

А. С. Ишков, Г. А. Солодимова, Н. А. Кучковская

УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ И КАЧЕСТВОМ ДАТЧИКОВ КАК ИЗДЕЛИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

A. S. Ishkov, G. A. Solodimova, N. A. Kuchkovskaya

CONTROL OF RELIABILITY AND QUALITY OF SENSORS AS PRODUCTS OF RESPONSIBLE APPOINTMENT

Аннотация. *Актуальность и цели.* Для потребителей датчиков качество продукции является значимым вопросом в связи с негативными последствиями использования некачественных изделий, так как отказ датчика может привести к выходу из строя целого комплекса дорогостоящей высокопроизводительной аппаратуры. Менеджмент надежности предприятия является тем инструментом, который позволяет повысить эффективность координации и контроля всех бизнес-процессов, повысить степень рационального использования всех видов ресурсов и значительно быстрее реагировать на изменения рыночной конъюнктуры. Цель исследования – определение роли менеджмента надежности в формировании качества датчиков. *Материалы и методы.* В работе сделан анализ факторов, влияющих на показатели датчиков на разных стадиях их жизненного цикла. Предложены методы прогнозирования параметров надежности, позволяющие обеспечить регламентируемые показатели качества уже на стадии проектирования датчико-преобразующей аппаратуры. *Результаты.* Применение моделей расчета показателей надежности датчиков, базирующихся на прогнозной информации об однотипных, ранее созданных изделиях, позволит повысить качество и показатели надежности на этапах проектирования датчиков, работающих в экстремальных условиях воздействия на них комплекса влияющих величин. *Выводы.* Внедрение менеджмента надежности в системы управления качеством производственных процессов позволит значительно снизить затраты на разработку и производство датчико-преобразующей аппаратуры.

Ключевые слова: риск, качество, менеджмент, изделия ответственного назначения, прогнозирование.

Abstract. *Background.* For consumers of sensors, the quality of products is a significant issue due to the negative consequences of using substandard products. the sensor failure can lead to the failure of a whole complex of expensive high-performance equipment. Enterprise reliability management is the tool that allows to increase the efficiency of coordination and control of all business processes, to increase the rational use of all types of resources and to react much more quickly to changes in market conditions. The purpose of the study is to determine the role of reliability management in the formation of sensor quality. *Materials and methods.* In work the analysis of the factors influencing indicators of gauges at different stages of their life cycle is made. Methods for predicting reliability parameters are proposed, which make it possible to provide regulated quality indicators already at the design stage of the sensor equipment. *Results.* The use of models for calculating the reliability of sensors based on predictive information about the same type of previously created products will improve the quality and reliability indicators at the design stages of sensors operating under extreme conditions of impact on them of a complex of influencing quantities. *Conclusions.* The introduction of reliability management in the quality management systems of production processes will significantly reduce the cost of developing and manufacturing sensor equipment.

Key words: risk, quality, management, products of responsible design, forecasting.

Введение

К изделиям ответственного назначения принято относить продукцию, предназначенную для эксплуатации на объектах с повышенным уровнем опасности. К таким объектам относятся, прежде всего, комплексы управления атомных электростанций, наземная и бортовая авиационная, морская

и космическая аппаратура, химические производства, оборудование для топливно-энергетического комплекса и т.п. Получение информации о техническом состоянии систем регулирования, диагностики и аварийной защиты составных частей и агрегатов объектов осуществляется с помощью датчиков, неисправность которых может повлечь не только крупные материальные потери, но и многочисленные человеческие жертвы. При этом доступ персонала для калибровки датчиков практически исключен на протяжении всего непрерывного технологического цикла (например, в атомной энергетике) или вообще невозможен в случае пребывания объекта в космическом пространстве.

Анализ методов обеспечения надежности датчиков на разных этапах его жизненного цикла

Современный подход к обеспечению надежности датчиков на требуемом уровне базируется на двух аспектах – механической и метрологической надежности. С одной стороны, датчики являются частью конструкции исследуемых объектов, параметры которых измеряются, с другой стороны, они рассматриваются как преобразователи измерительной информации с нормированными метрологическими характеристиками. На начальных этапах развития датчикоостроения в силу отсутствия требований по механической надежности датчиков в техническом задании (ТЗ) ее оценка проводилась в основном по результатам испытаний. Возрастающие требования к механической надежности датчиков, а также сложность и большой объем испытаний по ее подтверждению привели к необходимости применения расчетной оценки механической надежности путем построения и анализа их структурно-функциональных схем. Однако такая оценка проводилась, как правило, на завершающих этапах разработки датчиков, и в случае несоответствия показателей механической надежности установленным требованиям приводило к необходимости выполнения значительной работы и дополнительным материальным затратам, обусловленным изменением их конструкции. Данные обстоятельства не способствовали поддержанию конкурентоспособности и устойчивого спроса на датчико-преобразующую аппаратуру из-за ее неэффективного проектирования и производства, так как в итоге все эти издержки приводили к значительному увеличению сроков и удорожанию разработки. В общей совокупности различных направлений исследований, связанных с вопросами разработки и применения теории надежности, в настоящее время можно выделить два больших направления.

Первое – развитие и применение математических методов к задачам нахождения и анализа параметров надежности систем и элементов. Здесь используются в основном методы математической статистики и теории вероятности, получившие широкое развитие в последнее время в применении их к теории надежности. Вероятностно-статистические методы в теории надежности рассматриваются в некотором роде как «классика решения задач», а сама теория надежности, построенная на этих методах, относится к «классической». Другое направление характеризуется развитием работ, связанных с изучением физики отказов, процессов (механических, физико-химических, электрических и т.д.), которые приводят к тем или иным изменениям к старению, износу, разрушению материалов, улучшению или ухудшению их свойств.

Характеристики надежности технических изделий, в том числе и датчиков, принято делить на две группы: качественные и количественные. Качественное определение характеризует свойства отдельно взятого изделия. Понятие надежности определяется множеством различных количественных характеристик, поэтому не может быть использовано в полной мере. Но, несмотря на это, чаще стараются использовать количественные характеристики надежности, потому как качественные характеристики нельзя выразить математически. Это привело к необходимости создания новых основных критериев, которые могли бы количественно оценить надежность конкретных элементов и оценить надежность изделий в сравнении между собой. Самые применяемые критерии надежности [1]:

- интенсивность отказов (условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник);
- вероятность безотказной работы (вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет);
- гамма-процентная наработка до отказа (наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью, выраженной в процентах).

Под характеристикой надежности понимают конкретное количественное значение критерия надежности для определенной детали. Данные количественные значения помогают произвести рас-

чет надежности, рассчитать приблизительные сроки службы датчиков, рассчитать предполагаемые сроки ремонта.

Надежность для датчиков – это, прежде всего, свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования в экстремальных условиях эксплуатации. Это качество, простирающееся во времени. Поэтому понятие надежности близко к понятию качества, а потому проблемы управления качеством непосредственно отражаются в представлении о надежности.

Менеджмент надежности как инструмент повышения качества

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт физических измерений» (АО «НИИФИ») – головное предприятие Российского космического агентства, специализирующееся в области создания датчико-преобразующей аппаратуры для измерения давлений, деформаций, сил, перемещений, ускорений и других физических величин, нормализующих преобразователей, систем измерения, диагностики, контроля, управления и аварийной защиты. Основными преимуществами создаваемых приборов и систем являются работоспособность в сложных условиях эксплуатации и долговременная стабильность метрологических характеристик.

В настоящее время в рамках Федеральной космической программы, Государственной программы вооружения, Федеральной целевой программы «Национальная технологическая база» институтом ведутся работы по созданию датчиков с элементами самодиагностики, интеллектуализации процессов приема и обработки информации, расширению функциональных возможностей аппаратуры на основе использования новых конструкционных материалов, критических технологий, микро- и нанотехнологий.

Основными показателями качества датчиков, подтвержденными многолетней практикой их применения в ракетно-космической технике, являются высокая надежность и работоспособность в сложных условиях эксплуатации с сохранением установленных метрологических характеристик. Обеспечение качества продукции осуществляется на этапах разработки, производства, испытаний в соответствии с установленными процессами системы менеджмента качества. Большинство разработок, изготовление и приемка продукции производится с участием Военного представительства.

Эффективным и доступным средством, позволяющим повысить качество датчиков и тем самым достичь цели в сфере надежности, является разработка и применение на предприятии концепции менеджмента надежности [2]. Концепция описывает общие процессы системы менеджмента надежности и предназначена для стратегического управления политикой в области качества и координации деятельности по обеспечению надежности датчиков, повышению их эффективности и улучшению финансовых результатов деятельности предприятия. Система менеджмента надежности должна включать программу по достижению целей в сфере надежности изделий, обеспечению ресурсами для выполнения данных задач, мониторинг, анализ результатов деятельности и ее координацию с точки зрения удовлетворения потребности и ожиданий потребителей.

В программе обеспечения надежности выполняется идентификация критических факторов, ответственных за выполнение задач по обеспечению надежности датчиков, формируется стратегический план, устанавливающий задачи, методы, последовательность действий по выполнению целей в области надежности, критерии для измерения результативности деятельности. Задачи программы надежности должны поддерживаться в рабочем состоянии, инфраструктура менеджмента должна поддерживать связь с потребителем, быть гибкой и адаптированной к возможным изменениям.

Базовыми факторами, составляющими необходимую основу для изготовления качественных изделий с заданными показателями надежности, являются материальная база предприятия (основные средства, материалы и комплектующие, средства измерений, технологическое и испытательное оборудование, методическое обеспечение) и квалифицированный персонал (человеческий фактор).

Датчик проходит ряд стадий своего жизненного цикла. Каждая из стадий, начиная от проектирования и до демонтажа и утилизации, обычно сопровождается измерениями ряда характеристик изделия, используемыми для оценки обеспечения их требуемого качества. Следует уделить особое внимание основным техническим факторам, влияющим на качество технологического процесса изготовления датчиков, к ним относятся: состояние технической документации, степень оснащенности и автоматизации технологического и испытательного оборудования, а также средств измерения, контроль качества материалов, сырья и комплектующих изделий (рис. 1).

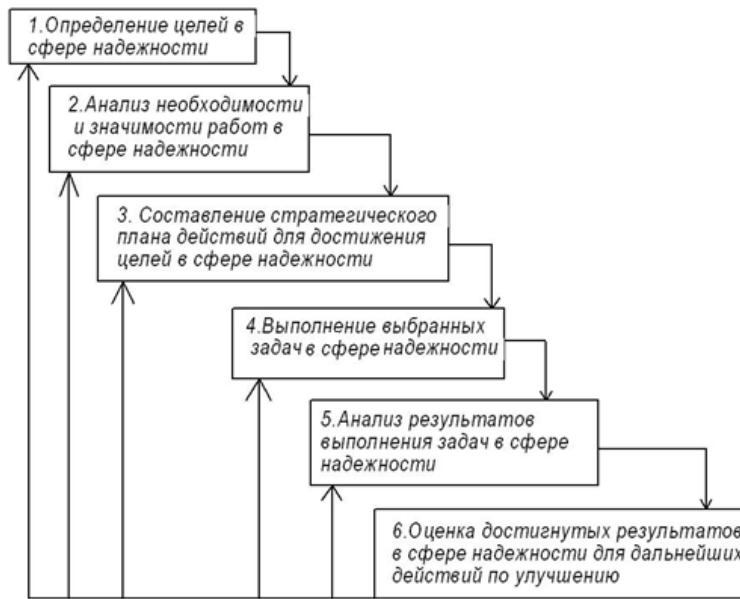


Рис. 1. Этапы процесса менеджмента надежности

Одним из ключевых компонентов в системе менеджмента надежности является инвестирование ресурсов в обновление приборного парка, технологической оснастки, испытательного оборудования, используемого при решении задач программы надежности, своевременное инициирование внедрения инноваций при изготовлении частей, узлов, наиболее ответственных за достижение назначенных функциональных, физических, качественных характеристик готового изделия [3].

В условиях жесткой финансовой экономии для повышения надежности и качества изделий следует не только концентрировать усилия на недопущении отгрузки потребителю брака путем обеспечения служб ОТК различными автоматизированными средствами и сортировкой готовой продукции, а обеспечивать качество изделий технологией его производства и ориентироваться на предотвращение возможности допущения дефектов. Система менеджмента надежности предполагает разработку и внедрение системы контроля дефектов, которая направлена на выявление скрытых дефектов датчиков, ускоряя наступление его отказа путем ужесточения испытательных режимов, использованием систем сбора данных, использующих соответствующие методики и аналитические алгоритмы алгоритмов обработки данных. Такие методики и алгоритмы должны быть основаны на анализе потенциальных причин отказа датчиков, факторов их вызывающих, а также эффективных и доступных способах их выявления.

Внедрение системы контроля дефектов позволяет сформировать своевременные эффективные предупредительные действия для устранения их повторного появления, произвести модификацию изделия и внести усовершенствования в технологический процесс его производства для уменьшения рисков и финансовых потерь, связанных с выводом из эксплуатации изделия.

Для достижения установленных законодательством или контрактным соглашением требований надежности необходимым процессом менеджмента надежности является установление критичных параметров комплектующих и материалов, разработка методик и технологии их контроля, а также установление соответствующих требований перед поставщиками. Перед заключением договоров на поставку требуется привести выбор и квалификацию поставщиков на основе анализа их производственных процессов и гарантийных обязательств.

Анализ результатов выполнения программы надежности может быть выполнен на основе экспериментальных или аналитических оценок показателей надежности датчиков.

Прогнозирование надежности датчиков

По мнению авторов, эффективным способом достижения высокой надежности является прогнозирование показателей надежности изделий на ранних стадиях их жизненного цикла. Моделирование изменения критичных параметров изделий в нормальных и ужесточенных рабочих условиях и режимах эксплуатации обеспечивает аналитический подход к определению показателей надежно-

сти. Такой подход позволяет при максимальном использовании доступных ресурсов гарантировать своевременное выполнение требований надежности при выполнении долгосрочных проектов. Методики и алгоритмы прогнозирования должны быть корректными, основанными на экспериментальных данных испытаний изделий, аналогов, технических моделей и образцов, и учитывать влияние условий эксплуатации ИЭТ, рабочие нагрузки [4].

Традиционно оценка вероятности безотказной работы проектируемых датчиков проводилась, исходя из условия удовлетворения требованию

$$P_p \geq P_3,$$

где P_p и P_3 – соответственно расчетное и заданное значения вероятности безотказной работы датчика.

При этом в силу затрудненности или значительной погрешности расчета отдельных элементов или узлов датчика при ее проектной оценке использовалось среднее значение коэффициента вариации, найденного по результатам экспериментального исследования и статистической обработки определенного массива информации.

В настоящее время широкое применение высокопроизводительной вычислительной техники позволяет использовать методы оценки показателей надежности на основе формализованных описаний и моделей. Это дало возможность использовать эмпирические зависимости показателей надежности изделий от режима эксплуатации датчиков. Эти зависимости положены в основу так называемых ускоренных испытаний на надежность, в основе которых лежат модели, описывающие изменения во времени электрических параметров датчиков. Ускоренные испытания базируются на применении форсированных режимов и использовании теории прогнозирования. Форсированные испытания основаны на интенсификации деградационных процессов, приводящих к отказу испытуемого датчика.

Для оценки показателей надежности датчиков можно использовать два способа [5]. Первый способ основан на изучении физико-химических процессов, происходящих в исследуемом датчике. В данном случае текущее состояние изделия описывается уравнениями, отражающими физические закономерности его старения.

Второй способ основан на изучении статистических, вероятностных закономерностей поведения критериев годности датчика и требует больших объемов накопленной статистической информации по результатам испытаний. Очевидно, что на современном уровне развития электронной техники методы оценки показателей надежности датчиков должны сочетать статистические методы исследования с изучением физических закономерностей, изменения свойств и параметров изделий, описания кинетики процессов, вызывающих эти изменения.

Применение моделей, описывающих физико-химические процессы датчиков, дает возможность разработать научно обоснованные методы ускоренных испытаний и методики прогнозирования значений показателей надежности, что позволит сократить объем и продолжительность необходимых дорогостоящих испытаний на надежность.

При использовании статистических методов делается допущение, что при наличии установившейся технологии или установившегося производства полученная один раз эмпирическая зависимость между количественными показателями надежности и количественными характеристиками внешних воздействий сохраняется, позволяя производить ускоренным методом контроль надежности партий изделий.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что если в расчете используется информация по результатам испытаний изделий, характер отказа которых связан с естественным «старением» материалов, то полученные результаты достаточно объективно отражают работоспособность потенциометров в течение длительного времени [5]. Если же отказы датчиков связаны с нарушением технологического процесса, то значения показателей надежности оказываются значительно заниженными.

При использовании методов, базирующихся на анализе физико-химических процессов, вид зависимости между количественными показателями надежности и количественными характеристиками внешних воздействий определяется аналитическим путем на основе рассмотрения принятой модели влияния физико-химических процессов на надежность датчиков.

Корректность результатов расчета определяется тем, насколько принятая модель соответствует действительной картине физико-химических процессов в изделии. Чтобы объективно осуществ-

Для прогнозирования показателей надежности датчиков, необходимо изучить эти процессы и количественно описать их для каждого вида датчика.

Вероятностно-физические методы оценки показателей надежности датчиков используют тогда, когда по результатам предварительных исследований процесс деградации можно аппроксимировать непрерывным марковским процессом диффузионного типа, т.е. изучаемый процесс управляется стохастическим дифференциальным уравнением первого порядка [6]:

$$dx(t) = A(t)dt + B(t)d\eta(t),$$

где $x(t)$ – определяющий параметр; $A(t)$, $B(t)$ – детерминированные функции, характеризующие изменение среднего значения и дисперсии определяющего параметра (коэффициенты определяющего параметра); $\eta(t)$ – случайная составляющая гауссовского типа.

Известно, что любое твердое тело не является равновесным из-за наличия в нем различного рода дефектов, неравновесных фаз, дислокаций, градиентов концентраций основных компонентов и примесей [3]. Под влиянием электрической нагрузки в датчике образуются тепловые и электрические поля, вызывающие электрокинетические, термоэлектрические, термодиффузионные и другие эффекты. Течение физико-химических процессов приводит к изменению электрических параметров датчиков. При электрической нагрузке в материале элементов датчика возникают дополнительные поля и физико-химические процессы, основными из которых являются:

- искажение теплового поля (неравномерность нагрева) и связанные с ним термомеханические напряжения;
- искажение электрического поля и возникновение градиента полей, создающего локальные перегревы;
- электролиз, ионизация и другие процессы, протекающие в локальных областях.

Например, изменение электрического сопротивления датчика во времени обусловлено процессами окисления, диффузии и реакциями в твердых телах. Во всех случаях скорость протекания в материале датчика физических и химических процессов является функцией температуры материала и имеет температурную зависимость, определяемую законом Аррениуса [7]:

$$\tau^{-1} = v_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right),$$

где v_0 – частотный множитель; E_a – энергия активации; τ^{-1} – скорость релаксации; k – постоянная Больцмана.

Такая форма записи для скорости релаксации возникает тогда, когда процесс, лимитирующий скорость релаксации, связан с движением через энергетический барьер.

При наложении электрического поля E начинается направленный перенос вещества, и высота потенциального барьера изменяется от направления поля.

В процессе эксплуатации в материалах, использованных для изготовления датчиков, происходят различные физико-химические процессы, которые могут привести к значительным отклонениям параметров датчиков от их номинального значения. При прохождении электрического тока через датчик выделяется тепло. Количество тепла, выделяющегося в единицу времени, определяется законом Джоуля – Ленца. По объему материала датчика в стационарном режиме устанавливается некоторое распределение температур, определяемое конструкцией изделия и током, протекающим через него. Любой процесс, приводящий к изменению структуры и состава, определяется перемещением атомов и ионов, т.е. диффузией. Скорость диффузии определяется коэффициентом диффузии, который зависит от температуры и энергии активации.

Например, зависимость изменения комплексного сопротивления во времени от температуры, нагрузки и интенсивности ее включения представляется в виде [8]

$$Z = Z_0 e^{\frac{-B}{T}} P^\beta (1 + \alpha f) f(\tau),$$

где Z – относительное изменение сопротивления (критерий годности); Z_0 – коэффициент, имеющий размерность параметра-критерия годности; B – энергетический коэффициент, характеризуемый энергией активации датчика; T – температура; P – электрическая нагрузка; f – интенсивность включения; α – коэффициент цикличности; $f(\tau)$ – параметр времени.

Современные методы форсированных ускоренных испытаний основаны на увеличении скорости протекания физико-химических процессов, возникающих при изменении окружающих условий, режимов работы и влияющих на свойства и характеристики материалов [9].

Изменения вида отказов с течением времени и в зависимости от величины воздействия ограничивают возможности ускоренных испытаний. Допустимый предел увеличения воздействующей величины ограничивается таким ее значением, при котором возникают новые процессы, отличные от процессов, наблюдаемых при номинальных условиях работы. Рекомендуется для ускорения процессов, приводящих к отказам электрических элементов, увеличивать температуру и электрическую нагрузку [3].

При экстраполяции результатов ускоренных испытаний к другой температуре принимаются следующие допущения: совокупность нескольких реакций рассматривается как одна, уравнение Аррениуса используется для определения энергии активации. Теоретическая зависимость максимально возможного коэффициента ускорения (k_y) от величины энергии активации, полученная на основании закона Аррениуса, имеет вид [8]

$$k_y = \exp \frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_\phi} \right),$$

где T_n – температура датчика в нормальных условиях; T_ϕ – температура датчика при фактической температуре испытаний на надежность.

Ускоренные испытания на надежность в форсированных режимах позволяют оценивать надежность датчико-преобразующей аппаратуры на ранних стадиях его жизненного цикла [10].

Заключение

Таким образом, основными путями обеспечения и повышения надежности датчико-преобразующей аппаратуры является эффективный менеджмент надежности, основанный на:

- 1) управлении поставками материалов, сырья и комплектующих с улучшенными свойствами и техническими характеристиками и организации их входного контроля;
- 2) разработке методологии анализа возможных дефектов датчиков, способов и методов их выявления;
- 3) проведении мероприятий по улучшению технологии изготовления изделий путем научно обоснованного выбора контрольных процедур и соблюдения всех требований технологического процесса изготовления изделий;
- 4) повышении эффективности испытаний с помощью автоматизированных информационно-измерительных систем проведения испытаний с аппаратным обеспечением, обладающим высокими метрологическими характеристиками и возможностью создания реальных условий эксплуатации;
- 5) разработке алгоритмов и методик обработки данных результатов испытаний на основе анализа физических процессов, приводящих к отказам и статистических методов оценки показателей надежности, позволяющих выполнять прогнозирование показателей надежности датчиков на ранних стадиях их жизненного цикла (на стадии проектирования и промышленного освоения).

Библиографический список

1. *Ишков, А. С.* Менеджмент надежности как инструмент управления качеством изделий электронной техники / А. С. Ишков, Г. А. Солодимова // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 2. – С. 328–330.
2. *Ишков, А. С.* Методика расчета гамма-процентной наработки и интенсивности отказов резистивных датчиков положения управляющих систем / А. С. Ишков, А. И. Цыганков // Надежность. – 2017. – № 1. – С. 22–26.
3. *Леваков, А. А.* Стохастические дифференциальные уравнения / А. А. Леваков. – Минск : БГУ, 2009. – 231 с.
4. *Перроте, А. И.* Основы ускоренных испытаний радиоэлементов на надежность / А. И. Перроте. – М. : Советское радио, 1969. – 229 с.
5. *Хауффе, К.* Реакция в твердых телах и на их поверхности / К. Хауффе. – М. : Иностранная литература, 1962. – 415 с.
6. *Чернышев, А. А.* Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем / А. А. Чернышев. – М. : Радио и связь, 1988. – 256 с.

7. Некрасов, М. М. Неразрушающие методы обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры / М. М. Некрасов, В. В. Платонов, Л. И. Дадео. – Киев : Техника, 1980. – 199 с.
8. Klyuev, M. V. Measurement of the parameters of three-element nonresonant dipoles with two reactive elements / M. V. Klyuev, E. V. Isaev, N. K. Yurkov // Measurement Techniques. – 2017. – Vol. 60, № 9. – P. 934–938. – DOI 10.1007/s11018-017-1296-y.
9. Time Factor in the Theory of Anthropogenic Risk Prediction in Complex Dynamic Systems / V. A. Ostreikovskiy, Ye. N. Shevchenko, N. K. Yurkov, I. I. Kochegarov, A. K. Grishko // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 944 (1), № 012085. – P. 2167–2172. – DOI 10.1088/1742-6596/944/1/012085.
10. Моделирование нестационарных тепловых полей электрорадиоэлементов / В. Б. Алмаметов, А. В. Авдеев, А. В. Затылкин, Г. В. Таньков, Н. К. Юрков, В. Я. Баннов // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2010. – Т. 2. – С. 446–449.

Ишков Антон Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ishkovanton@mail.ru

Солодимова Галина Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: solodimova@mail.ru

Кучковская Надежда Александровна

инженер,
Научно-исследовательский институт
физических измерений;
магистрант,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: fina-larisa@yandex.ru

Ishkov Anton Sergeevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio engineering
and radioelectronic systems,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Solodimova Galina Anatol'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information-measuring
technique and metrology,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kuchkovskaya Nadezhda Aleksandrovna

engineer,
Scientific-research Institute of Physical Measurements;
master degree student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 681.51

Ишков, А. С.

Управление надежностью и качеством датчиков как изделий ответственного назначения /
А. С. Ишков, Г. А. Солодимова, Н. А. Кучковская // Надежность и качество сложных систем. – 2018. –
№ 2 (22). – С. 18–25. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-2-3.