

А. П. Адамов, А. А. Адамова, А. Т. Темиров, Т. А. Цивинская

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛЮЗА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ¹

A. P. Adamov, A. A. Adamova, A. T. Temirov, T. A. Tsivinskaya

USE OF WIRELESS SENSOR NETWORK GATEWAY IN AIRCRAFT CONTROL TESTING SYSTEMS

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения качества контрольных испытаний в процессе конструирования летательных аппаратов с целью отработки технологий внедрения новых материалов в конструкцию, выявления совместимости данных материалов в конструкции, выявления в конструкции узлов с повышенной концентрацией механических напряжений. Для исследования протекающих физико-химических процессов, развивающихся под действием прикладываемых в процессе испытаний нагрузок, требуется съем, передача и синхронизация большого объема информации. Одновременно повышаются требования к точности и повторяемости исследуемого параметра. В большой степени это зависит от качества чувствительных элементов контрольных датчиков системы контроля и степени качества оборудования, отвечающего за точность передачи замеренного параметра в память центрального сервера. Предлагается решение проблемы внедрением для замеров чувствительных сенсоров, выполненных на базе технологий МЭМС, адаптированных к использованию в беспроводной сенсорной сети. Предлагаемая модификация беспроводной сенсорной сети позволяет решить также проблему обеспечения контроля герметичности корпуса летательного аппарата в процессе эксплуатации при обнаружении очага механических деформаций материала в начальной стадии образования опасного уровня механических напряжений.

Ключевые слова: летательный аппарат, испытания, контроль герметичности корпуса, сенсоры МЭМС, беспроводная сенсорная сеть, сенсор шлюза.

Abstract. This article is devoted to improving the quality of control tests in the design of aircraft in order to develop technologies for the introduction of new materials in the design, to identify the compatibility of these materials in the design, to identify the design of units with a high concentration of mechanical stresses. To study the physical and chemical processes developing under the influence of applied loads in the process of testing requires removal, transmission and synchronization of a large amount of information. At the same time, the requirements for the accuracy and repeatability of the studied parameter are increased. To a large extent, this depends on the quality of the sensitive elements of the control sensors of the control system and the degree of quality of the equipment responsible for the accuracy of the transmission of the measured parameter to the memory of the Central server. The article proposes a solution to the problem of implementation for measuring sensitive sensors made on the basis of MEMS technology, adapted for use in a wireless sensor network. The proposed modification of the wireless sensor network can also solve the problem of ensuring the tightness of the body of the aircraft during operation when detecting a source of mechanical deformation of the material in the initial stage of formation of a dangerous level of mechanical stresses.

Key words: aircraft, testing, control the tightness of the enclosure, sensors, MEMS, wireless sensor network, the sensor gateway.

Реферат

За последнее время в СМИ частенько бывают сообщения о крушениях летательных аппаратов разных уровней от планеров до космических кораблей. Одна из причин – недостаточный контроль за состоянием материала корпусных, несущих конструкций, а также трубопроводов и арматуры трубо-

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по Гранту РФФИ №17-07-00689.

проводов. Летательные аппараты эксплуатируются в экстремальных условиях: перепады температур, давлений, воздействие давления звука, разного вида излучений, вибрация и т.д. [1]. Во время ремонта могут заменяться отдельные детали или узлы. Изготовленные на разных предприятиях, по разным технологическим процессам, а следовательно, даже соответствуя требованиям ТУ, могут отличаться по структуре материала, остаточным механическим напряжениям. Эти различия не скажутся при контрольных испытаниях, но в процессе эксплуатации могут стать очагом для образования локальных деформаций, которые по мере усталости материала могут привести к аварийной ситуации [2]. Перед разработчиками летательных аппаратов стоит задача разработать систему контрольных испытаний, позволяющую определить слабое звено в конструкции аппарата и обеспечить постоянный мониторинг за изменением механических напряжений в материале корпуса, узлов, трубопроводов и арматуры, чтобы вовремя принять меры по предупреждению начала разрушения.

Данная статья посвящена разработке модели беспроводной сенсорной сети, способной оптимизировать процесс проведения контрольных испытаний и системы постоянного мониторинга за состоянием конструкции летательного аппарата. Анализ наработок в области формирования сетей [2–4], разработок чувствительных элементов по технологиям МЭМС [5, 6] и тонкопленочных датчиков [1] для измерения физических величин показал, что имеются все исходные данные для разработки столь необходимой системы контроля.

В данной статье был рассмотрен упрощенный тип сенсорной сети, позволяющий при проведении контрольных испытаний использовать и кремниевые датчики и датчики старых образцов, обеспечивая соединение датчиков со сенсором-шлюзом с помощью проводов небольшой длины, а далее обеспечивается беспроводное соединение. Мониторинг состояния конструкции летательного аппарата в процессе эксплуатации производится контрольными сенсорами [6–8], находящимися в труднодоступных местах, при этом приходится осуществлять связь с сенсором-шлюзом беспроводным методом, а далее с помощью кабеля. Таким образом обеспечиваются жесткие требования по электромагнитной совместимости [9, 10]. Предлагаемая схема сенсорной сети отличается от стандартной тем, что вводится простое приемо/передаточное устройство, сенсор-шлюз, обеспечивающий связь с датчиками и регулирующий очередность передачи информации на шлюз сервера сети. Таким образом обеспечивается скоростная передача большого объема информации.

Введение

Летательный аппарат представляет собой сложнейшую конструкцию, состоящую из множества различных материалов от клеевых композиций до высокопрочных металлических сплавов. В местах контактов данных материалов из-за различия физико-химических свойств существуют очаги локальных деформаций, которые можно уменьшить методами технологических приработок, но совсем устранить невозможно. Поэтому всегда существует риск ослабления конструкции, особенно если учесть, что летательный аппарат эксплуатируется в широком диапазоне механических нагрузок и тепловых режимов. Многие проблемы связаны с рассмотрением различных нелинейных явлений – лучистого теплообмена, пластичности и ползучести, которые рассчитываются приближенными методами с использованием различных допущений и погрешностей, определяемых экспериментальным путем [2]. С целью уменьшения веса конструкций, а подчас и улучшения характеристик отдельных узлов все чаще используется композитный материал, обладающий положительными свойствами для конкретных целей. Но композиты состоят из различных материалов, объединенных общим связующим. Подобная технология позволяет получить материалы с определенными свойствами, но требует строгого соблюдения технологии изготовления деталей из этих материалов и изготовления узлов с применением данных деталей. В практике проектирования все чаще применяются методы математического моделирования ответной реакции материала или узла конструкции на интенсивное воздействие извне, но далеко не все процессы, протекающие в столь сложной конструкции, как летательный аппарат, эксплуатирующийся в экстремальных условиях, можно разложить на чисто физические и математические законы для моделирования. Поэтому на многие вопросы ответ могут дать только экспериментальные исследования, в результате которых при многократных повторяемых воздействиях набирается материал для аналитической обработки данных. При проведении макетных испытаний на поверхности изделия помещаются датчики, которые

по проводам передают информацию в центральный сервер [2, 11]. Провод тонкий закреплен на поверхности, которая подвергается вибрации, потокам воздуха, различным видам облучения и т.д. Соответственно дать гарантии качественного соединения датчика с блоком питания и блоком обработки сигнала невозможно. Отсюда проблемы с точностью измерений и повторяемостью результатов эксперимента. Но даже самый качественный контроль летательного аппарата после сборки не может дать объективной картины поведения конструкции во время эксплуатации. Значит, выход один: обеспечить постоянный мониторинг за состоянием материала корпуса, ответственных узлов конструкции, трубопроводов и арматуры. Но в летательных аппаратах, особенно на объектах РКТ, существуют жесткие требования по радиочастотной совместимости, по помехам и т.д., поэтому систему мониторинга с использованием датчиков старого образца с передачей большого количества информации по проводам разработать невозможно. Вывод из изложенного однозначен: необходимо разработать новый тип чувствительных элементов с автономным питанием для повышения точности замеров и адаптированных к использованию в беспроводных сенсорных сетях [5–9]. Сами сенсорные сети подчас громоздки, перегруженные протоколами взаимодействия и излишним оборудованием [1, 8, 10]. Следовательно, используя наработки в области технологий МЭМС и в области усовершенствования беспроводных сенсорных сетей, необходимо разработать концепцию системы, состоящую из датчиков МЭМС и комбинированной структуры беспроводной сенсорной сети, адаптированной к конкретным требованиям.

Анализ проблем проведения испытаний летательных аппаратов

Съем большого объема информации с одной точки требует расположения нескольких разнообразных датчиков на небольшом пространстве поверхности. Требование размещения датчиков в заданных точках поверхности объекта является одним из наиболее жестких. Его выполнение часто сопряжено с поиском новых, пионерских технических или технологических решений. На реальных объектах в местах резких изменений структуры или интенсивности полей физических параметров требуются локальные измерения на участках от долей квадратного миллиметра до нескольких квадратных миллиметров. При этом датчики должны располагаться максимально близко друг к другу [1]. Большое количество разнообразных измеряемых параметров в одной точке ведет к большому количеству датчиков с проводами большой длины. Подключение и размещение большого количества тонкого провода – сама по себе большая проблема и повышение трудозатрат на подготовку и проведение испытаний. Но при этом страдает и качество снимаемых характеристик: из-за возможных наводок и сложности подсоединения проводов к датчику трудно добиться повторяемости результатов испытания. А объективная картина того или иного физического явления на таких сложных структурах, как летательный аппарат, выявляется только при статистической обработке данных многократно повторно проводимых экспериментов. Кроме того, чтобы составить полную картину состояния хотя бы одной отдельно взятой системы, необходимо построить объемную картину данной системы чтобы суметь увидеть как влияют параметры работы отдельных узлов на работу всей системы в целом. Для этого группы датчиков размещаются одновременно в нескольких точках поверхности и в труднодоступных местах [12]. Современная микроэлектроника располагает разработками чувствительных элементов на базе МЭМС, способных интегрироваться в беспроводные сенсорные сети, которые позволяют уменьшить длину и количество проводов, обеспечить съем и передачу информации с труднодоступных частей конструкции, сортировку и хранение поступающей информации.

Концепция сенсорной беспроводной сети

К настоящему времени накопилось достаточно наработок в данной области и в плане оборудования, и программного обеспечения, и электронных компонентов для разработки эффективно работающей сети в каждом конкретном случае. Типовые предлагаемые сети подчас грешат многослойностью, масштабностью и перегруженностью оборудования. Анализ построения сенсорных сетей позволяет сделать следующий вывод: наиболее надежная топология сети: топология иерархической архитектуры [5], которая схематически показана на рис. 1.

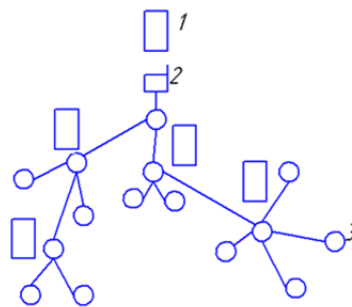


Рис. 1. Иерархический тип архитектуры:
1 – сервер; 2 – сетевой шлюз; 3 – мот

На рис.1 видно, что мот (чувствительные сенсоры) образуют кластеры, и связь в пределах кластера осуществляется между отдельными мотами только с одним мотом, который контактирует с мотом соседнего кластера и локальным менеджером (ПК), сеть замыкается на центральном сервере через крайний мот и сетевой шлюз. Введение в сеть связь мотов с локальными менеджерами хотя и повышает степень контроля за передачей информации по сети, зато вносит трудности по совместимости протоколов действия между отдельными мотами. Есть данные [2] по эксперименту на протоколе заливки информации с протоколом CSMA на основе MAC, которые показывают взаимосвязь между MAC и слоями маршрутизации [7]. Протоколы MAC, разработанные с целью оптимизации работы канала связи, в сложных структурах сети вносят повреждения, так как при передаче больших объемов информации протокол просто отложит передачу пакета информации с мота, если в данный момент времени ближе окажется другой пакет. При этом первый пакет может просто выпасть из поля и исчезнуть. Это может быть допустимо в каких-то масштабных проектах, но недопустимо для решения конкретных задач по автоматизации процесса управления технологическим процессом, системой жизнеобеспечения объекта, испытательными стендами и т.п. В конкретном случае при формировании процесса подготовки и проведении экспериментально-контрольных испытаний, где требуется мобильность в размещении большого количества измерительных сенсоров различных конструкций и выходными сигналами и передачей большого объема информации о процессах, протекающих в течение долей секунды, требуется разработка варианта более простой и надежной сети передачи информации.

Адаптация сенсорной сети для автоматизации проведения испытаний

Сеть в первую очередь состоит из контрольно-измерительных сенсоров. Развитие технологий МЭМС ведет к разработкам контрольно-измерительных сенсоров нового поколения на базе монокристаллического кремния, карбида кремния, имеющих высокую чувствительность к измеряемым параметрам, а успешное развитие микроэлектроники позволяет схемотехническими и программными методами корректировки сигнала добиться погрешности не более 0,05 % на всем температурном диапазоне. Но малые размеры сенсоров – это и малые запасы электрической энергии. Максимум расхода энергии приходится на обработку и передачу информации. С целью экономии энергии сенсоры должны просто передавать информацию в одном из двух режимов: случае превышения допуска контролируемого параметра или передавать информацию через определенные промежутки времени. Сенсоры, расположенные в одной точке, объединяются в кластер, образуя связь с сенсором, который получает название сенсор-шлюз. Сенсор-шлюз – сенсор, имеющий расширенные функции, кроме измерений, он обеспечивает связь между сенсорами кластера и со шлюзом сервера. Расширение сети идет по принципу образования нового кластера со сенсором шлюза, а сенсор-шлюз соединяется с соседним сенсором-шлюзом и через него со шлюзом сервера или напрямую со шлюзом сервера (рис. 2). Измерительный сенсор передает информацию в цифровом формате на сенсор-шлюз. Сенсор-шлюз обрабатывает ее согласно протоколу и отправляет ее на шлюз, контролируя очередность передачи пакета информации и тем самым гарантируя ее сохранность. Шлюз анализирует информацию и далее согласно протоколу пакетирует ее и отправляет по слоям сети: или к исполнительным устройствам, или в главный сервер на хранение.

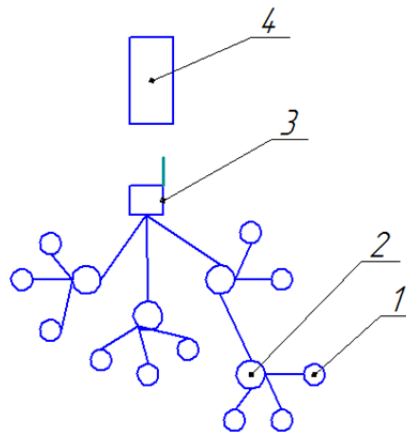


Рис. 2. Беспроводная сеть с включением сенсора-шлюза в первичное звено:
1 – сенсор; 2 – шлюз-сенсор; 3 – шлюз сети; 4 – сервер

Подобная сеть проста в исполнении, мобильна и в состоянии обеспечить качественную передачу большого объема информации в сжатые сроки благодаря оптимизации деятельности первичных звеньев сети. Расстояние между сенсорами и сенсором-шлюзом мало и поэтому устройства приема/передачи малогабаритные. Сенсоры сети работают в цифровом сегменте сигнала.

В настоящее время при проведении испытаний летательных аппаратов используются разнообразные датчики самых разных конструкций. В силу специфики условий испытаний чаще всего встречаются пленочные датчики с аналоговым выходным сигналом. Предлагаемую выше структуру сети реально адаптировать к использованию с датчиками, имеющими аналоговый выходной сигнал. Достаточно расширить возможности сенсора-шлюза, добавив в схему АЦП, увеличить мощность источника питания и удобные разъемы для подключения проводов. Хотя провода остаются, но за счет уменьшения их длины повышаются надежность подсоединения, качество и скорость передачи сигнала.

Структуру сети можно реализовать в системах контроля герметичности корпуса летательного аппарата. На борту летательного аппарата действуют жесткие требования по радиопомехам. Поэтому схему можно адаптировать следующим образом. Оставить радиочастотную связь между чувствительными сенсорами, сенсором-шлюзом и сенсора-шлюза со шлюзом, а связь шлюза с сервером выполнить с помощью кабеля.

Заключение

Основываясь на анализе беспроводных сенсорных систем для адаптации к аппаратуре испытательных стендов летательных аппаратов, выбор остановлен на структуре под названием: иерархический тип архитектуры. Но так как классический тип данной архитектуры сети из-за сложности организации, избытка оборудования и программного обеспечения способен допустить потери информации в процессе испытаний, в статье предлагается упрощенный вариант организации сети. Основным моментом доработки является ввод в сеть нового элемента связи – сенсора-шлюза. Сенсор-шлюз – простейшее приемопередаточное устройство для создания устойчивого канала связи измерительных сенсоров со шлюзом сервера, который одновременно выполняет функцию адаптера контрольно-измерительных датчиков, имеющих разные конструктивные особенности и подготавливающие выходные сигналы к работе с беспроводными сенсорными сетями.

Библиографический список

1. Akyildiz, W. Su. A power aware enhanced routing (PAER) protocol for sensor networks / W. Su. Akyildiz // Georgia Tech Technical Report. – 2002. – P. 204–217.
2. Бондарцев, В. В. Особенности создания автоматизированных систем оценки уровня качества наземных испытаний летательных аппаратов / В. В. Бондарцев, М. Ю. Шумова, А. Г. Федулова, А. А. Бордурова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – № 1. – С. 20–24.
3. Власов, А. И. Анализ методов и средств обработки информации сенсорного кластера / А. И. Власов, М. Н. Юлдашев // Датчики и системы. – 2018. – № 1 (221). – С. 24–30.

4. Адамов, А. П. Методы обеспечения надежности в беспроводных сенсорных сетях по критерию сетевой нагрузки / А. П. Адамов, А. А. Адамова, М. Н. Юлдашев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 197–199.
5. Milesin, S. A. Microelectromechanical sensors and microstructures in aerospace applications / S. A. Milesin, T. A. Tsivinskaya, N. A. Sergeeva // Breakthrough directions of Scientific Research in NRNU MEPhI: Development Perspectives in the Framework of the Strategic Ser. KnE-Engineering. – 2017. – С. 336–343.
6. Аваева, Л. Г. Математическое моделирование сенсора давления повышенной надежности при эксплуатации в экстремальных условиях / Л. Г. Аваева, С. А. Милешин, Н. А. Сергеева, Т. А. Цивинская // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1. – С. 233–237.
7. Сергеева, Н. А. Контрольно-измерительные МЭМС с использованием малогабаритных чувствительных элементов из монокристаллического кремния для аэрокосмической отрасли / Н. А. Сергеева, Т. А. Цивинская, В. А. Шахнов // Датчики и системы. – 2016. – № 3 (201). – С. 32–39.
8. Адамов, А. П. Способ надежного питания элементов сенсорной сети от беспроводного интерфейса / А. П. Адамов, С. Г. Семенов // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1 (21). – С. 79–83.
9. Адамов, А. П. Классификация состояний беспроводной сенсорной сети с использованием методов машинного обучения / А. П. Адамов, А. А. Адамова, М. Н. Юлдашев // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. – 2016. – № 2. – С. 248–251.
10. Власов, А. И. Гауссовские процессы в регрессионном анализе состояний беспроводной сенсорной сети с учетом электромагнитных помех / А. И. Власов, М. Н. Юлдашев // Технологии электромагнитной совместимости. – 2017. – № 3 (62). – С. 35–43.
11. Казарян, А. А. Пленочные датчики давления / А. А. Казарян. – М. : Бумажная Галерея, 2006. – 320 с.
12. Hedetniemi, S. A survey of gossiping and broadcasting in communication networks / S. Hedetniemi, A. Liestman // Networks. – 1988. – № 18 (4). – P. 319–349.
13. Власов, А. И. Модель предиктивного обслуживания оборудования с применением беспроводных сенсорных сетей / А. И. Власов, П. В. Григорьев, А. И. Кривошеин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 26–35.
14. An empirical study of epidemic algorithms in large scale multihop wireless networks / D. Ganesan, B. Krishnamachari, A. Woo, D. Culler, D. Estrin, S. Wicker // Technical report IRB-TR-02-003, Intel Research. – 2002. – P. 120–205.

References

1. Akyildiz W. Su. *Georgia Tech Technical Report*. 2002, pp. 204–217.
2. Bondartsev V. V., Shumova M. Yu., Fedulova A. G., Bordurova A. A. *Promyshlennye ASU i kontrollery* [Industrial ACS and controllers]. 2016, no. 1, pp. 20–24.
3. Vlasov A. I., Yuldashev M. N. *Datchiki i sistemy* [Sensors & systems]. 2018, no. 1 (221), p. 24–30.
4. Adamov A. P., Adamova A. A., Yuldashev M. N. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of The international Symposium Reliability and quality]. 2016, vol. 1, pp. 197–199.
5. Milesin S. A., Tsivinskaya T. A., Sergeeva N. A. *Breakthrough directions of Scientific Research in NRNU MEPhI: Development Perspectives in the Framework of the Strategic Ser. KnE-Engineering*. 2017, pp. 336–343.
6. Avaeva L. G., Milesin S. A., Sergeeva N. A., Tsivinskaya T. A. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of The international Symposium Reliability and quality]. 2017, vol. 1, pp. 233–237.
7. Sergeeva N. A., Tsivinskaya T. A., Shakhnov V. A. *Datchiki i sistemy* [Sensors & systems]. 2016, no. 3 (201), pp. 32–39.
8. Adamov A. P., Sementsov S. G. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 1 (21), pp. 79–83.
9. Adamov A. P., Adamova A. A., Yuldashev M. N. *Problemy razrabotki perspektivnykh mikro- i nanoelektronnykh sistem* [Problems of development of perspective micro-and nanoelectronic systems]. 2016, no. 2, pp. 248–251.
10. Vlasov A. I., Yuldashev M. N. *Tekhnologii elektromagnitnoy sovmestimosti* [Electromagnetic compatibility technologies]. 2017, no. 3 (62), pp. 35–43.
11. Kazaryan A. A. *Plenochnye datchiki davleniya* [Film pressure sensors]. Moscow: Bumazhnaya Galereya, 2006, 320 s.
12. Hedetniemi S., Liestman A. *Networks*. 1988, no. 18 (4), pp. 319–349.
13. Vlasov A. I., Grigor'ev P. V., Krivoshein A. I. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2018, no. 2 (22), pp. 26–35.
14. Ganesan D., Krishnamachari B., Woo A., Culler D., Estrin D., Wicker S. *Technical report IRB-TR-02-003, Intel Research*. 2002, pp. 120–205.

Адамов Александр Петрович

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РД,
кафедра микроэлектроники,
Дагестанский государственный
технический университет
(367026, Дагестан, г. Махачкала, ул. И. Шамиля, 70)
E-mail: info@iu4.bmstu.ru

Адамова Арина Александровна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра проектирования и технологии производства
электронной аппаратуры,
Московский государственный технический
университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская 5, стр. 1)
E-mail: arina.adamova@rambler.ru

Темиров Алибулат Темирбекович

кандидат технических наук, доцент,
декан факультета радиоэлектроники,
телекоммуникаций и мультимедийных технологий,
Дагестанский государственный
технический университет
(367026, Дагестан, г. Махачкала, ул. И. Шамиля, 70)
E-mail: ali.temirov@rambler.ru

Цивинская Татьяна Анатольевна

главный технолог,
кафедра проектирования и технологии
производства электронной аппаратуры,
Московский государственный технический
университет им. Н. Э. Баумана
(105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская 5, стр. 1)
E-mail: info@bmstu.ru

Adamov Aleksandr Petrovich

doctor of technical sciences, professor,
honored worker of science RD,
sub-department of microelectronics,
Dagestan State Technical University
(367026, 70 I. Shamil street, Makhachkala, Dagestan)

Adamova Arina Alexandrovna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of design and production technology
of electronic equipment,
Bauman Moscow State Technical University
(105005, p. 1, 5 2nd Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

Temirov Alibulat Temirbekovich

candidate of technical sciences, associate professor,
dean of faculty of radio electronics,
telecommunications and multimedia technologies,
Dagestan State Technical University
(367026, 70 I. Shamil street, Makhachkala, Dagestan)

Tsivinskaya Tatyana Anatolyevna

chief process engineer,
sub-department of design and production technology
of electronic equipment,
Bauman Moscow State Technical University
(105005, p. 1, 5 2nd Baumanskaya street,
Moscow, Russia)

УДК 621.316**Адамов, А. П.**

Использование шлюза беспроводной сенсорной сети в системах контрольных испытаний летательных аппаратов / А. П. Адамов, А. А. Адамова, А. Т. Темиров, Т. А. Цивинская // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4 (24). – С. 116–122. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-4-13.