

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Б. С. Бейсембаева✉

*Кафедра «Авиационная техника и технологии», b.beisembayeva@agakaz.kz,
АО «Академия гражданской авиации», Алматы, Республика Казахстан*

Ключевые слова: измерительный канал; информационно-измерительная система; методика синтеза; модель; структура; температура.

Аннотация: Предложен подход к проектированию структуры многоканальной информационно-измерительной системы, являющейся функционально законченным метрологическим устройством, предназначенным для сбора измерительных данных от первичных датчиков температуры, основанных на различных физических принципах измерения температуры. В системе реализованы четыре измерительных канала, поддерживающих как контактные, так и бесконтактные методы измерения температуры. Измеренные значения температуры используются для вычисления теплового сопротивления теплоотводов и радиаторов. Показано, что предложенная структурная схема информационно-измерительной системы удовлетворяет ключевым требованиям, включая многоканальное измерение температуры, непосредственное взаимодействие с объектом измерения, автоматическое управление и обработку измерительных данных.

Введение

В современной парадигме развития электронной техники и приборов перед конструкторами и технологами стоят новые задачи, связанные с разработкой и повышением эффективности конструкторских решений при проектировании теплонагруженной аппаратуры, являющейся составной частью сложных технических систем. В связи с этим на этапе проектирования такой аппаратуры все чаще находят применения методы, основанные на измерительной информации, полученной с помощью специализированных или проблемно-ориентированных средств измерения [1 – 3], которые должны соответствовать требованиям точности и достоверности измерений, а также расширить их функциональность и увеличить производительность при проведении измерений.

В таких условиях для многих измерений, проводимых в процессе конструкторско-технологического проектирования, необходимы не просто измерительные приборы, а комплексные информационно-измерительные системы (ИИС), направленные на решения трудно формализуемых задач, среди которых следует отметить измерение температуры в различных узлах проектируемого радиоэлектронного устройства и его элементах. Под элементами для теплонагруженной аппаратуры понимаются теплоотводы и системы охлаждения, часто комплекслируемые в системы обеспечения теплового режима (СОТР) [4]. В современном понимании СОТР радиоэлектронной аппаратуры представляет комплекс технических средств и методов, предназначенных для поддержания оптимальной температуры внутри радиоэлектронных устройств, имеющих теплонагруженные элементы и узлы. Такие системы необходимы для обеспечения надежной работы ап-

паратуры, так как перегрев или переохлаждение могут привести к сбоям, снижению производительности или даже повреждению компонентов как отдельно взятой радиоэлектронной аппаратуры, так и сложных технических систем, основой которых является данная аппаратура. Можно выделить *четыре основные задачи*, решаемые СОТР:

1) поддержание оптимальной температуры, заключающееся в обеспечении температуры в пределах, допустимых для работы электронных компонентов аппаратуры;

2) отвод избыточного тепла, выделяемого при работе электронных компонентов (процессоров, микросхем, транзисторов и других теплонагруженных элементов радиоэлектронной аппаратуры);

3) защита от перегрева и переохлаждения путем предотвращения повреждения компонентов из-за экстремальных температур;

4) равномерное распределение температуры в целях исключения локальных перегревов или переохлаждений.

Применение СОТР в современных сложных технических системах дает ряд преимуществ. В первую очередь - это повышение надежности и срока службы радиоэлектронной аппаратуры, входящей в состав системы. Последнее обеспечивается за счет снижения риска перегрева и выхода из строя радиоэлектронных компонентов. Для вычислительных систем благодаря эффективной работе СОТР возможна оптимизация производительности за счет поддержания оптимальной температуры всех элементов системы.

Между тем для построения эффективной СОТР необходимо учитывать при теплофизическом проектировании адекватные параметры основных ее компонентов, к которым относятся:

– теплообменники (радиаторы, тепловые трубки, теплоотводящие пластины, шины и другие теплоотводы);

– вентиляторы и кулеры – устройства, создающие поток воздуха для охлаждения;

– жидкостные системы охлаждения, использующие жидкости (воду, хладагент) для отвода тепла;

– термоэлектрические элементы или Пельтье-элементы для локального охлаждения или нагрева;

– теплоизоляционные материалы, предназначенные для защиты от температурных воздействий, вызванных внешними факторами;

– системы контроля и управления, состоящие из датчиков температуры, контроллеров, программного обеспечения для автоматического регулирования.

Если учитывать, что в большинстве аппаратуры находят применения пассивные теплообменники в виде радиаторов и теплоотводов различного типа [5], то при теплофизическом проектировании необходимо иметь данные о фактическом тепловом сопротивлении теплоотводов [6, 7], что доказано в диссертационных исследованиях [8, 9]. Фактически требуется измерение теплового сопротивления реального образца теплоотвода.

Практика проектирования показывает, что использование простых, одноточечных измерителей температуры для решения данной задачи, таких как аналоговые или цифровые термометры, крайне неэффективно в реальных условиях. Для получения полной картины теплового поля как на поверхности теплоотвода, так и внутри него, а также для многократного повторения эксперимента при различных граничных и начальных условиях требуется глубокая автоматизация процесса измерения теплового сопротивления.

Применение ИИС позволяет максимально эффективно решить данную задачу. Современная ИИС, отвечающая требованиям методологии построения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС), является ярким представителем сложных технических систем, так как любая ИИС представляет

собой, ни что иное как симбиоз средств измерения и набора технических средств, совокупность которых обеспечивает решение конкретной измерительной задачи [10]. При этом объединение всех составляющих ИИС должно осуществляться по системному принципу, то есть все компоненты ИИС должны обладать конструктивной и функциональной автономностью. Последнее обеспечивается наличием в составе ИИС вычислительного устройства. Учитывая эту характерную особенность ИИС, перейдем к разработке ее структурной схемы.

Цель работы – на основе методологии построения информационно-измерительных систем разработать структурную схему и информационную модель многоканальной информационно-измерительной системы, предназначенной для измерения температуры теплоотвода как контактным, так и бесконтактным способом. На основе измерения температуры провести расчет фактического (измеренного) теплового сопротивления теплоотвода.

Разработка структурной схемы и информационной модели

Методология проектирования ИИиУС основывается на том, что главная задача любой ИИиУС – сбор данных от объекта и передача их потребителю с требуемой точностью и уровнем достоверности, то есть с контролируемыми и заданными параметрами качества [10]. Анализ современных ИИиУС показал, что такие системы можно рассматривать как совокупность различных компонентов, включающих аппаратно-программные средства, а также математическое и метрологическое обеспечение (рис. 1).

Аппаратно-программное обеспечение осуществляет измерение целевого параметра с использованием первичных измерительных преобразователей. Для проектируемой ИИС целевым (измеряемым) параметром является температура поверхности теплоотвода. Затем выполняется обработка, сохранение и визуализация полученных данных. Программное обеспечение отвечает за мониторинг и управление работой аппаратных компонентов информационно-измерительной системы.

Базовой структурой для разрабатываемой системы выберем модель ИИС, предложенную в работе [10]. Состав модели раскрывается на рис. 2.

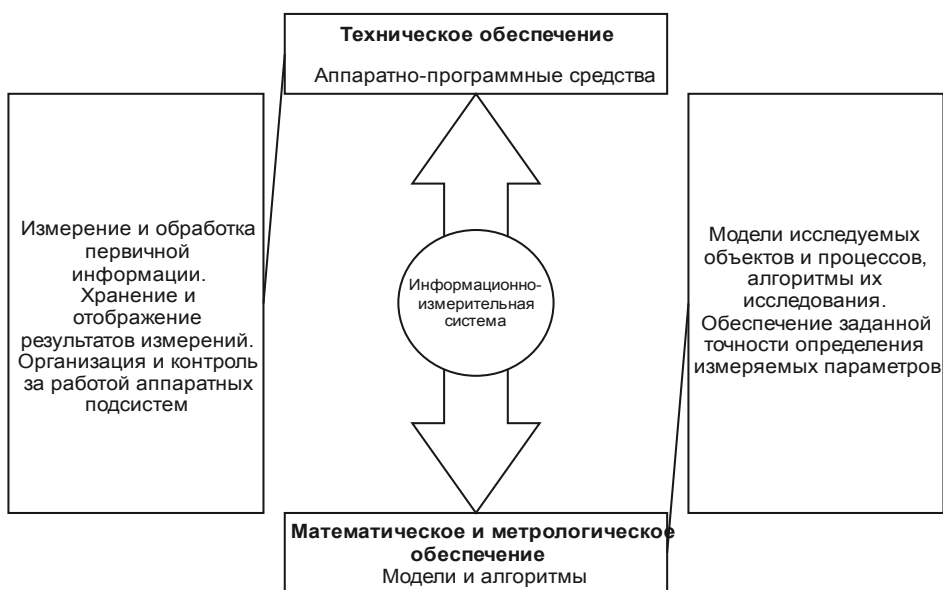


Рис. 1. Обобщенный состав ИИиУС

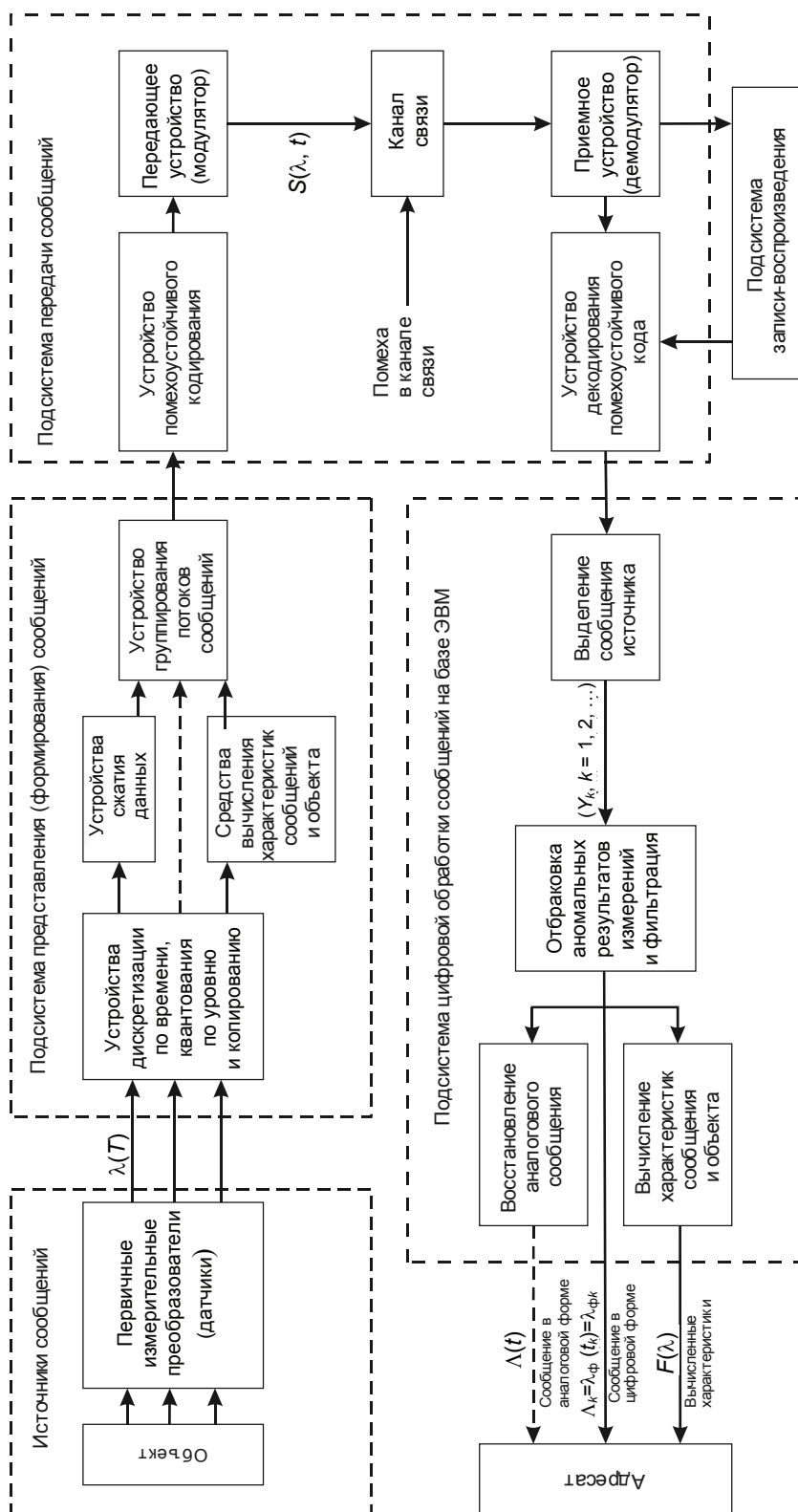


Рис. 2. Структурная модель информационно-измерительной системы

В модели представлены только подсистемы, выполняющие отдельные самостоятельные функции. Источником сообщений является исследуемый объект и первичные измерительные преобразователи, формирующие аналоговый электрический сигнал $\lambda(t)$, который называется *сообщением*. Подсистема представления сообщений обеспечивает временное разделение каналов (дискретизацию по времени), затем каждое дискретное значение квантуется по своему уровню и кодируется. Дискретное значение называют координатой сообщения, их последовательность от различных измерительных каналов объединяется в общий поток, то есть группируется для последующей передачи. Подсистема передачи сообщений обеспечивает помехоустойчивое кодирование и доставку сообщения до подсистемы, в которой осуществляется цифровая обработка.

Аномальные значения, полученные в результате измерений, в первую очередь вызванные искажениями старших разрядов кодового слова, а также временных и адресных данных при передаче сжатой информации, отсеиваются в подсистеме цифровой обработки. Данная подсистема выполняет две ключевые функции: восстановление исходного сигнала с допустимым уровнем погрешности и расчет требуемых характеристик сообщения и объекта.

Математическое и метрологическое обеспечение, применяя модели исследуемых объектов и процессов, а также алгоритмы их анализа, обеспечивает точное определение искомым параметров в соответствии с заданными требованиями. В общем виде структурная схема ИИС показана на рис. 3.

Теплонагруженный элемент представляет собой тепловыделяющий компонент, размещенный в корпусе, подходящем для установки на исследуемый образец теплоотвода, с целью передачи ему заданного теплового потока. Каждый измерительный канал включает датчик температуры и интерфейс связи с вычислительным устройством. Объединение измерительных каналов осуществляется в коммутаторе, который обеспечивает передачу измерительной информации на вычислительное устройство.

Детализируя обобщенную схему ИИС, предназначенной для измерения температуры, как контактным, так и бесконтактным методами, можно более подробно выделить ее основные компоненты. В итоге формируется структура многоканальной ИИС (рис. 4).

Все перечисленные компоненты ИИС разделены на два функциональных модуля. Модуль А1 (модуль сбора и обработки данных) отвечает за выполнение измерительных функций и обработку измерительной информации. Модуль А2 (модуль локального управления и индикации), включающий соответствующие блоки, обеспечивает локальное управление и отображение режимов работы ИИС.

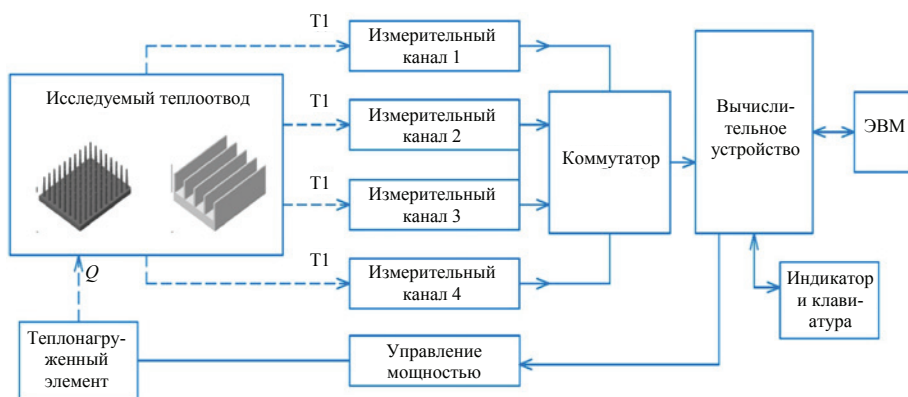


Рис. 3. Обобщенная структурная схема информационно-измерительной системы

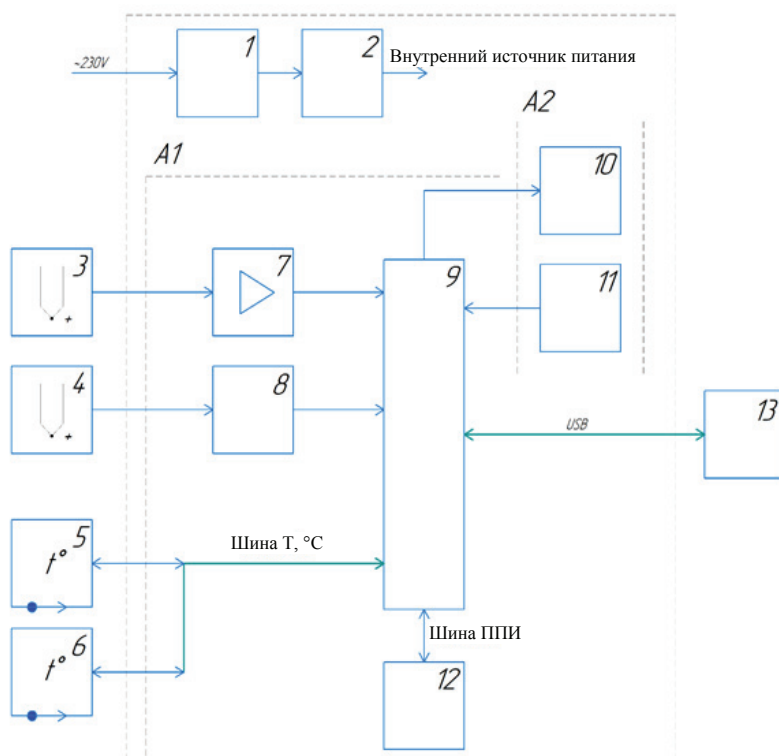


Рис. 4. Структурная схема ИИС:

1 – AC/DC-преобразователь; 2 – стабилизатор постоянного тока; 3 – аналоговая термопара; 4 – цифровой контактный датчик температуры; 5, 6 – бесконтактные измерители температуры; 7 – усилитель сигнала термопары; 8 – цифровой интерфейс; 9 – центральное вычислительное устройство; 10 – устройство индикаторное; 11 – клавиатура; 12 – энергонезависимое устройство памяти; 13 – ПК

В результате дальнейшей декомпозиции структуры ИИС получаем ее функциональную схему (рис. 5), которая позволяет более наглядно оценить функциональные особенности проектируемой системы и в последующем, в ходе реализации системы, перейти к решению принципиальных схемотехнических вопросов. Блок 1 представляет собой коммутатор или мультиплексор (MUX1), который коммутирует по сигналу микроконтроллера (MCU) данные о температурном поле объекта ΔT от двух бесконтактных измерителей температуры. В каждый момент времени на выходе MUX1 присутствует сигнал только от одного измерителя. Блок 2 преобразует данные о температурном поле объекта с учетом разрешения в цифровой код, который подается в блок 9. Последний представляет собой отключаемую линию задержки сигнала с возможностью регулировки времени задержки.

Блок 6 преобразует для последующего усиления термоЭДС термопары в напряжение постоянного тока ΔU . Усиление этого напряжения осуществляет специализированный усилитель с регулируемым коэффициентом усиления – блок 8. Далее увеличенное до нужного уровня напряжение проходит еще одно преобразование – дискретизацию в аналого-цифровом преобразователе (блок 10).

Блок 7 осуществляет прямое преобразование температуры ΔT исследуемого объекта, измеренной контактным способом, в цифровой код Z . Данный код поступает на коммутатор или мультиплексор MUX2 – блок 11. На оставшиеся два входа MUX2 подаются цифровой код с одного из бесконтактных измерителя температуры и оцифрованное значение температуры термопары.

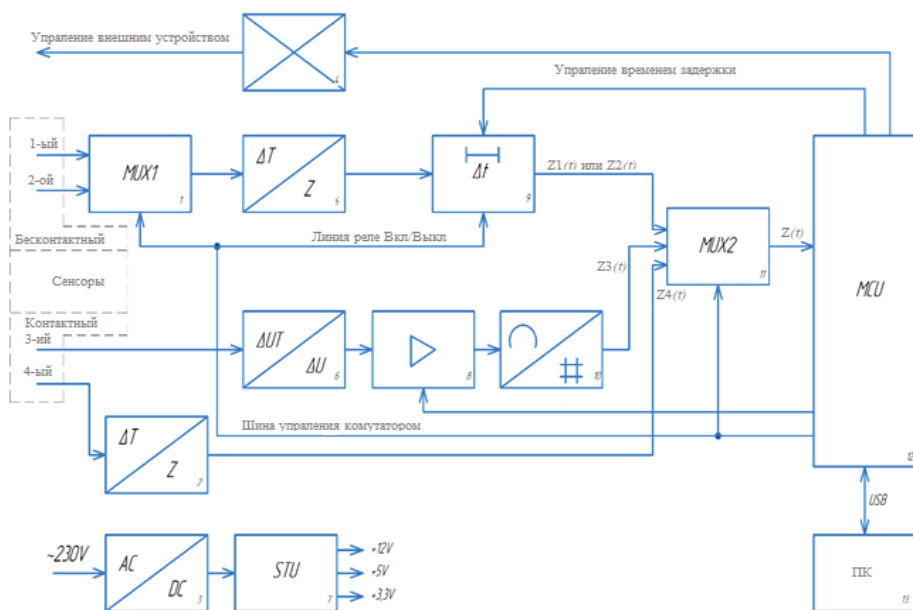


Рис. 5. Функциональная схема системы

Синхронизация работы MUX1 и MUX2 обеспечивается MCU таким образом, что каждый из четырех измерительных каналов опрашивается 20 раз в секунду. Тем самым создается полная картина распределения температуры исследуемого объекта.

Заключение

На основе методов построения информационно-измерительных систем [11] предложена структурная схема многоканальной информационно-измерительной системы для измерения теплофизических характеристик теплоотводов – теплового сопротивления. Тепловое сопротивление является универсальной характеристикой теплоотводов радиоэлектронной аппаратуры, которая объединяет такие параметры систем охлаждения, как эффективная площадь и тепловая проводимость материала [12, 13]. Предложенная в работе информационно-измерительная система, при применении ее при теплофизическом проектировании, позволяет измерить фактическое значение теплового сопротивления теплоотводов и радиаторов с погрешностью измерения не более 1,5 %, тем самым повысить полноту данных о теплофизических параметрах теплоотводящих элементов электронной аппаратуры.

Список литературы

1. Структура автоматизированной лаборатории исследования теплоотводов / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2011. – Т. 2. – С. 119 – 120.
2. Горячев, Н. В. Концептуальное изложение методики теплофизического проектирования радиоэлектронных средств / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. – 2013. – № 17. – С. 214–215.
3. Методы и подходы к выбору способа охлаждения радиоаппаратуры на ранних стадиях конструирования / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, И. М. Рыбаков [и др.] // Современные информационные технологии. – 2019. – № 29. – С. 139 – 143.

4. Дульнев, Г. Н. Тепло-и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре : учебник для вузов по спец. «Конструир. и произв. радиоаппаратуры». – М. : Высш. шк., 1984. – 247 с.
5. Меркульев, А. Ю. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий / А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. – 2013. – № 11. – С. 143 – 145.
6. Анализ влияния тепловых параметров дискретных радиоэлектронных блоков на надежность и точность измерительной техники / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, И. М. Рыбаков [и др.] // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Шляндинские чтения – 2019) : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для студентов, аспирантов и молодых ученых, Пенза, 28 – 30 окт. 2019 г. / под ред. Е. А. Печерской. – Пенза, 2019. – С. 235 – 238.
7. Гайдин, Н. М. Исследование влияния конструктивных особенностей теплоотвода на эффективность охлаждения процессора / Н. М. Гайдин, М. В. Поклонская, А. В. Палий // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 10(82). – С. 77– 85.
8. Макаров, О. Ю. Моделирование и алгоритмизация теплофизического проектирования в САПР БИС : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. Ю. Макаров. – Воронеж, 1994. – 19с.
9. Палий, А. В. Исследование способов улучшения тепловых режимов теплонагруженных микроэлектронных устройств : дис. ... канд. техн. наук : 05.27.01 / Палий Александр Викторович. – Таганрог, 2007. – 140 с.
10. Рубичев, Н. А. Измерительные информационные системы / Н. А. Рубичев. – М. : Дрофа, 2010. – 334 с.
11. Новоселов, О. Н. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем / О. Н. Новоселов, А. Ф. Фомин. – 2-е изд., перераб и доп. – М. : Машиностроение, 1991. – 336 с.
12. Горячев, Н. В. Алгоритмическое и программное обеспечение системы поддержки принятия решения при выборе системы охлаждения электрорадиоизделия / Н. В. Горячев, А. К. Гришко, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. – Т. 1. – С. 287 – 289.
13. Горячев, Н. В. Автоматизированный выбор системы охлаждения при теплофизическом проектировании радиоэлектронных средств / Н. В. Горячев, В. А. Трусов, Н. К. Юрков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). – 2014. – № 2(44). – С. 7 – 10.

Structural Diagram of a Multichannel Information and Measurement System for Measuring Thermal Resistance

B. S. Beisembayeva✉

*Department of Aviation Engineering and Technology, b.beisembayeva@agakaz.kz,
JSC Civil Aviation Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan*

Keywords: measurement channel; information and measurement system; synthesis methodology; model; structure; temperature.

Abstract: An approach is proposed for designing the structure of a multichannel information and measurement system, which is a functionally complete metrology device designed to collect measurement data from primary temperature sensors based on various physical principles of temperature measurement. The system implements

four measurement channels supporting both contact and non-contact temperature measurement methods. The measured temperature values are used to calculate the thermal resistance of heat sinks and radiators. It is shown that the proposed structural diagram of the information-measuring system satisfies key requirements, including multi-channel temperature measurement, direct interaction with the measurement object, automatic control and processing of measurement data.

References

1. Goryachev N.V., Grab I.D., Lysenko A.V., Yurkov N.K. [Structure of the automated laboratory for studying heat sinks], *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo"* [Proceedings of the international symposium "Reliability and quality"], 2011, vol. 2, pp. 119-120. (In Russ.)
2. Goryachev N.V., Yurkov N.K. [Conceptual presentation of the methodology for thermophysical design of radio electronic equipment], *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii* [Modern information technologies], 2013, no. 17, pp. 214-215. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Grishko A.K., Goryachev N.V., Rybakov I.M. [et al.], [Methods and approaches to choosing a method for cooling radio equipment at early stages of design], *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii* [Modern information technologies], 2019, no. 29, pp. 139-143. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Dul'nev G.N. *Teplо- i massоobmen v radioelektronnoy apparature: uchebnik dlya vuzov po spets. "Konstruir. i proizvod. radioapparatury"* [Heat and mass transfer in radio-electronic equipment: a textbook for universities in the specialty "Design and manufacture of radio equipment"], Moscow: Vysshaya shkola, 1984, 247 p. (In Russ.)
5. Merkul'yev A.Yu., Goryachev N.V., Yurkov N.K. [Cooling systems for semiconductor electronic and radio products], *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2013, no. 11, pp. 143-145. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Grishko A.K., Goryachev N.V., Rybakov I.M. [et al.]. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii (Shlyandinskiye chteniya – 2019): materialy XI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. s elementami nauchnoy shkoly i konkursom nauchno-issledovatel'skikh rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Methods, means and technologies for obtaining and processing measurement information (Shlyandinsky Readings – 2019): Proc. of the XI Int. scientific and technical. conf. with elements of a scientific school and a competition of research papers for students, graduate students and young scientists], Penza, 28-30 Oct. 2019, Penza, 2019, pp. 235-238. (In Russ.)
7. Gaydin N.M., Poklonskaya M.V., Paliy A.V. [Study of the influence of design features of a heat sink on the efficiency of processor cooling], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2021, no. 10(82), pp. 77-85. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Makarov O.Yu. *Extended abstract of Candidate's of Eng. thesis*, Voronezh, 1994, 19 p. (In Russ.)
9. Paliy A.V. *PhD of Candidate's thesis (Engineering)*, Taganrog, 2007, 140 p. (In Russ.)
10. Rubichev N.A. *Izmeritel'nyye informatsionnyye sistemy* [Measuring information systems], Moscow: Drofa, 2010, 334 p. (In Russ.)
11. Novoselov O.N., Fomin A.F. *Osnovy teorii i rascheta informatsionno-izmeritel'nykh system* [Fundamentals of the theory and calculation of information-measuring systems], Moscow: Mashinostroyeniye, 1991, 336 p. (In Russ.)
12. Goryachev N.V., Grishko A.K., Yurkov N.K. [Algorithmic and software support for the decision-making system for choosing a cooling system for an electronic radio product], *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost' i kachestvo"*

[Proceedings of the international symposium “Reliability and quality”, 2017, vol. 1, pp. 287-289. (In Russ.)

13. Goryachev N.V., Trusov V.A., Yurkov N.K. [Automated selection of a cooling system in thermophysical design of electronic equipment], *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva (natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta)* [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University)], 2014, no. 2(44), pp. 7-10. (In Russ., abstract in Eng.)

Strukturdiagramm eines mehrkanaligen Informations- und Messsystems zur Messung des Wärmewiderstands

Zusammenfassung: Es ist ein Ansatz zur Gestaltung der Struktur des mehrkanaligen Informationsmesssystems vorgeschlagen. Dieses System ist ein funktional vollständiges Messgerät zur Erfassung von Messdaten von primären Temperatursensoren auf Basis verschiedener physikalischer Prinzipien der Temperaturmessung. Das System verfügt über vier Messkanäle, die sowohl Kontakt- als auch berührungslose Temperaturmessverfahren unterstützen. Die gemessenen Temperaturwerte werden zur Berechnung des Wärmewiderstands von Kühlkörpern und Heizkörpern verwendet. Es ist gezeigt, dass das vorgeschlagene Strukturdiagramm des Informationsmesssystems wichtige Anforderungen erfüllt, darunter Mehrkanal-Temperaturmessung, direkte Interaktion mit dem Messobjekt, automatische Steuerung und Messdatenverarbeitung.

Organigramme du système d'information et de mesure multicanal de la résistance thermique

Résumé: Est proposée une approche pour la conception de la structure d'un système d'information et de mesure multidisciplinaire, qui est un dispositif métrologique fonctionnellement complet conçu pour recueillir des données de mesure provenant de capteurs de température primaires basés sur divers principes physiques de mesure de la température. Le système comprend quatre canaux de mesure qui prennent en charge les méthodes de mesure de la température en contact et non. Les valeurs de température mesurées sont utilisées pour calculer la résistance thermique des radiateurs et des radiateurs. Est démontré que la structure proposée du système d'information et de mesure répond à des exigences essentielles, notamment la mesure de la température à plusieurs canaux, l'interaction directe avec l'objet de mesure, la gestion et le traitement automatiques des données de mesure.

Автор: *Бейсембаева Бакытгуль Сагимжановна* – сеньор-лектор кафедры «Авиационная техника и технологии», АО «Академия гражданской авиации», Алматы, Республика Казахстан.