

УДК 625.1:681.5

Алгоритмы функционирования датчика осадков, интерфейс взаимодействия с системой обогрева и программная реализация

Бараусов Виктор Александрович¹

— руководитель проекта. Научные интересы: интеллектуальные противообледенительные системы, математические модели, интеллектуальные системы управления.
E-mail: barausovv@gmail.com

Бубнов Владимир Петрович²

— доктор техн. наук, профессор. Научные интересы: математические модели, интеллектуальные противообледенительные системы. E-mail: bubnov1950@yandex.ru

Забузов Вячеслав Сергеевич³

— кандидат техн. наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем и сетей. Научные интересы: повышение производительности микропроцессорных систем.
E-mail: zzvss80@mail.ru

Моисеев Владимир Иванович²

— доктор техн. наук, доцент. Профессор кафедры «Высшая математика». Научные интересы: интеллектуальные системы обогрева и теплоснабжения, математическое моделирование, методы оптимизации. E-mail: moiseev_v_i@list.ru

¹ Группа компаний «ИМСАТ», Россия, 190031, Санкт-Петербург, ул. Гражданская, д. 7, лит. А

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

³ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Россия, 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Для цитирования: Алгоритмы функционирования датчика осадков, интерфейс взаимодействия с системой обогрева и программная реализация / В. А. Бараусов, В. П. Бубнов, В. С. Забузов, В. И. Моисеев // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2026. № 3 (47). С. 35–43. DOI: 10.20295/2413-2527-2026-347-35-43

Аннотация. Рассматриваются алгоритмы функционирования датчика осадков, предназначенного для обнаружения снега и льда на элементах железнодорожной инфраструктуры. **Цель:** разработка, описание и программная реализация алгоритмов функционирования датчика осадков для автоматических систем обогрева стрелочных переводов. **Методы:** построены на дифференциальном анализе температурных сигналов двух чувствительных элементов с использованием плавающего окна фильтрации. **Результаты:** разработан интеллектуальный алгоритм обнаружения осадков с динамической конфигурацией параметров. Описаны принципы формирования управляющих сигналов, взаимодействие с системой автоматического обогрева стрелочных переводов, а также программная реализация алгоритмов на базе микроконтроллеров с использованием SD-карты и часов реального времени. **Практическая значимость:** заключается в реализации технического решения на объектах инфраструктуры, что позволит снизить энергопотребление систем обогрева за счет минимизации ложных срабатываний.

Ключевые слова: датчик осадков, обогрев стрелочных переводов, микроконтроллер, алгоритм, фильтрация, железнодорожная автоматика

2.9.8 — интеллектуальные транспортные системы (технические науки)

Введение

Обеспечение надежной работы железнодорожной инфраструктуры в зимний период требует своевременного обнаружения и устранения осадков в виде снега и наледи. Одним из ключевых элементов системы противообледенительной защиты является датчик осадков, способный точно определить наличие снежного или ледяного покрова и передать соответствующий сигнал в систему управления обогревом стрелочного перевода.

Исследование направлено на повышение надежности железнодорожной инфраструктуры в зимних условиях за счет интеллектуального управления обогревом стрелочных переводов на основе точного и адаптивного датчика осадков. Цель исследования заключается в создании универсального алгоритма, который способен дифференцированно распознавать наличие снега и льда, адаптироваться к изменениям внешней среды и управлять исполнительными механизмами в реальном времени.

Постановка задачи

Задачей исследования является разработка интеллектуального алгоритма обнаружения осадков для систем автоматического обогрева стрелочных переводов, обеспечивающего повышение надежности железнодорожной инфраструктуры в зимний период эксплуатации. Для этого необходимо:

1. Разработать дифференциальный метод анализа температурных сигналов на основе двух синхронно работающих чувствительных элементов с временным сдвигом нагрева, позволяющий выделять полезный сигнал на фоне внешних температурных шумов.
2. Создать адаптивный алгоритм фильтрации данных с использованием скользящего окна измерений, обеспечивающий устойчивость показаний к кратковременным помехам и плавное отслеживание изменений метеорологических условий.
3. Обосновать комбинированный критерий принятия решения о наличии осадков, учитывающий как абсолютные значения температур, так и динамику их изменения во времени.
4. Реализовать механизм динамической конфигурации параметров алгоритма через внеш-

нюю SD-карту без необходимости перепрошивки микроконтроллера.

5. Разработать систему документирования рабочих параметров с временной привязкой для последующего анализа и диагностики работы датчика.

6. Спроектировать универсальные интерфейсы взаимодействия с системами управления обогревом на основе стандартных промышленных протоколов связи.

Решение указанных задач позволит создать энергоэффективную систему обнаружения осадков, способную минимизировать ложные срабатывания и оптимизировать энергопотребление систем обогрева стрелочных переводов.

Конструкция и принцип действия датчика осадков

Датчик состоит из двух чувствительных элементов (ЧЭ1 и ЧЭ2), конструктивно идентичных и теплоизолированных друг от друга [1, 2]. Каждый элемент включает теплопроводную пластину, встроенный температурный датчик и нагревательный элемент. Оба ЧЭ расположены горизонтально и подвержены одинаковому атмосферному воздействию. Отличие заключается в том, что нагреватель второго ЧЭ включается с временной задержкой Δt .

Алгоритм функционирования датчика осадков

Работа датчика включает в себя следующие этапы:

1. Предварительные действия.
2. Начало.
3. Измерения.
4. Нагрев.
5. Анализ/Решение. На основе полученных температур вычисляется скользящее среднее разности температур (ΔT_{avg}) с использованием адаптивного алгоритма фильтрации. Это значение сравнивается с пороговыми значениями (TRESHOLD_1, TRESHOLD_2). Логический блок на основе комбинированного критерия принимает решение о наличии осадков.
6. Сброс/Цикл.

Графическая блок-схема, отражающая последовательность этапов работы алгоритма, приведена на рисунке.

Способы передачи информации

Выходной сигнал от датчика может быть передан в систему автоматического обогрева стрелочного перевода следующими способами:

- по проводной связи через цифровой канал (UART, RS-485);
- с использованием радиоканала при отсутствии кабельной инфраструктуры;
- посредством протокола Modbus для взаимодействия с промышленными контроллерами [3];
- через лог-файл с периодической выгрузкой по сети или по команде оператора.

Программная реализация

Для реализации алгоритмов использован микроконтроллер Arduino MEGA 2560 [4] с внешними модулями, что соответствует современным подходам к построению систем мониторинга инженерной инфраструктуры [3]:

- часами реального времени (DS1307 [5]) для метки времени измерений;
- картой MicroSD для хранения параметров конфигурации и журнала логов;
- аналоговыми входами АЦП для считывания температуры;
- цифровыми выходами для управления нагревателями.

Программа реализует непрерывный цикл измерений с частотой 10 Гц. В начале выполнения

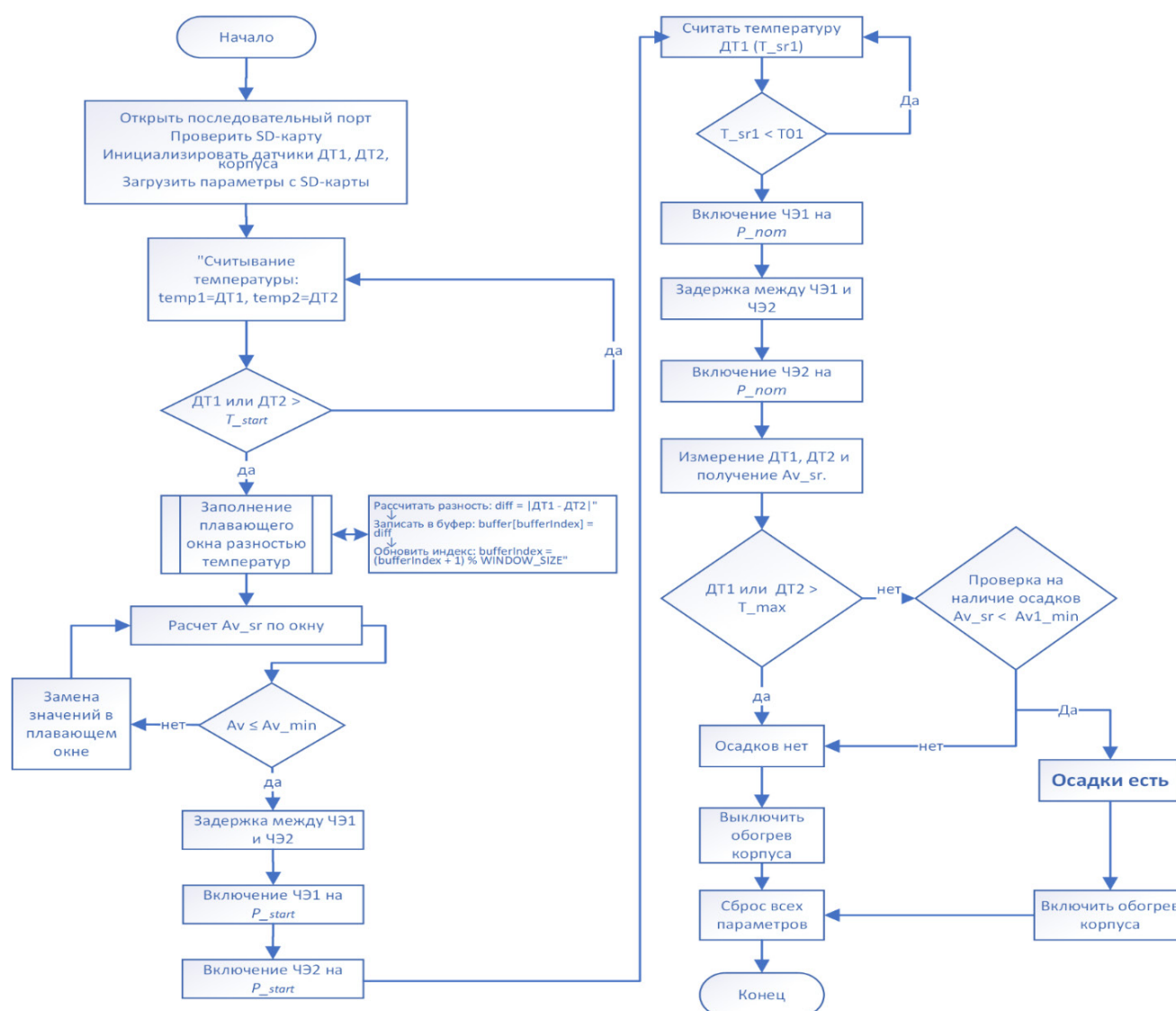


Рисунок. Графическая блок-схема работы алгоритма

осуществляется инициализация всех подключенных модулей. Инициализация SD-карты производится с помощью библиотеки SD:

```
#include <SD.h>
File logFile;
void initSDCard() {
    if (! SD.begin(SD_CS_PIN)) {
        Serial.println(«Ошибка инициализации
        SD-карты!»);
        while (1); // Остановка при ошибке
    }
    Serial.println(«SD-карта инициализиро-
    вана.»);
}
```

Инициализация часов реального времени (RTC) DS1307 выполняется с использованием библиотеки RTCLib [5]:

```
#include <RTCLib.h>
RTC_DS1307 rtc;
void initRTC() {
    if (!rtc.begin()) {
        Serial.println(«Не удалось найти мо-
        дуль RTC»);
        while (1);
    }
    if (!rtc.isrunning()) {
        Serial.println(«RTC не запущен,
        установка текущего времени»);
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__),
        F(__TIME__)));
    }
}
```

Конфигурационные параметры считываются из файла config.txt, расположенного на SD-карте. Пример реализации чтения конфигурационного файла:

```
#define MAX_WINDOW_SIZE 100
int windowSize = 10
void loadConfig() {
    File configFile = SD.open("config.txt");
    if (configFile) {
        while (configFile.available()) {
            String line = configFile.
            readStringUntil('\n');
            if (line.startsWith("TRESHOLD_1="))
            {
```

```
TRESHOLD_1 = line.substring(11).
toFloat();
        } else if (line.
        startsWith("TRESHOLD_2=")) {
            TRESHOLD_2 = line.substring(11).
            toFloat();
        } else if (line.startsWith("WINDOW_
        SIZE=")) {
            windowSize = line.substring(12).
            toInt();
        }
        // Можно добавить другие параметры
    }
    configFile.close();
} else {
    Serial.println("Не удалось открыть
    config.txt");
}
}
```

Этот подход позволяет изменять поведение алгоритма без перекомпиляции прошивки, что удобно для отладки и эксплуатации [6]. Пример файла config.txt:

```
TRESHOLD_1=0.7
TRESHOLD_2=1.5
WINDOW_SIZE=10
DELAY_MS=3000
T_SHELL_MAX=40.0
```

Каждый параметр задается в формате «ключ — значение». Параметры могут быть расширены в зависимости от требований системы. Алгоритм управления нагревателями и анализа данных строго соответствует изложенному в технической документации.

Структура основной части программы на языке C++:

```
void loop() {
    float temp1 = readTemperature(TEMP1_
    PIN);
    float temp2 = readTemperature(TEMP2_
    PIN);
    float tempShell = readTemperature(TEMP_
    SHELL_PIN);
    updateBuffers(temp1, temp2);
    bool osadki = false;
```

```

if ((temp1 > TRESHOLD_2 || temp2 >
TRESHOLD_2) && diff_avg < TRESHOLD_1) {
    osadki = true;
}
if (osadki) {
    digitalWrite(HEATER1_PIN, HIGH);
    delay(DELAY_MS);
    digitalWrite(HEATER2_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(HEATER1_PIN, LOW);
    digitalWrite(HEATER2_PIN, LOW);
}
if (tempShell > T_SHELL_MAX) {
    digitalWrite(HEATER_SHELL_PIN, LOW);
} else {
    digitalWrite(HEATER_SHELL_PIN,
HIGH);
}
logData(temp1, temp2, tempShell,
osadki);
delay(100);
}

```

Функция `readTemperature()` считывает значение АЦП и переводит его в температуру. Пример реализации:

```

float readTemperature(uint8_t pin) {
    int raw = analogRead(pin);
    float voltage = raw * (5.0 / 1023.0);
    // пересчет в напряжение
    float temperature = (voltage - 0.5) *
100.0; // преобразование в °C
    return temperature;
}

```

Функция `updateBuffers()` реализует скользящее окно и вычисление средней разности температур между ЧЭ1 и ЧЭ2. Она обновляет массивы последних N измерений и пересчитывает `diff_avg`. Пример реализации:

```

float buffer1[MAX_WINDOW_SIZE];
float buffer2[MAX_WINDOW_SIZE];
int bufferIndex = 0;
void updateBuffers(float t1, float t2) {
    buffer1[bufferIndex] = t1;
    buffer2[bufferIndex] = t2;
}

```

```

bufferIndex = (bufferIndex + 1) %
windowSize;
float sum = 0;
for (int i = 0; i < windowSize; i++) {
    sum += abs(buffer1[i] - buffer2[i]);
}
diff_avg = sum / windowSize;
}

```

Функция `logData()` сохраняет измеренные данные и результат диагностики осадков на SD-карту в формате CSV:

```

void logData(float t1, float t2, float
tShell, bool osadki) {
    DateTime now = rtc.now();
    logFile = SD.open("log.csv", FILE_
WRITE);
    if (logFile) {
        logFile.print(now.timestamp());
        logFile.print(",");
        logFile.print(t1);
        logFile.print(",");
        logFile.print(t2);
        logFile.print(",");
        logFile.print(tShell);
        logFile.print(",");
        logFile.println(osadki? «1»: «0»);
        logFile.close();
    }
}

```

Файл `log.csv` содержит следующие поля:

- временная метка (дата и время);
- температура чувствительного элемента 1 (ЧЭ1);
- температура чувствительного элемента 2 (ЧЭ2);
- температура корпуса;
- признак наличия осадков (1 — да, 0 — нет).

Пример содержимого файла `log.csv`:

```

2025-07-09T10:00:00,1.25,1.10,3.55,1
2025-07-09T10:00:01,1.22,1.05,3.50,1
2025-07-09T10:00:02,1.18,1.03,3.48,0

```

Структура файловой системы SD-карты:

/SD-карта

└─ config.txt ← Конфигурационный файл
(пороговые значения, параметры окна, за-
держки)

```
└─ log.csv ← Журнал измерений и событий
(CSV-формат)
└─ backup/ ← (опционально) Архивные
логи по дням
```

```
└─ log_2025_07_08.csv
└─ log_2025_07_07.csv
└─ ...
```

Такая структура позволяет удобно управлять настройками и архивировать данные при длительной эксплуатации системы [6]. Конфигурация читается при старте, а логи могут копироваться вручную или автоматически при подключении к компьютеру. Результат диагностики осадков записывается на SD-карту в формате CSV:

```
void logData(float t1, float t2, float
tShell, bool osadki) {
    DateTime now = rtc.now();
    logFile = SD.open("log.csv", FILE_
WRITE);
    if (logFile) {
        logFile.print(now.timestamp());
        logFile.print(",");
        logFile.print(t1);
        logFile.print(",");
        logFile.print(t2);
        logFile.print(",");
        logFile.print(tShell);
        logFile.print(",");
        logFile.println(osadki? «1»: «0»);
        logFile.close();
    }
}
```

Этот журнал используется для диагностики и анализа условий, при которых фиксировались осадки.

Интерфейс взаимодействия с системой обогрева

Для эффективной интеграции датчика осадков в систему автоматического обогрева стрелочных переводов разработан универсальный интерфейс взаимодействия. Он обеспечивает передачу диагностической информации, управляющих сигналов и контрольных параметров между микроконтроллером датчика и контроллером обогрева. Возможны следующие уровни реализации [7, 8]:

1. Физический уровень.

- проводное подключение (двухпроводной RS-485 или однопроводной UART);
- беспроводное подключение по радиоканалу (например, на базе модуля LoRa или ZigBee).

2. Протокольный уровень.

- протокол Modbus RTU (в режиме slave) — микроконтроллер датчика предоставляет регистры с текущими значениями температур, признаками осадков и системным статусом [3, 8];

- упрощенный протокол передачи по UART: строка формата YYMMDD, HHMMSS, T1, T2, TS, OS (время, температуры, признак осадков).

Информационные параметры, передаваемые в систему управления:

- T1 — температура ЧЭ1;
- T2 — температура ЧЭ2;
- TSHELL — температура корпуса;
- OSADKI — флаг наличия осадков (bool);
- ERROR_FLAG — флаг неисправности.

Функциональные команды, получаемые от контроллера:

- SET_CONFIG — команда на перезагрузку параметров конфигурации;
- FORCE_HEAT_ON/FORCE_HEAT_OFF — принудительное управление обогревом;
- REQUEST_LOG — передача фрагмента лога.

Пример команды обмена (UART):

- от датчика: 240709_103000,1.25,1.10,3.55,1;
- от контроллера: SET_CONFIG.

Интерфейс может быть реализован как в виде прямой передачи по последовательному порту, так и в составе SCADA-систем, объединяющих множество датчиков в централизованной системе мониторинга.

Эффективный метод дифференциального анализа с плавающим окном фильтрации

Предложенный метод анализа температурных сигналов основывается на дифференциальной обработке данных с двух чувствительных элементов, один из которых включается с задержкой. Это позволяет оценить влияние осадков на теплопередачу.

Суть метода заключается в следующем:

1. Температуры двух элементов (T_1 и T_2) изменяются синхронно, но один элемент (ЧЭ2) нагревается с временной задержкой Δt по сравнению с другим (ЧЭ1).

2. Разность температур $\Delta T_i = |T_{1,i} - T_{2,i}|$ анализируется во времени.

3. Используется плавающее окно фильтрации: последние N значений ΔT_i сохраняются в буфере.

4. Вычисляется скользящее среднее разностей температур — это и есть основной диагностический параметр [2]:

$$\Delta T_{\text{avg}} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |T_{1,i} - T_{2,i}|.$$

5. При наличии осадков теплопередача между ЧЭ и окружающей средой изменяется (особенно для снега и льда), и это отражается в меньшей температурной разнице между ЧЭ1 и ЧЭ2.

Преимущества метода:

- устойчивость к шуму и кратковременным помехам за счет усреднения;
- возможность адаптации под разные климатические условия за счет настройки параметров окна и порогов;

- легкость реализации на микроконтроллерах с малым объемом памяти.

Таким образом, метод позволяет надежно фиксировать наличие осадков, повышая точность системы управления обогревом стрелок в реальных эксплуатационных условиях [9].

Заключение

Предложенное решение обладает научной новизной, заключающейся в использовании комбинированного критерия на основе дифференциального анализа температур чувствительных элементов, а также в реализации адаптивного алгоритма с возможностью конфигурации параметров без перепрошивки устройства. Практическая значимость заключается в интеграции предложенного метода в системы автоматического управления стрелочным обогревом, обеспечивая снижение энергопотребления, повышение надежности и сокращение эксплуатационных расходов. Разработанная программная архитектура может быть адаптирована под различные аппаратные платформы и расширена с учетом дополнительных факторов окружающей среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Способ и устройство обнаружения обледенения или снега на контролируемой поверхности: патент № 2685631 Российская Федерация, МПК E01B 7/00 (2006.01), E01B 19/00 (2006.01), E01H 8/08 (2006.01), B64D 15/20 (2006.01). № 2018125617 / Селянин С. Г.; заявители Бараусов В. А., Григорьев П. В.; заявл. 11.07.2018; опубл. 22.04.2019. 20 с.
2. Способ и устройство определения толщины льда на рабочей поверхности датчика обледенения: патент № 2763473 Российская Федерация, МПК B64D 15/20 (2006.01), E01B 7/24 (2006.01), E01B 19/00 (2006.01), E01H 8/08 (2006.01). № 2021115157 / Бараусов В. А., Григорьев П. В., Семенов А. Г.; заявители Бараусов В. А., Григорьев П. В.; заявл. 26.05.2021; опубл. 29.12.2021. 21 с.
3. Аналитический обзор современных микроконтроллеров в системах управления / К. Д. Черепанов [и др.] // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 6. 5 с. DOI: 10.17513/msnv.21077
4. SD Library — Arduino Documentation. URL: <http://www.arduino.cc/en/Reference/SD> (дата обращения: 05.05.2026).
5. Adafruit RTCLib. URL: <http://github.com/adafruit/RTCLib> (дата обращения: 05.05.2026).
6. Алгоритмы фильтрации шумов в цифровых сигналах / О.Л. Балышева [и др.] // Флагман науки. 2025. № 1 (24). С. 304–308.
7. Бубнов В. П., Бараусов В. А., Султонов Ш. Х. Анализ датчиков автоматической системы обогрева стрелочных переводов // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 4. С. 8–11. DOI: 10.34649/AT.2022.4.4.002
8. ГОСТ Р 59263-2020. Системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики микропроцессорные. Требования к интерфейсам и протоколам обмена информацией = Microprocessor systems and devices of railway

automatics and telematics. Requirements for interfaces and information exchange protocols: национальный стандарт Российской Федерации: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2020 г. № 1317-ст: дата введения: 2021-06-01. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с.

9. Испытательный стенд, результаты проведения испытаний датчика обледенения / В. П. Бубнов, В. А. Бараусов, В. С. Забузов, Ш. Х. Султонов // Автоматика на транспорте. 2022. Т. 8, № 3. С. 276–286. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-276-286

Дата поступления: 22.05.2026

Решение о публикации: 27.08.2026

Algorithms for Precipitation Sensor Operation, Interface for Interaction with the Heating System, and Software Implementation

- Viktor A. Barausov**¹ — Project Manager. Research interests: intelligent anti-icing systems, mathematical modeling, intelligent control systems. E-mail: barausovv@gmail.com
- Vladimir P. Bubnov**² — Dr. Sci. in Engineering, Full Professor. Research interests: mathematical models, intelligent anti-icing systems. E-mail: bubnov1950@yandex.ru
- Vyacheslav S. Zabuzov**³ — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems and Networks. Research interests: improving the performance of microprocessor systems. E-mail: zzvss80@mail.ru
- Vladimir I. Moiseev**² — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor. Professor of the “Higher Mathematics” Department. Research interests: intelligent heating and heat supply systems, mathematical modeling, optimization methods. E-mail: moiseev_v_i@list.ru

¹ IMSAT Group LLC, 7 Grazhdanskaya str., Saint Petersburg, 190031, Russia

² Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

³ Mozhaisky Military Aerospace Academy, 13 Zhdanovskaya str., Saint Petersburg, 197198, Russia

For citation: Barausov V. A., Bubnov V. P., Zabuzov V. S., Moiseev V. I. Algorithms for Precipitation Sensor Operation, Interface for Interaction with the Heating System, and Software Implementation, *Intellectual Technologies on Transport*, 2026, no. 3 (47), pp. 35–43. DOI: 10.20295/2413-2527-2026-347-35-43 (In Russian)

Abstract. *The paper considers operating algorithms for a precipitation sensor designed to detect snow and ice on railway infrastructure elements. **Purpose:** to develop, describe and implement in software the operating algorithms of a precipitation sensor for automatic heating systems of railway turnouts. **Methods:** the algorithms are based on differential analysis of temperature signals from two sensing elements using a sliding filtering window. **Results:** an intelligent precipitation detection algorithm with dynamic parameter configuration has been developed. The principles of generating control signals, interaction with the automatic heating system for railway turnouts, and software implementation of the algorithms on microcontroller-based hardware using an SD card and a real-time clock are described. **Practical significance:** the proposed technical solution can be implemented at infrastructure facilities and will make it possible to reduce the energy consumption of heating systems by minimizing false alarms.*

Keywords: precipitation sensor; turnout heating; microcontroller; algorithm; filtering; railway automation

REFERENCES

1. Selyanin S. G. Patent RU 2685631 C1. Sposob i ustroystvo obnaruzheniya obledeneniya ili snega na kontroliruemoy poverkhnosti [Method and Device of Detecting Icing or Snow on a Controlled Surface], patent RU No. 2685631, published at April 22, 2019, 20 p. (In Russian)
2. Barausov V. A., Grigorev P. V., Semenov A. G. Sposob i ustroystvo opredeleniya tolshchiny lda na rabochey poverkhnosti datchika obledeneniya [Method and Device for Determining Ice Thickness on the Working Surface of Ice-Formation Sensor], patent RU No. 2763473, published at December 29, 2021, 21 p. (In Russian)
3. Cherepanov K. D., et al. Analiticheskiy obzor sovremennykh mikrokontrollerov v sistemakh upravleniya [Analytical Review of Modern Microcontrollers in Control Systems], *Mezhdunarodnyy Studencheskiy Nauchnyy Vestnik*, 2022, no. 6, 5 p. DOI: 10.17513/msnv.21077 (In Russian)
4. SD Library — Arduino Documentation. Available at: <http://www.arduino.cc/en/Reference/SD> (accessed: May 05, 2026).
5. Adafruit RTCLib. Available at: <http://github.com/adafruit/RTCLib> (accessed: May 05, 2026).
6. Balysheva O. L., et al. Algoritmy filtratsii shumov v tsifrovyykh signalakh [Algorithms Filtering for Noise in Digital Signals], *Flagman Nauki*, 2025, no. 1 (24), pp. 304–308.
7. Bubnov V. P., Barausov V. A., Sultonov Sh. Kh. Analiz datchikov avtomaticheskoy sistemy obogreva strelochnykh perevodov [Analysis of Sensors of Automatic Heating System of Switches], *Avtomatika, svyaz, informatika [Automation, Communication, Informatics]*, 2022, no. 4, pp. 8–11. DOI: 10.34649/AT.2022.4.4.002 (In Russian)
8. GOST R 59263-2020. Sistemy i ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki mikroprotsessornye. Trebovaniya k interfeysam i protokolam obmena informatsiy [GOST R 59263-2020. Microprocessor systems and devices of railway automatics and telemechanics. Requirements for interfaces and information exchange protocols]. Effective from June 01, 2021. Moscow, Standartinform Publishing House, 2020, 15 p. (In Russian)
9. Bubnov V. P., Barausov V. A., Zabuzov V. S., Sultonov Sh. Kh. Ispytatelnyy stand, rezultaty provedeniya ispytaniy datchika obledeneniya [Test Bench, Ice Sensor Test Results], *Avtomatika na transporte [Transport Automation Research]*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 276–286. DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-03-276-286 (In Russian)

Received: May 22, 2026

Accepted: August 27, 2026