

Микропроцессорное устройство для непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха работниками локомотивных бригад

А. В. Пультяков¹✉, К. В. Менакер², М. В. Востриков², А. В. Орлов³

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

² Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация

³ Российская открытая академия транспорта, г. Москва, Российская Федерация

✉ pulyakov@irgups.ru

Резюме

В статье рассматривается вопрос разработки локомотивного микропроцессорного устройства непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха работниками локомотивных бригад с целью повышения безопасности движения поездов при низких температурах и резко континентальном климате, характерных для Восточного полигона ОАО «Российские железные дороги». Условия вождения и эксплуатации поездов в зимних условиях существенно отличаются от летних. Низкие температуры приводят к снижению подвижности шарниров, возрастает хрупкость металлов и вероятность замерзания трубопроводов, изменяются требования к режимам опробования тормозов и скоростным режимам движения составов. На ряде участков железных дорог, проложенных по искусственным сооружениям, в настоящее время уже действуют скоростные ограничения движения поездов. Рост числа аварийных ситуаций приводит к необходимости введения дополнительных скоростных ограничений на ряде участков со сложным профилем пути. Отсутствие бортовых устройств непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха с одновременным контролем скорости движения поезда привело к необходимости поиска технических решений в этом направлении. На основе проведенных исследований и с учетом анализа достоинств и недостатков существующих технических решений авторами предложено микропроцессорное устройство, предназначенное для измерения текущей температуры окружающего воздуха, координаты и скорости движения поезда с возможностью фиксации всех измеренных значений на карту памяти. Проведенные натурные испытания показали высокую эффективность разработанного устройства, а также его надежность и простоту эксплуатации. Актуальность разработки и высокие технические характеристики подтверждены экспертными заключениями и актами внедрения.

Ключевые слова

мониторинг и визуализация температуры, микропроцессорное устройство, скорость движения поезда, карта памяти, локомотивная бригада, безопасность движения поездов

Для цитирования

Пультяков А. В. Микропроцессорное устройство для непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха работниками локомотивных бригад / А. В. Пультяков, К. В. Менакер, М. В. Востриков, А. В. Орлов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 4 (72). – С. 123–131. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).123-131

Информация о статье

поступила в редакцию: 12.11.2021, поступила после рецензирования: 19.11.2021, принята к публикации: 25.11.2021

Microprocessor device for continuous monitoring and visualization of ambient air temperature by locomotive crews workers

A. V. Pulyakov¹✉, K. V. Menaker², M. V. Vostrikov², A. V. Orlov³

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

² Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

³ Russian Open Academy of Transport, Moscow, the Russian Federation

✉ pulyakov@irgups.ru

Abstract

The article considers the issue of creating a locomotive microprocessor device for continuous monitoring and visualization of ambient air temperature by members of locomotive crews in order to improve the safety of train traffic at low temperatures and sharply continental climate, typical for the Eastern polygon of JSC «Russian Railways». The conditions of driving and operating trains in winter conditions differ significantly from summer ones. Low temperatures lead to a decrease in the mobility of hinges, the fragility of metals and the likelihood of freezing of pipelines increases, the requirements for brake testing procedures and

speed modes of movement of trains change. Speed restrictions on train traffic are already in effect on a number of sections of railways laid along an artificial structure. The increase in the number of emergency situations leads to the need to introduce additional speed limits on a number of sections with a complex path profile. The absence of on-board devices for continuous monitoring and visualization of ambient air temperature with one-time control of train speed has led to the need to search for technical solutions in this direction. Based on the conducted research and taking into account the analysis of the advantages and disadvantages of existing technical solutions, the authors proposed a microprocessor device designed to measure the current ambient temperature, coordinate and speed of the train with the possibility of recording all measured values on a memory card. The conducted field tests have shown the high efficiency of the developed device, as well as its reliability and ease of operation. The relevance of the development and high technical characteristics are confirmed by expert opinions and implementation acts.

Keywords

temperature monitoring and visualization, microprocessor device, train speed, memory card, locomotive crew, train safety

For citation

Pultyakov A. V., Menaker K. V., Vostrikov M. V., Orlov A. V. Mikroprotsessornoe ustrojstvo dlya nepreryvnogo monitoringa i vizualizatsii temperatury okruzhayushhego vozdukhа rabotnikami lokomotivnykh brigad [Microprocessor device for continuous monitoring and visualization of ambient air temperature by locomotive crews workers]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 4 (72), pp. 123–131. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.4(72).123-131

Article info

Received: 12.11.2021, Revised: 19.11.2021, Accepted: 25.11.2021

Введение

В настоящее время на железнодорожном транспорте действует ряд нормативных актов, регламентирующих порядок подготовки и обслуживания подвижного состава, а также ведения поездов в зимних условиях [1–4].

Низкие температуры приводят к повышению хрупкости всех металлических частей подвижного состава, пути и объектов инфраструктуры; накладывают ограничения на режимы опробования и применения тормозов; регламентируют номенклатуру использования смазочных и охлаждающих жидкостей; ограничивают скоростные режимы движения поездов на отдельных участках.

Рост числа аварийных ситуаций на восточном полигоне Российской Федерации в зимний период времени привел к необходимости пересмотра специалистами АО «Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» в 2019 г. ограничений скоростного режима грузовых составов при низких температурах воздуха на отдельных участках.

На участках, проложенных по искусственным сооружениям – мостам и путепроводам в настоящее время при достижении температуры окружающего воздуха ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ накладываются ограничения по скорости в 60 км/ч. При снижении температуры до $-40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже ученые рекомендовали ограничивать скорость движения грузовых поездов до 70 км/ч, а на некоторых участках до 50–60 км/ч [5].

Таким образом, необходимость ограничения скорости поездов в зависимости от температуры окружающего воздуха очевидна. Между тем информирование работников локомотивных бригад о значении температуры в настоящее время осуществляется на железнодорожных станциях в виде численных показаний на стационарных табло, при том что в районах с резко континентальным климатом температура окружающего воздуха может существенно изменяться на длине перегона в несколько десятков километров [6].

Постановка задачи

Для решения задачи возникает потребность в разработке и внедрении на локомотивах измерительного комплекса с целью непрерывной регистрации температуры окружающего воздуха, текущей координаты и скорости движения поезда с возможностью выдачи предупредительных сигналов при несоответствии параметров и их записи в память устройства для расследования аварийных ситуаций, возникших в случае нарушения режима ведения поездов членами локомотивных бригад.

Обзор существующих решений

В настоящее время наибольшее распространение находят стационарные измерители температуры окружающего воздуха, которые устанавливаются на железнодорожных станциях в местах остановки локомотивов и информирование работников локомотивных бригад

осуществляется посредством вывода значений температуры на электронное табло.

Проведенный анализ технических решений в области мобильных измерительных комплексов температуры показал, что имеется ряд изобретений односторонней направленности, различного назначения [7–11]. Так, основным назначением бортовой системы регистрации параметров работы локомотива [7] является анализ информации с датчиков температуры и расхода топлива, оборотов турбокомпрессора, мощности и оборотов дизель-генераторного агрегата, температуры охлаждающей жидкости контура охлаждения дизеля с привязкой к пройденному локомотивом пути и скорости движения посредством GSM-модуля. Данная система, несмотря на многофункциональность, предназначена для диагностики состояния технических средств локомотивов и не информирует членов локомотивных бригад о значении температуры окружающего воздуха, не фиксирует измеренные параметры в память устройства.

Термометр железнодорожный (рельсовый) ИТ5-П/П-ЖД [8] предназначен для измерения температуры поверхности стальных массивных изделий, в том числе контроля температуры железнодорожных рельсов, букс вагонов, металлических предметов в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве, в машиностроении. Данный прибор не относится к мобильным и не имеет возможности измерения текущей координаты объекта, его скорости пе-

ремещения и фиксации измеренных значений в памяти устройства.

Устройство для измерения температуры наружного воздуха, представленное в работе [9], обеспечивает измерение и фиксацию только одного параметра – температуры без привязки к координате места измерения.

Изобретение [10] относится к средствам управления кондиционированием воздуха в поезде. Устройство осуществляет измерение температуры наружного воздуха и в помещениях вагона, сравнивает эти значения и выдает управляющее воздействие на нагревательные элементы, поддерживая заданный уровень температуры.

Устройство измерения параметров атмосферы, заявленное в работе [11], предназначено для использования в составе гражданских объектов и объектов спецтехники на борту подвижных и неподвижных морских и наземных объектов, для работы в условиях агрессивного воздействия окружающей среды, таких как соляной туман, повышенные или пониженные температура, влажность, давление, солнечное излучение, снег и дождь, иней и роса, пыль и песок. Поставленная задача в устройстве решается благодаря наличию связанных друг с другом датчиков температуры воздуха, относительной влажности воздуха, атмосферного давления, трехкоординатного ультразвукового анемометра, электромагнитного компаса, датчика температуры почвы. Избыточные возмож-

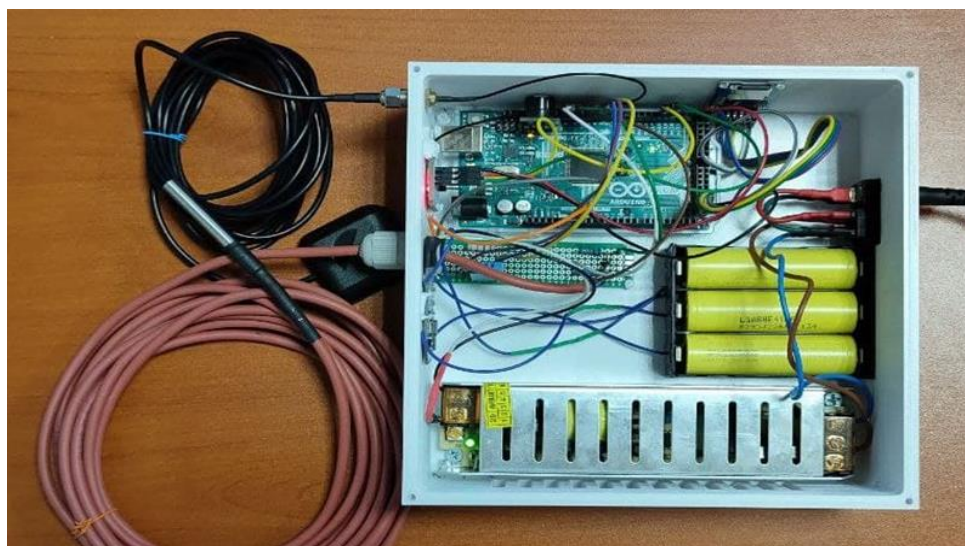


Рис. 1. Конструктив микропроцессорного устройства непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха

Fig. 1. The design of a microprocessor-based device for continuous monitoring and visualization of the ambient temperature

ности прибора приводят к его высокой стоимости и необоснованности применения для решения поставленной задачи.

Разработка аппарата микропроцессорного устройства непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха

Конструктив предлагаемого устройства представлен на рис. 1. Устройство выполнено на основе микропроцессорной платформы Arduino Mega 2560 R3 на базе чипа ATmega2560, имеет больше число дискретных портов ввода/вывода и аппаратных serial-портов для взаимодействия с вычислительными средствами более высокого уровня и другими устройствами.

В качестве датчика температуры выбрано оригинальное цифровое устройство DS18B20 производства Maxim Integrated, выполненное по классу защиты IP67 с трехпроводным силиконовым кабелем. Датчик обеспечивает измерение температуры с разрешением от 9 до 12 бит в диапазоне от -55 до $+125$ °С, с погрешностью $\pm 0,5$ °С. Датчик помещен в гильзу из нержавеющей стали и залит специальным силиконовым компаундом для защиты от внешних воздействий (встречный поток воздуха, дождь, снег, механические воздействия). Датчик температуры размещается снаружи локомотива на передней фронтальной части обшивки и соединяется с измерительным устройством длинным термостойким кабелем SIHF (FG4OG4) $3 \times 0,25$ с изоляцией из силиконовой резины. Кабель обладает превосходной электроизоляцией и высокой стойкостью к воздействию озона и кислорода, искусственного освещения, атмосферных осадков, а также сохраняет свои свойства при низких температурах.

Точный отсчет времени в устройстве осуществляется посредством модуля часов реального времени типа DS1307Z. Модуль построен на базе чипа, который снабжен интерфейсом I2C. Модуль позволяет считывать следующие временные интервалы: секунды, минуты, часы, дни недели, месяцы и годы.

Для определения текущей координаты локомотива в составе устройства применен GPS/Glonass приемник с выносной антенной на базе Neoway G7 марки Тройка – GPS/Glonass Extended Receiver V2. Внешняя антенна подключена к модулю трехметровым проводом и

крепится в защитном кожухе рядом с термодатчиком.

Для записи текущих измеренных значений температуры окружающего воздуха, координаты местоположения поезда и скорости его движения в разрабатываемом устройстве применен стандартный модуль-адаптер со слотом MicroSD. Поддерживаемый объем карты памяти 2 Гб обеспечивает запись необходимой информации во временном промежутке до 48 ч.

Для отображения показаний температуры окружающего воздуха устройство оснащено сегментным индикатором TM1637. Все сегменты индикатора являются управляемыми светодиодами для лучшего восприятия численной информации членами локомотивной бригады в условиях ограниченной освещенности кабины машинистов. Индикатор TM-1637 подключается к платформе Arduino и управляется по шине I2C. Панель управления имеет возможность дискретной настройки яркости дисплея, при которой информация с экрана различима даже при сильном дневном свете.

Стабильность и энергонезависимость электропитания обеспечивается от локомотивной электросети с помощью встроенного импульсного источника электропитания и аккумуляторных батарей. Зарядка аккумуляторных батарей осуществляется от зарядного устройства для Li-Ion аккумуляторов HX-3S-FL10A. Данный модуль предназначен для контроля за состоянием аккумуляторов и управления процессом заряда/разряда батарей типа 18650. К контроллеру заряда/разряда HX-3S-FL10A можно подключить одновременно три аккумулятора. Особенности представленного контроллера являются: защита от короткого замыкания и защита от перезаряда. Он имеет функцию отключения подачи питания на аккумуляторы при достижении максимальной емкости даже одной из батарей. Выходное напряжение системы электропитания устройства находится в диапазоне от 11,1–12,6 В.

Следует отметить, что все схемотехнические решения в предлагаемом устройстве выполнены на основе безопасных схем сопряжения [12–14], с учетом повышенной помехозащищенности в условиях сильных электромагнитных помех от электрооборудования электропоездов, контактной сети, высоковольтных линий электроснабжения [15–17], повышенной вибростойкости в условиях работы многочис-

ленного электрооборудования электроподвижного состава и ударных нагрузок, возникающих в ходе движения поезда [18–20].

Принципиальная схема и алгоритм работы микропроцессорного устройства непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха

Принципиальная схема и алгоритм работы устройства представлены на рис. 2 и 3.

При включении устройства с помощью тумблера, установленного на верхней панели, производится проверка работоспособности всех модулей. При успешной проверке осуществляется считывание SD-карты и открытие файла для текущей записи информации. Микроконтроллер с заданной периодичностью (1–3 с) считывает информацию с датчиков температуры, местоположения и влажности воздуха. На основе полученных данных и показания модуля часов реального времени программным путем вычисляется текущая скорость движения поезда и производится сравнение с измеренным значе-

нием температуры. При несоответствии скорости движения и температуры окружающего воздуха выдается тройной звуковой и визуальный сигналы для работников локомотивной бригады. Одновременно весь массив измеренной информации, включая сигналы предупреждения, записывается на SD-карту. При неисправности какого-либо модуля в составе устройства осуществляется вывод диагностической информации в виде мигания индикаторных светодиодов на верхней панели прибора с определенной длительностью и периодичностью. При расследовании аварийной ситуации есть возможность изъятия карты памяти из устройства и считывания на персональном компьютере с помощью декодирующей программы.

Разработка и изготовление корпуса микропроцессорного устройства непрерывного мониторинга и визуализации температуры окружающего воздуха

Разработка и изготовление корпуса предлагаемого устройства осуществлены с исполь-

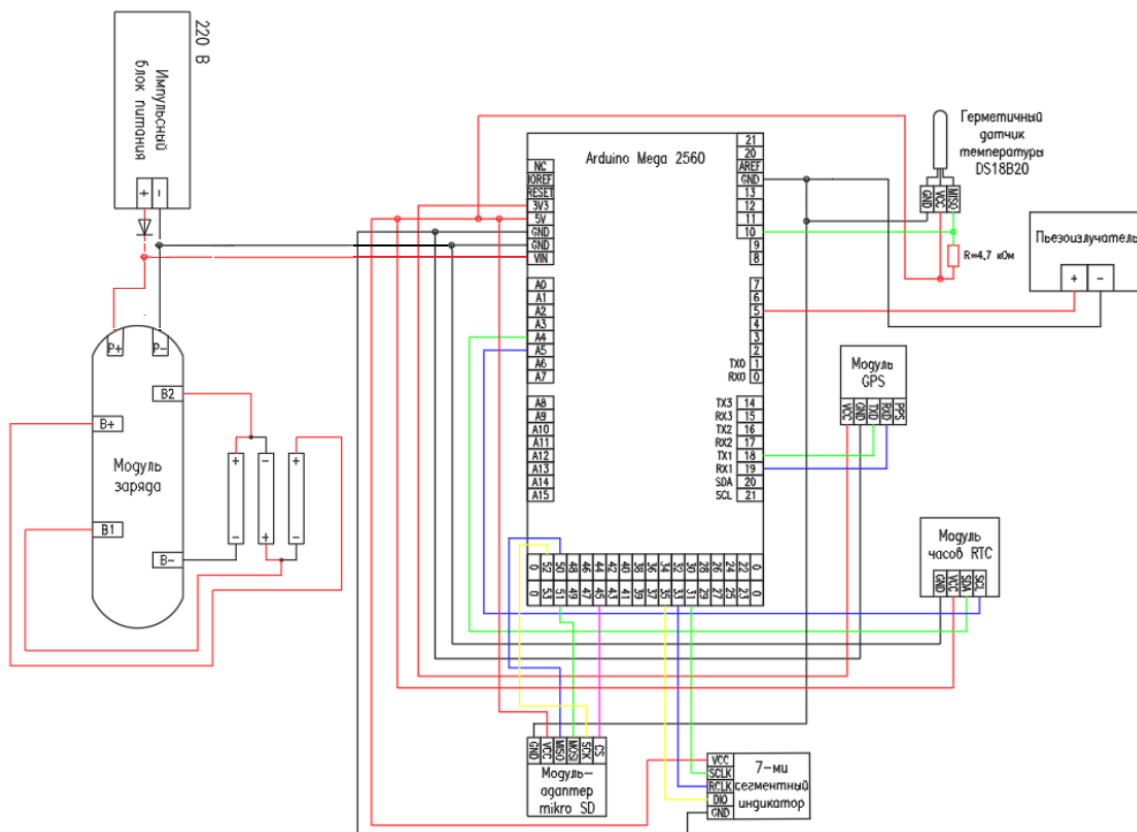


Рис. 2. Принципиальная схема локомотивного устройства мониторинга и регистрации температуры окружающего воздуха, координаты и скорости движения поезда

Fig. 2. Schematic diagram of a locomotive device for monitoring and recording the ambient temperature, coordinates and speed of the train

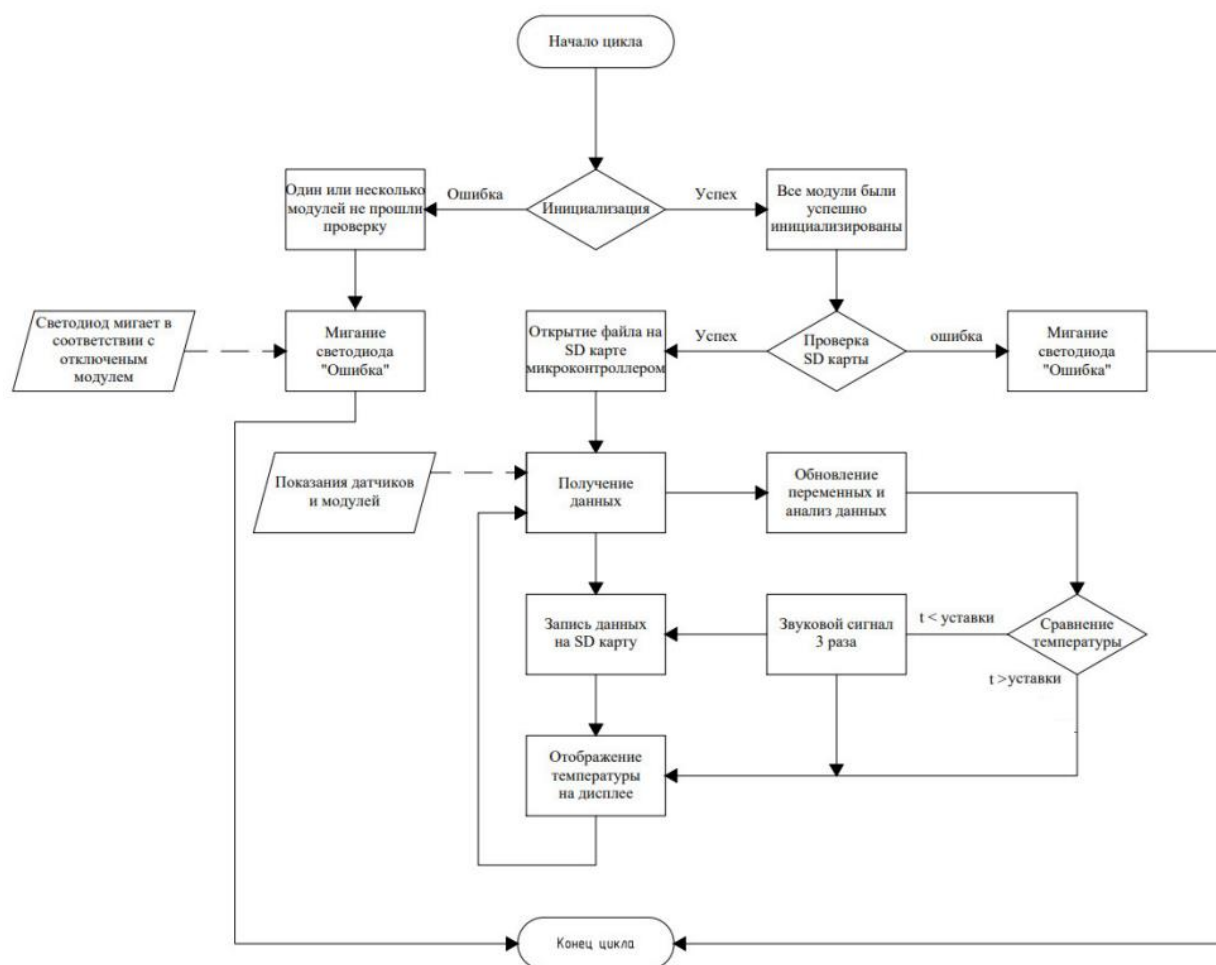


Рис. 3. Алгоритм работы локомотивного устройства мониторинга и регистрации температуры окружающего воздуха, координаты и скорости движения поезда

Fig. 3. Algorithm of operation of a locomotive device for monitoring and recording the ambient temperature, coordinates and speed of the train

зованием технологий 3D-проектирования и печати с предварительным определением числа и размеров компонентов и их удобного функционального размещения. Фрагмент 3D-модели корпуса прибора представлен на рис. 4. Следует отметить, что форма и эргономика корпуса прибора может быть спроектирована с учетом конфигурации приборной панели конкретного локомотива и удобства работы локомотивных бригад.

Опытная апробация устройства мониторинга и регистрации температуры окружающего воздуха, координаты и скорости движения поезда

Апробация разработанного устройства проводилась как в ходе опытных поездок на автотранспортном средстве, так и в условиях,

максимально приближенных к реальным – на электровазе в весенний период времени. Фрагменты результатов испытаний представлены на рис. 5. Испытания проводились с целью определения точности измерения отдельных параметров и оптимальной периодичности измерений. По результатам испытаний были проведены доработки аппаратной и программной части устройства. Время циклического опроса датчиков составило 3 с.

Заключение

Применение разработанного устройства для мониторинга и регистрации температуры окружающего воздуха, координаты и скорости движения позволяет повысить безопасность движения поездов, культуру работы ло-

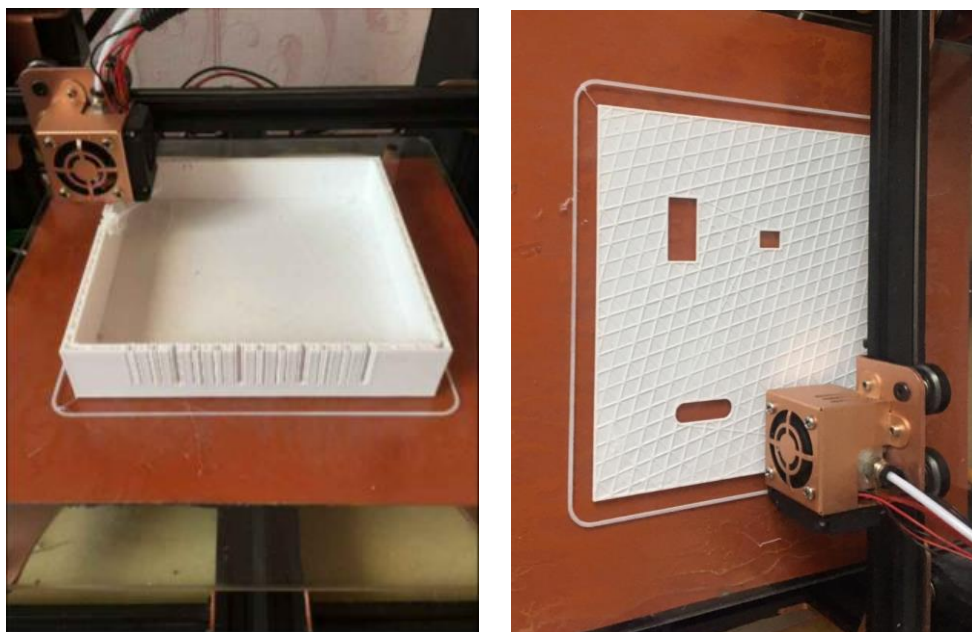


Рис. 4. Процесс изготовления 3D-модели корпуса для разработанного устройства
Fig. 4. The process of making a 3D-model of the case for the developed device

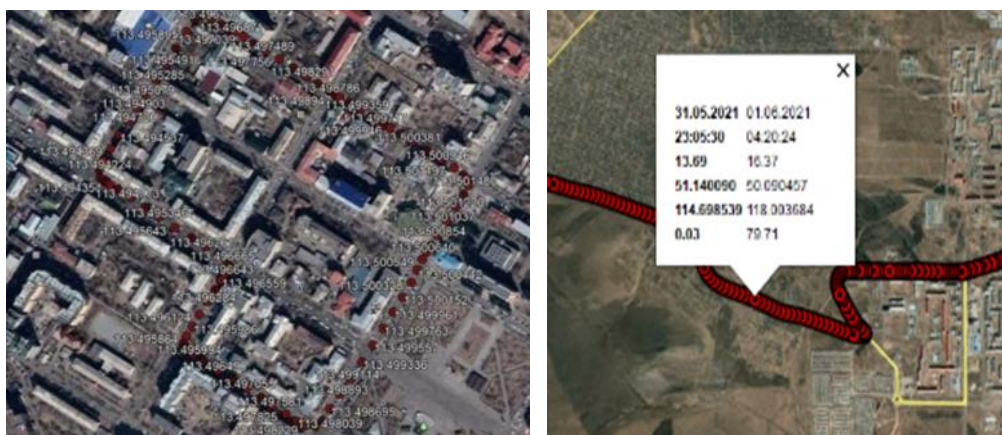


Рис. 5. Маршруты опытной поездки с модулем GPS и с модулем GPS и датчиком температуры соответственно

Fig. 5. Experimental routes with GPS module and with GPS module and temperature sensor respectively

комотивных бригад, проводить объективное расследования аварийных ситуаций, произошедших в результате нарушения скоростного режима ведения поездов. Устройство также может использоваться как дублирующее средство локомотивного скоростемера по регистрации

скорости, времени, пройденного расстояния при движении поезда. Установленный на локомотиве опытный образец устройства продолжает проходить эксплуатационные испытания с целью выявления имеющихся недостатков и определения значения наработки на отказ.

Список литературы

1. Инструкция по подготовке к работе и техническому обслуживанию электровозов в зимних и летних условиях : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 20.01.2012 № 77р.
2. Технические указания по подготовке, эксплуатации и обслуживанию тепловозов и дизель-поездов в зимних условиях : утв. ЦТ МПС России 30.12.1997 ЦТРТ-14/97).

3. Технические указания по подготовке к работе и техническому обслуживанию электропоездов в зимних условиях : утв. ЦТ МПС России 25.10.1995 N ЦТЭП-21-95.
4. Методические указания по подготовке хозяйства перевозок к работе в зимних условиях : утв. ОАО «РЖД» от 20.12.2006 г.
5. «Дочка» РЖД рекомендует пересмотреть ограничения скоростей грузовых поездов в морозы. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=156058>.
6. Щепотин Г.К. Влияние грузонапряженности и осевых нагрузок на долговечность рельсов в регионах с холодным климатом // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2021. № 1(56). С. 12–19. DOI 10.52170/1815-9262_2021_56_12.
7. Пат. 89834 Рос. Федерация. Бортовая система регистрации параметров работы локомотива / В.М. Бочаров, П.Н. Рубежанский, А.Н. Головаш и др. № 2009133199/22 ; заявл. 03.09.2009 ; опубл. 20.12.2009.
8. Измеритель температуры поверхности цифровой переносной ИТ 5-п/п-ЖД : руководство по эксплуатации РЭ-ЛС.421413.039 РЭ. Новосибирск : РЭЛСИБ. 20 с.
9. Пат. № 2661544 С2 Рос. Федерация. Устройство для измерения температуры наружного воздуха / Р.А. Кантюков, Р.К. Гимранов, А.В. Воронин и др. Российская Федерация. № 2016150282 ; заявл. 20.12.2016 ; опубл. 17.07.2018.
10. Пат. 2680926С1 Рос. Федерация. Железнодорожный поезд и система управления кондиционированием воздуха / Цао Я., Чжао Ц., Ли Ч. и др. № 2018110587 ; заявл. 26.03.2018 ; опубл. 28.02.2019.
11. Тикменов В.Н., Рубичев О.Н., Падерина К.В. Устройство измерения параметров атмосферы: патент на полезную модель № 162914 У1 Российская Федерация, МПК G01W 1/00. № 2016102691/28; заявл. 28.01.2016 ; опубл. 27.06.2016 / заявитель: АО «Научно-технический центр ЭЛИНС».
12. Сенотрусов А.Н., Менакер К.В., Ваулин В.И. Исследование безопасной схемы сопряжения с конденсаторной гальванической развязкой // Образование – наука – производство : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 226–231.
13. Шульц В.А., Ибрагимов Б.С. Анализ методов построения безопасных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики // Вестн. Казах. акад. трансп. и коммуникаций им. М. Тоншаева. 2012. № 3(76). С. 39–44.
14. Менакер К.В., Калпин М.Б., Мариненко А.В. Исследование безопасных устройств ввода информации о состоянии релейных датчиков на основе парафазных сигналов // Молодая наука Сибири. 2021. № 1(11). С. 301–307.
15. Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера. / В.А. Акимов и др. М. : Знание, 2014. 856 с.
16. Сисин В.А., Шапран Ф.В. Электромагнитная совместимость электронной и электротехнической аппаратуры локомотивов // Практическая силовая электроника. 2015. № 4. С. 47–51.
17. Куценко С.М. Климов Н.Н., Муратов В.И. Особенности влияния частичных разрядов на безопасность движения поездов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы конф. Иркутск, 2013. Т. 1. С. 53–57.
18. Повышение качества эксплуатации микропроцессорных устройств / М.В. Белькевич, А.В. Пультяков, В. А. Алексеев и др. // Автоматика, связь, информатика. 2016. № 1. С. 24–27.
19. Shtykin E.S. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers / A.V. Pulyakov et al. // Proceedings of the International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) : conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 760. DOI: 10.1088/1757-899X/760/1/012028.
20. Shamanov V.I., Pulyakov A.V., Trofimov Yu.A. Main electromagnetic jammer sources with impact on the railroad automation systems // Journal of Physics: Conf. Series. 1661 (2020) 012012. DOI:10.1088/1742-6596/1661/1/012012.

References

1. Instruksiya po podgotovke k rabote i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu ehlektrovozov v zimnikh i letnikh usloviyakh [Instructions for preparation for operation and maintenance of electric locomotives in winter and summer conditions]. Approved by the order of JSC «Russian Railways» dated January 20, 2012. N 77r.
2. Tekhnicheskie ukazaniya po podgotovke, ehkspluatatsii i obsluzhivaniyu teplovozov i dizel'-poezdov v zimnikh usloviyakh [Technical instructions for the preparation, operation and maintenance of diesel locomotives and diesel trains in winter conditions]. Approved by the Central Television of the Ministry of Railways of Russia on December 30, 1997, TSTRT-14/97.
3. Tekhnicheskie ukazaniya po podgotovke k rabote i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu ehlektropoezdov v zimnikh usloviyakh [Technical instructions for preparation for operation and maintenance of electric trains in winter conditions]. Approved by the Central Television of the Ministry of Railways of Russia on October 25, 1995, N TsTEP-21-95.
4. Metodicheskie ukazaniya po podgotovke khozyajstva perevozk k rabote v zimnikh usloviyakh [Guidelines for preparing the transportation system for work in winter conditions]. Approved by JSC «Russian Railways» on December 20, 2006.
5. «Dochka» RZHD rekomenduet peresmotret' ogranicheniya skorostej gruzovykh poezdov v morozy [The «subsidiary» of Russian Railways recommends reviewing the speed limits of freight trains in the cold]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=156058>.
6. Schepotin G.K. Vliyanie gruzonapryazhennosti i osevykh nagruzok na dolgovechnost' rel'sov v regionakh s kholodnym klimatom [Influence of load density and axial loads on the durability of rails in regions with cold climates]. *Vestnik SGUPS [Bulletin of the Siberian State Transport University]*. 2021, No. 1 (56). pp. 12-19. DOI 10.52170 / 1815-9262_2021_56_12.
7. Bocharov V.M., Rubezhanskiy P.N., Golovash A.N., Kostyanov A.A. Patent RU 89834 U1, 09.03.2009.
8. Izmeritel' temperatury poverkhnosti tsifrovoj perenosnoj IT 5-p/p-ZHD. Rukovodstvo po ehkspluatatsii REHLS.421413.039 RE [Digital portable IT 5-p / p-ZhD surface temperature meter. Operation manual RELS.421413.039 RE]. Novosibirsk, RELSIB Publ., 20 p.
9. Kanyukov R.A., Gimranov R.K., Voronin A.V. [etc.]. Patent RU 2661544 C2, 20.12.2016.
10. Cao Ya., Chzhao C., Li Ch. Patent RU 2680926 C1, 26.03.2018.

11. Tikmenov V.N., Rubichev O.N., Paderina K.V. Patent RU 162914 U1, 28.01.2016.
12. Senotrusov A.N., Menaker K.V., Vaulin V.I. Issledovanie bezopasnoj skhemy sopryazheniya s kondensatornoj gal'vanicheskoj razvyazkoj [Investigation of a safe coupling scheme with a capacitor galvanic isolation]. *Materialy III Vse-rossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Obrazovanie – nauka – proizvodstvo»* [Proceeding of the III All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – science – production»]. Chita, 2019, pp. 226–231.
13. Shults V.A., Ibragimov B.S. Analiz metodov postroeniya bezopasnyh mikroprocessornyh sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki [Analysis of methods for constructing secure microprocessor systems of railway automation and telemechanics]. *Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikatsij im. M. Tynyshpaeva* [Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tonshaev]. 2012, No. 3 (76), pp. 39–44.
14. Menaker K.V., Kalpin M.B., Marinenko A.V. Issledovanie bezopasnyh ustrojstv vvoda informacii o sostoyanii relejnyh datchikov na osnove parafaznyh signalov [Investigation of safe devices for entering information about the status of relay sensors based on paraphase signals]. *Molodaya nauka Sibiri* [Youth Science of Siberia], 2021, No. 1(11), pp. 301–307.
15. Akimov V.A., Alekseenko V.A., Ahmethanov R.S. Bezopasnost' Rossii. Tematicheskij blok «Bezopasnost' zheleznodorozhnogo transporta». V 2 t. T. 2. Bezopasnost' zheleznodorozhnogo transporta v usloviyah Sibiri i Severa [Safety of Russia. Thematic block «Safety of railway transport». In 2 vols. Vol. 2. Safety of railway transport in Siberia and the North]. Moscow: MGOF «Znanie» Publ., 2014. 856 p.
16. Sisin V.A., Shapran F.V. Elektromagnitnaya sovместimost' elektronnoj i elektrotehnicheskoy apparatury lokomotivov [Electromagnetic compatibility of electronic and electrical equipment of locomotives]. *Prakticheskaya silovaya elektronika* [Practical power electronics]. 2015, No. 4, pp. 47–51.
17. Kutsenko S.M., Klimov N.N., Muratov V.I. Osobennosti vliyaniya chastichnyh razryadov na bezopasnost' dvizheniya poezdov [Features of the influence of partial discharges on train safety]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region]. 2013, vol. 1, pp. 53–57.
18. Bel'kevich M.V., Pul'tyakov A.V., Alekseenko V.A., Lihota R.V. Povyshenie kachestva ekspluatatsii mikroprocessornyh ustrojstv [Improving the quality of operation of microprocessor devices]. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communications, computer science]. 2016, No. 1, pp. 24–27.
19. Pulyakov A.V., Arsentiev O.V., Kopanov M.V., Alexeenko V.A., Arsentiev G.O., Shtykin E.S. Study of the operation of high-frequency electrical plants of railway consumers. *Proceedings of the International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region (SibTrans-2019) 2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 760 (2020). DOI: 10.1088/1757-899X/760/1/012028.
20. Shamanov V.I., Pulyakov A.V., Trofimov Yu.A. Main electro-magnetic jammer sources with impact on the railroad automation systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 1661 (2020) 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012012.

Информация об авторах

Пультяков Андрей Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации, телемеханики и связи, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pulyakov@irgups.ru.

Менакер Константин Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: menkot@mail.ru.

Востриков Максим Викторович – старший преподаватель кафедры электроснабжения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: aspirin1979@mail.ru.

Орлов Александр Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры систем управления транспортной инфраструктурой, Российская открытая академия транспорта РУТ (МИИТ), г. Москва, e-mail: summerman1978@gmail.com.

Information about the authors

Andrej V. Pulyakov – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor Department of Automation, Remote Control and Communication. Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pulyakov@irgups.ru.

Konstantin V. Menaker – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: menkot@mail.ru.

Maxim V. Vostrikov – Senior Lecturer of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: aspirin1979@mail.ru.

Alexander V. Orlov – Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Infrastructure Management Systems, Russian Open Academy of Transport RUT (MIIT), Moscow, e-mail: summerman1978@gmail.com.