed in which, after all the above measures, it is assumed that the production of technical products corresponding to a high technical level of quality is provided with a 95% probability.

Keywords: fail-safe, universal quality management, classical reliability theory, technical product reliability, non-destructive testing, persistence, reliability calculation schemes, technical product, expert systems, accelerated testing, functional model.

Введение

Технические изделия могут находиться в исправном или неисправном состоянии. 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 [1]. 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 появляется возможность осуществить прогнозирование безотказности при эксплуатации изделий [2]. 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 [3].

Материалы и методы

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 [4]. 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 безотказности деталей, влияющей на конечную безотказность сборочных единиц. Значимость как признак качества представляют собой коэффициенты весомости, которые получают через балльные оценки r_i , описывающие влияние безотказности конкретных деталей на безотказность сборочной единицы. Коэффициенты весомости определяют методом номинальных и предельных значений по формуле¹

$$\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i} = \frac{\frac{q_{ин}}{|q_{инп} - q_{ин}|}}{\sum \frac{q_{ин}}{|q_{инп} - q_{ин}|}}, \quad (1)$$

где r_i – балльная оценка качества i -й детали (в данном случае безотказности), $r_i = \frac{q_{ин}}{|q_{инп} - q_{ин}|}$; $q_{ин}$ – номинальный (определенный по чертежу) параметр качества; $q_{инп}$ – предельный (базовый) параметр качества; β_i – принцип нормирования величин в пределах 0–1, $\beta_i = \frac{r_i}{\sum r_i}$.

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 [5].

Значение вероятности возникновения отказа F_n определяют в зависимости от принятого закона распределения случайных величин. Поскольку все отказы представляют собой независимые события, условную вероятность отказа изделия определяют по формуле среднего взвешенного арифметического [6]

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

и, соответственно, безотказность изделия

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

¹ ГОСТ 27.301–95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения / Межгос. совет по стандарт., метрол. и сертиф. Минск, 1996. 138 с.

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. Ввиду этого в данном случае достаточно определить коэффициенты весомости только для последовательных элементов схемы [7].

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 [8]. 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, следующие:

- 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 надежности элементов аналогов, эксплуатируемых в таких же условиях;
- технические требования на разрабатываемое изделие;

- показатели безотказности комплектующих изделий, включенных в техническую документацию (технические условия, стандарты) [9].

Безотказность системы с параллельным включением элементов определяют по формуле

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

Такие схемы состоят из основного и нескольких резервных элементов, благодаря чему система остается работоспособной, пока остается работоспособным хотя бы один ее элемент (рис. 1).

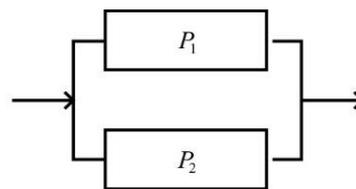


Рис. 1. Система с параллельным включением элементов

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 [10].

Система с последовательным соединением элементов, представленная на рис. 2, не имеет структурного резервирования, ее отказ наступает при отказе любого элемента. Большинство технических изделий собирают по последовательной схеме, поэтому при отказе какого-либо одного элемента изделие перестает выполнять свою функцию. Безотказность изделия, собранного по последовательной схеме, определяется произведением вероятностей безотказной работы элементов:

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



Рис. 2. Система с последовательным соединением элементов

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.

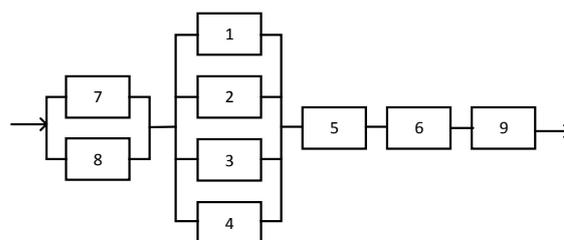


Рис. 3. Схема расчета безотказности автомобиля:
(1–4) – цилиндры четырехцилиндрового двигателя;
5 – кузов; 6 – трансмиссия; 7 – тормоз ручной;
8 – тормоз ножной; 9 – шасси

На рис. 3 представлена структурная схема автомобиля для расчета его безотказности по смешанной схеме, при этом принято, что вероятность безотказной работы каждого элемента схемы равна 0,9 [11].

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

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

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

$$P(t) = [1 - (1 - P_{7,8})^2][1 - (1 - P_{1-4})^4] P_5 P_6 P_9 = [1 - (1 - 0,9)^2][1 - (1 - 0,9)^4] 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,728.$$

Таким образом, итоговая безотказность работы машины всегда меньше безотказности ее составных частей [12].

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 следующая²:

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

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 $\beta_5 = \beta_6 = \beta_9 = 0,333$, $\sum \beta_{5,6,9} \approx 1,0$.

$$P(t) = [1 - (1 - 0,9)^4] \times [(0,9 \cdot 0,333) + (0,9 \cdot 0,333) + (0,9 \cdot 0,333)] \times [1 - (1 - 0,9)^2] = 0,999 \cdot 0,891 \cdot 0,99 = 0,881.$$

Значение безотказности системы, полученной этим методом, выше классического метода за счет того, что учитываются 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 [13].

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) [14]. В базах знаний сосредоточивают все возможные 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 ходе диалога пользователь отвечает на вопросы компьютера, после чего компьютер формирует сообщение о возможном решении вопросов безотказности в интересующем узле или агрегате изделия [15]. На рис. 4 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, соответствующего мировому уровню качества» [16]. 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.

² Общероссийские классификаторы деталей и сборочных единиц машиностроения и приборостроения ОК 020–95, ОК 021–95, ОК 022–95. М.: Изд-во стандартов, 1995.

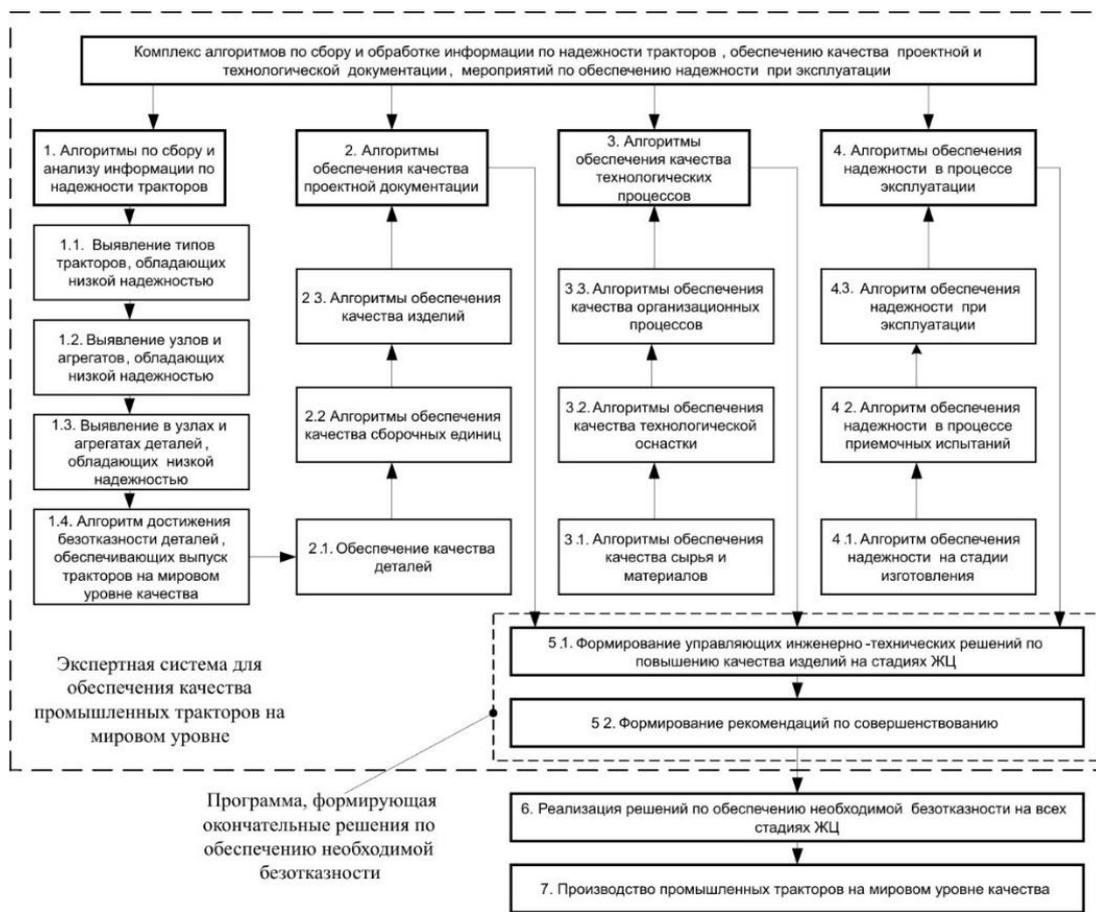


Рис. 4. Принципиальная схема экспертной системы по обеспечению производства технических изделий, обладающих высоким техническим уровнем

Первым этапом алгоритма является определение ожидаемого качества деталей, которые при эксплуатации изделия были выявлены как ненадежные³. Ожидаемое качество деталей – это качество, определенное по параметрам, указанным на чертеже детали. При недостаточном качестве детали (не соответствующем качеству базовой детали) корректируют значения параметров с целью достижения качества базовой детали [17].

Неразрушающий контроль проводят на предмет обнаружения недопустимых дефектов в сечениях и на поверхностях, ответственных за безотказность: различных включений, неплотностей и других дефектов, ослабляющих рабочее сечение детали. По результатам ускоренных испытаний производят (при необходимости) корректировку чертежа детали, т.е. корректировку конструктивных и техно-

логических параметров, связанных с безотказностью детали⁴. Детали, изготовленные в соответствии с пунктами 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%-ной вероятностью (5 % – возможное возникновение допустимых и некритичных дефектов) [18].

Список литературы

1. Управление качеством продукции машиностроения / М.М. Кане [и др.]. – М.: Машиностроение, 2010. – 415 с.
2. Зубарев Ю.М. Математические основы управления качеством и надежностью изделий: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 172 с.

³ ПДЗАЭС 7.5-03–16. Порядок рассмотрения конструкторской документации при проведении оценки соответствия в форме приемки по поручениям АО «Концерн Росэнергоатом».

⁴ ГОСТ Р 50.03.01–2017. Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме экспертизы технической документации. Порядок проведения.

3. Мартишкин В.В., Алексашина О.В. Создание экспертной системы для выбора базовых образцов на стадии проектирования технических изделий // Мн. науч. конф., г. Курск, 9–10 декабря 2015 г. / Юго-Запад. гос. ун-т. – Курск, 2015. – С. 206–211.

4. Мартишкин В.В., Сепесева Ю.А. Значение экспертных методов для обеспечения метрологической надежности измерительной аппаратуры // Метрология, информационно-измерительные технологии и системы: VI Междунар. науч. конф., г. Харьков, 24–25 октября 2017 г. / МИИТС. – Харьков, 2017. – С. 89–94.

5. Мартишкин В.В. Управление качеством технических изделий на стадии разработки рабочей документации // Известия МГТУМАМИ. – 2013. – № 2(16). – С. 348–354.

6. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции / РИА Стандарты и качество. – М., 2001. – 356 с.

7. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справ. / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.

8. Федюкин В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учеб. пособие для студ. вузов. – М.: КНОРУС, 2009. – 320 с.

9. Технологичность конструкции изделия: справ. / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков [и др.]; под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

10. Конструирование приборов: в 2 кн. / под ред. В. Краузе; пер. с нем. В.Н. Пальянова. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.

11. Мартишкин В.В., Зайцев С.А., Сепесева Ю.А. Определение качества технических изделий. Ч. 1. Использование свойств нормального распределения при расчетах качества технических изделий // Машиностроение и инженерное образование. – 2017. – № 4 (53). – С. 2–10.

12. Алгоритмы расчета качества при проектировании технических изделий / В.В. Мартишкин, О.В. Алексашина, С.А. Зайцев, Т.С. Сухова, О.Н. Гринюк // Все материалы: энцикл. справ. – 2016. – № 11. – С. 34–38.

13. Мартишкин В.В., Грибанов Д.Д. Обеспечение качества технических изделий путем контроля проекта // Качество и жизнь. – 2016. – № 1. – С. 26–42.

14. Мартишкин В.В., Зайцев С.А., Феофанов А.Н. Значение экспертных систем для повышения качества продукции в автотракторной отрасли // Технология машиностроения. – 2015. – № 7(157). – С. 55–64.

15. Прохоров Ю.К. Управление качеством: учеб. пособие / СПбГУИ ТМО. – СПб., 2007. – 144 с.

16. Мартишкин В.В., Кулешова О.В. О расширении функций метрологических служб предприятий, работающих в системе CALS-технологий // Управление качеством: науч. конф., г. Москва, 20–21 ноября 2013 г. / Моск. гос. машиностроит. ун-т (МАМИ). – М., 2013. – С. 137–149.

17. Мартишкин В.В., Задорнов К.С. Алгоритм управления качеством технических изделий на стадии рабочего проектирования // Технология машиностроения. – 2014. – № 5(143). – С. 58–63.

18. Методика обработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 56 с.

References

1. Kane M.M. et al. Upravlenie kachestvom produktcii mashino-stroeniia [Engineering Product Quality Management]. Moscow: Mashinostroenie, 2010, 415 p.

2. Zubarev Iu.M. Matematicheskie osnovy upravleniia kachestvom i nadezhnost'iu izdelii: uchebnoe posobie [Mathematical fundamentals of quality and product reliability management]. Saint-Petersburg: Lan', 2017, 172 p.

3. Martishkin V.V., Aleksashina O.V. Sozdanie ekspertnoi sistemy dlia vybora bazovykh obratstov na stadii proektirovaniia tekhnicheskikh izdelii [Creation of an expert system for selecting base samples at the design stage of technical products]. Iugo-Zapadni gosudarstvenyi universitet. Kursk, 2015, pp. 206–211.

4. Martishkin V.V., Sepeseva Iu.A. Znachenie ekspertnykh metodov dlia obespecheniia metrologicheskoi nadezhnosti izmeritel'noi apparatury [Significance of expert methods for ensuring metrological reliability of measuring equipment]. *Metrologiia, informatsionno-izmeritel'nye tekhnologii i sistemy: VI Mezhdunarodnaia nauchnaia konferetsiia*. Khar'kov, 2017, pp. 89–94.

5. Martishkin V.V. Upravlenie kachestvom tekhnicheskikh izdelii na stadii razrabotki rabochei dokumentatsii [Quality management of technical products at the stage of working documentation development]. *Izvestiia MGTUMAMI*, 2013, no. 2(16), pp. 348–354.

6. Glichev A.V. Osnovy upravleniia kachestvom produktcii [Basics of Product Quality Management]. RIA Standarty i kachestvo. Moscow, 2001, 356 p.

7. Gurevich Ia.L., Gorokhov M.V., Zakharov V.I. et al. Rezhimy rezaniia trudnoobrabatyvaemykh materialov [Cutting modes for hard-to-machine materials]. Moscow: Mashinostroenie, 1986, 240 p.

8. Fediukin V.K. Kvalimetriia. Izmerenie kachestva promyshlennoi produktcii [Measuring industrial product quality]. Moscow: KNORUS, 2009, 320 p.

9. Iu.D. Amirov, T.K. Alferova, P.N. Volkov et al. Tekhnologichnost' konstrukticii izdeliia [Technological design of the product]. Ed. Iu.D. Amirova. Moscow: Mashinostroenie, 1990, 768 p.

10. Konstruirovaniie priborov [Instrument design]. Ed. V. Krauze. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 384 p.

11. Martishkin V.V., Zaitsev S.A., Sepeseva Iu.A. Opredelenie kachestva tekhnicheskikh izdelii [Determination of the quality of technical products]. Part 1. Ispol'zovanie svoistv normal'nogo raspredeleniia pri raschetakh kachestva tekhnicheskikh izdelii. Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie, 2017, no. 4 (53), pp. 2–10.

12. Martishkin V.V., Aleksashina O.V., Zaitsev S.A., Sukhova T.S., Griniuk O.N. Algoritmy rascheta kachestva pri proektirovanii tekhnicheskikh izdelii [Quality calculation algorithms for technical products design]. *Vse materialy: entsiklopediia sprav.*, 2016, no. 11, pp. 34–38.

13. Martishkin V.V., Griбанov D.D. Obespechenie kachestva tekhnicheskikh izdelii putem kontrolya proekta [Quality assurance of technical products through project control]. *Kachestvo i zhizn'*, 2016, no. 1, pp. 26–42.

14. Martishkin V.V., Zaitsev S.A., Feofanov A.N. Znachenie ekspertnykh sistem dlia povysheniia kachestva produktsii v avtotraktornoi otrasli [The importance of expert systems for improving product quality in the automotive industry]. *Tekhnologiya mashinostroeniia*, 2015, no. 7(157), pp. 55–64.

15. Prokhorov Iu.K. Upravlenie kachestvom [Quality Management]: uchebnoe posobie.SPbGUI TMO. Saint-Petersburg, 2007, 144 p.

16. Martishkin V.V., Kuleshova O.V. O rasshirenii funktsii metrologicheskikh sluzhb predpriiatii, rabotaiushchikh v sisteme CALS-tekhnologii [On expanding the functions of metrological services of enterprises working in the system of CALS-technologies]. *Upravlenie kachestvom: nauch. konf., g. Moskva, 20–21 noiabria 2013*. Moskovskii gosudarstvennyi mashinostroitelnyi universitet (MAMI). Moscow, 2013, pp. 137–149.

17. Martishkin V.V., Zadornov K.S. Algoritm upravleniia kachestvom tekhnicheskikh izdelii na stadii rabocheho proektirovaniia [Algorithm of technical products quality management at the working design stage]. *Tekhnologiya mashinostroeniia*, 2014, no. 5(143), pp. 58–63.

18. Metodika obrabotki konstruksii na tekhnologichnost' i otsenki urovnia tekhnologichnosti izdelii mashi-

nostroeniia i priborostroeniia [Methods of treatment of structures for manufacturability and assessment of the level of manufacturability of mechanical engineering and instrument-making products.]. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1975, 56 p.

Получено 19.06.2020

Опубликовано 12.10.1010

Сведения об авторах

Зимин Егор Максимович (Москва, Россия) – аспирант кафедры стандартизации, метрологии и сертификации Московского политехнического университета, e-mail: zimin.em@mail.ru.

Мартышкин Владимир Васильевич (Москва, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, метрологии и сертификации Московского политехнического университета, e-mail: vmartishkin@mail.ru.

About the authors

Yegor M. Zimin (Moscow, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Standardization, Metrology and Certification, Moscow Polytechnic University, e-mail: zimin.em@mail.ru.

Vladimir V. Martishkin (Moscow, Russian Federation) – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Standardization, Metrology and Certification, Moscow Polytechnic University, e-mail: vmartishkin@mail.ru.