

Секция «Искусственный интеллект и анализ данных в космических исследованиях»

**Разработка алгоритма повышения точности температурных измерений,  
проводимых с использованием пирометра**

**Научный руководитель – Булатов Марат Фатыхович**

**Тарасова Нина Сергеевна**

*Студент (специалист)*

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет  
космических исследований, Москва, Россия

*E-mail: ninatarasova.msu@gmail.com*

*В данном исследовании представлен алгоритм, основанный на анализе температурных распределений по поверхности с помощью сверточных нейронных сетей (CNN). Работа описывает методологию, включающую эксперимент с использованием пирометра для получения точных температурных данных в условиях, имитирующих космическую среду. Особое внимание уделяется обработке полученных сигналов с применением CNN, что позволяет не только выявлять очевидные температурные аномалии, но и потенциально обнаруживать сложные паттерны, указывающие на начальные стадии неисправностей. Экспериментальная часть включает серию измерений при различных условиях для обеспечения репрезентативности данных. Результаты исследования демонстрируют потенциал предложенного метода в повышении точности и эффективности диагностики космического оборудования, открывая новые возможности для автоматизации процессов мониторинга и раннего обнаружения неисправностей в условиях космических миссий.*

**Ключевые слова:** пирометрия, температура, сверточная нейронная сеть, обработка сигналов

**Введение**

Одной из актуальных задач в космонавтике является задача осуществление контроля за изменениями температуры различных систем с целью обеспечения надлежащего функционирования оборудования в космическом пространстве. Основными преимуществами использования методов пирометрии для данной задачи являются бесконтактный способ измерения температуры, а также возможность измерения температур излучателей, находящихся на больших расстояниях от прибора. Однако интерпретация данных, получаемых с пирометров, представляет собой сложную задачу, особенно в контексте выявления потенциальных неисправностей [1, 2].

В работе описывается разрабатываемый подход, включая эксперимент с пирометром, обработку сигналов и температурное картирование. Новизна исследования заключается в применении сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) для анализа полученных температурных данных. CNN эффективны в извлечении локальных признаков входных данных, что делает их перспективным инструментом для выявления сложных температурных паттернов и аномалий.

**1. Методика проведения эксперимента**

В эксперименте использовался специально собранный пирометр с интерфейсом вывода данных RS-232, представленный на рис. 1.

**Рис. 1.** Внешний вид пирометра и ширмы с отверстиями разного диаметра.

Определение температурного значения с пирометра происходит проецированием на матрицу. Чем больше пикселей в матрице, тем более детальным получается изображение фиксируемого прибором объекта. Так как прибор является тепловизионным пирометром,

это дает возможность снимать информацию всего исследуемого объекта и даже окружающей среды вокруг него. Тепловизионное поле имеет точку метрологической съемки, с которой производится метрологическое измерение поверхности исследуемого объекта. Изображение на дисплее формируется полученными излучениями на каждом пикселе, располагая изображение в 2D формате, т.е. графическое изображение на плоскости. Оптическая схема прибора изображается в виде системы сферических линз.

Диапазон рабочих температур эксплуатации варьировался от  $+10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Эксперимент проводился в затемненном помещении, где источник света наблюдался пирометром через пластину с пятью отверстиями разного диаметра (3 мм, 1.5 мм, 1 мм, 0.75 мм, 0.25 мм). Использование отверстий различного диаметра позволяет фокусировать тепловое излучение и получать более четкие температурные изображения. Это особенно важно в условиях космической среды, где тепло передается преимущественно путем излучения. Было проведено около 80 измерений температуры на различных расстояниях, чтобы было достаточно данных для их последующего разделения на тренировочные и проверочные выборки при обучении нейронной сети. Цель эксперимента заключалась в получении четких сигналов с пирометра с численными значениями измеряемых температур через отверстия в пластине. Каждому значению температуры соответствует определённый цвет, что позволяет создать изображение с цветовым отображением в измеренной области на дисплее пирометра.

## 2. Обработка сигнала

Полученные цветовые значения температуры обрабатывались с помощью сверточной нейронной сети (CNN). Выбор CNN обусловлен их способностью эффективно извлекать и анализировать пространственные признаки в данных [3]. Перед началом обучения модели и разделением данных, задается промежуток допустимых температур, принимаемых за норму: от  $+15$  до  $+30$  градусов. Остальные значения температур считаются аномальными и координаты данных значений выводятся с целью определения их местонахождения для последующего картирования. Архитектура сети включала: сверточные слои для извлечения локальных признаков входных данных с помощью фильтров, слои подвыборки (пулинга) для уменьшения размерности и сохранения наиболее значимой информации, полносвязные слои для окончательной классификации. Для обеспечения корректной оценки производительности модели данные были разделены: на тренировочные и проверочные выборки. Тренировочная выборка состояла из 80% всех собранных данных, в то время как проверочная выборка включала оставшиеся 20%. Разделение данных проводилось случайным образом, чтобы обеспечить репрезентативность обеих выборок. Полученные данные были собраны в условия описанного выше эксперимента.

Новизна предлагаемого метода обработки сигнала заключается в применении CNN к задаче анализа температурных карт, полученных с помощью пирометрии. Это позволяет не только выявлять явные температурные аномалии, но и потенциально обнаруживать более сложные паттерны, которые могут указывать на начальные стадии развития неисправностей космической техники, а также повысить точность измерений и устойчивость к фоновым шумам.

## Выводы

Предварительные результаты показывают, что данный подход потенциально способен повысить точность выявления температурных аномалий по сравнению с традиционными методами анализа, обеспечить более глубокий анализ температурных паттернов, что может быть полезно для раннего обнаружения неисправностей, автоматизировать процесс мониторинга состояния оборудования. Применение методов машинного обучения для анализа данных пирометрии для диагностики неисправностей представляет собой перспективный подход к повышению надежности космической техники. Однако требуются

дальнейшие исследования для количественной оценки эффективности метода в реальных условиях эксплуатации космических аппаратов.

**Список литературы**

1. Zhang Y., Liu H., Wang Y., Li J. Research on temperature measurement technology based on pyrometry. // Applied Sciences. 2023. V. 13, P. 5334.
2. Чистофорова Н.В., Колмогоров А.Г. Технические измерения и приборы. Ангарск: АГТА, 2008. 200 с.
3. Wu J. Introduction to convolutional neural networks // National Key Lab for Novel Software Technology. 2017. Т. 5. №. 23. С. 495.