2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

УДК: 631.624.004.021

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОДЫ

ХУРРАМОВА РАЪНО ИБРАГИМОВНА
доцент Ташкентский университет информационных технологии
E-mail: avtomatika_7991@mail.ru

Аннотация. В статье представлен подход к автоматизации экологической оценки водотоков с использованием TDS/EC-датчиков для измерения электропроводности воды. Рассмотрены аппаратные и программные решения на базе Arduino/ESP32, способы передачи данных в облако, визуализация и анализ. Приведена практическая схема подключения датчиков и пример кода для непрерывного мониторинга качества воды. Данный подход позволяет получать точные данные в реальном времени, прогнозировать экологические риски и оптимизировать водопользование.
Ключевые слова: экологическая оценка, водотоки, TDS-датчик, EC-датчик, Arduino, автоматизация, мониторинг воды, электропроводимость воды, экологический мониторинг, система управления, качество воды.

Annotatsiya. Maqolada suv oqimlarining ekologik holatini baholashni avtomatlashtirishda suvning elektr o‘tkazuvchanligini o‘lchash uchun TDS/EC datchiklaridan foydalanish yondashuvi bayon etilgan. Arduino/ESP32 platformalari asosida apparat va dasturiy yechimlar, ma’lumotlarni bulutli platformaga uzatish, vizualizatsiya qilish va tahlil usullari ko‘rib chiqilgan. Datchiklarni ulashning amaliy sxemasi hamda suv sifatini uzluksiz monitoring qilish uchun dastur kodi namunasi keltirilgan. Mazkur yondashuv real vaqt rejimida ma’lumotlarni olish, ekologik xavflarni prognozlash va suv resurslaridan foydalanishni optimallashtirish imkonini beradi.
Kalit so‘zlar: ekologik baholash, suv oqimlari, TDS datchigi, EC datchigi, Arduino, avtomatlashtirish, suv monitoringi, suvning elektr o‘tkazuvchanligi, ekologik monitoring, boshqaruv tizimi, suv sifati.

Abstract. The article presents an approach to automating the ecological assessment of watercourses using TDS/EC sensors to measure the electrical conductivity of water. Hardware and software solutions based on Arduino/ESP32 platforms, methods for transmitting data to cloud services, as well as data visualization and analysis techniques are discussed. A practical sensor connection diagram and a sample code for continuous water quality monitoring are provided. This approach enables real-time data acquisition, the prediction of environmental risks, and the optimization of water resource management.
Keywords: ecological assessment, watercourses, TDS sensor, EC sensor, Arduino, automation, water monitoring, electrical conductivity of water, environmental monitoring, control system, water quality.

ВВЕДЕНИЕ

Вода является ключевым природным ресурсом, и качество водотоков напрямую влияет на здоровье экосистем и человека. Одним из важных показателей состояния воды является электропроводимость (EC), которая отражает концентрацию растворённых ионов, включая соли и загрязняющие вещества. Современные технологии позволяют автоматизировать мониторинг водных объектов, используя доступные микроконтроллеры, такие как Arduino [1]. Автоматизированные системы обеспечивают регулярный сбор данных, сокращают затраты на лабораторный анализ и повышают оперативность экологической оценки. Мониторинг качества водотоков является важной задачей для сохранения

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

экосистем, обеспечения водоснабжения и контроля загрязнений [2]. Традиционные лабораторные методы трудоёмки и не обеспечивают непрерывного контроля. Автоматизация с использованием TDS/EC-датчиков позволяет измерять концентрацию растворённых веществ и электропроводность воды в режиме реального времени. Совмещение датчиков с микроконтроллерами Arduino/ESP32 и облачными платформами обеспечивает сбор, обработку и визуализацию данных, а также предупреждение о превышении допустимых норм [3].

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Цель исследования - разработка и тестирование автоматизированной системы измерения электропроводимости воды на базе Arduino для экологического мониторинга водотоков. Основные задачи:

1. Определение требований к системе мониторинга водотоков.
2. Разработка схемы и программного обеспечения для Arduino для измерения электропроводимости [4].
3. Тестирование точности и надёжности измерений.
4. Анализ возможности интеграции системы в автоматизированные сети контроля качества воды. Создать систему сбора данных о водотоках с использованием TDS/EC-датчика и Arduino.
5. Разработать алгоритм расчёта индексов качества воды и автоматического оповещения. Продемонстрировать практическую реализацию системы для малых и средних водотоков [5].

Решение задач. Сбор данных TDS/EC-датчик измеряет электропроводность воды, DS18B20 – температуру. Передача данных ESP32 отправляет информацию на облако для хранения и анализа (рис.1) [6].

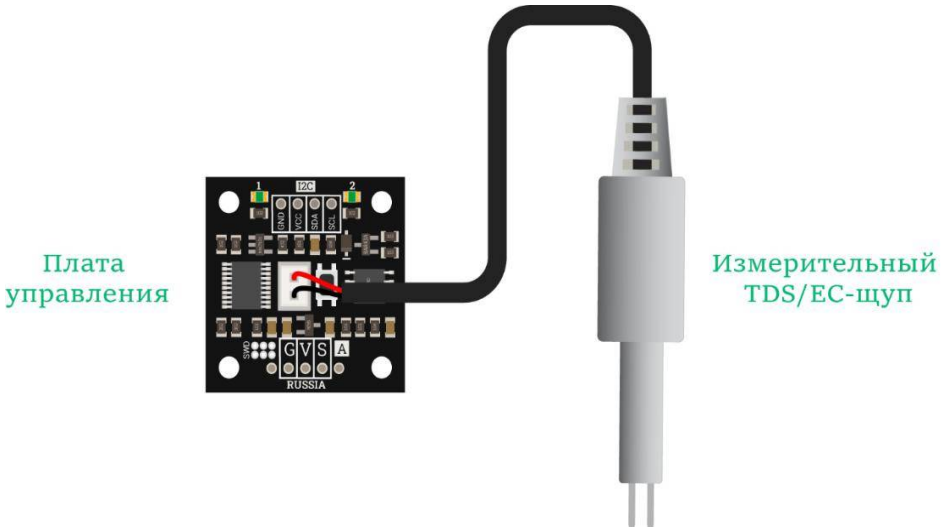


Рис.1. TDS/EC-датчик электропроводности воды

Модуль - TDS/EC-метр, FLASH-I2C - является устройством для измерения общего количества растворённых твердых веществ в воде и её удельной электрической проводимости [7].

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

Таблица1

Основные характеристики EC-датчика

Параметр	Значение
Диапазон измерений	0-20 мС/см
Разрешение	0,01 мС/см
Точность	±2%
Интерфейс	Аналоговый выход (AO), цифровой (DO)
Напряжение питания	5 В DC
Ток потребления	~10-20 мА
Рабочая температура	0-80 °C

Модуль построен на базе микроконтроллера STM32F030F4 и двух операционных усилителях LMC7101, и LM358, снабжён кнопкой калибровки, светодиодами информирующими о стадии калибровки, и собственным стабилизатором напряжения (рис.2) [8].

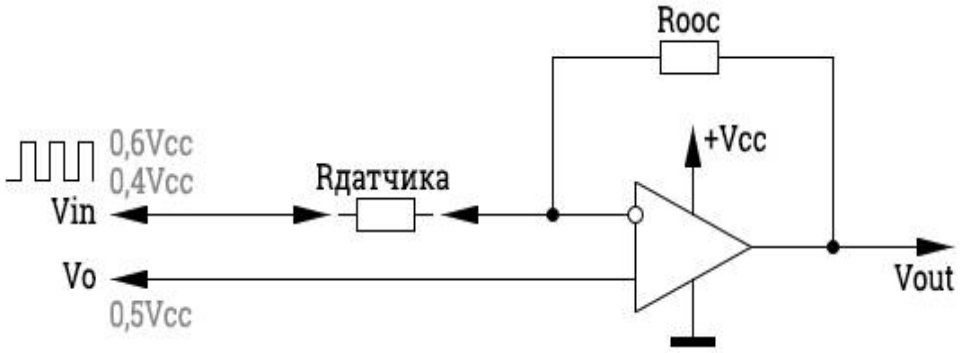


Рис.2. Измерительная часть схемы модуля

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Модуль способен работать как TDS-метр для определения общего количества растворённых твердых веществ в воде от 0 до 10,000 ppm (1ppm = 1мг/л воды). Так и в качестве EC-метра для определения удельной электрической проводимости жидкости от 0 до 20,000 мСм/см. Модуль способен работать с различными датчиками (щупами), подключаемыми к колодке в центре платы (рис.3) [9].

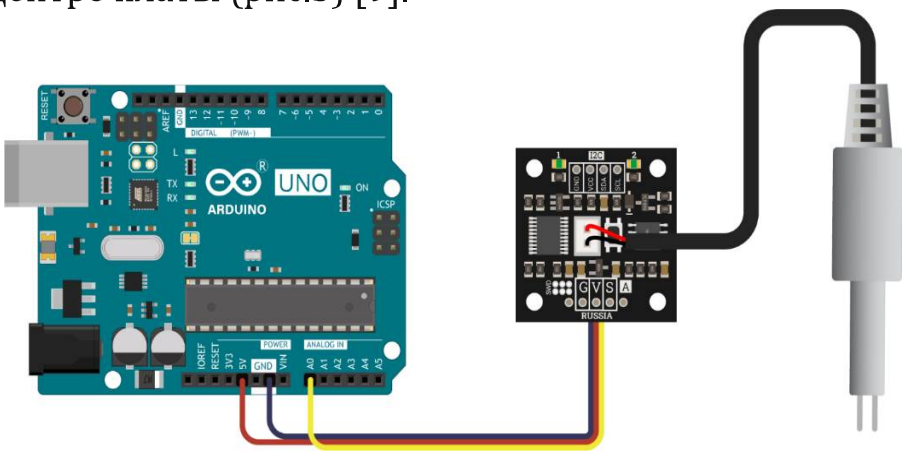


Рис.3. Схема подключение TDS/EC-датчика электропроводности воды к Arduino

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

Управление модулем осуществляется по шине I2C, а чтение показаний модуля можно осуществлять, либо по шине I2C, либо по аналоговому выходу модуля.

К одной шине I2C можно подключить более 100 модулей. Адрес модуля на шине I2C (по умолчанию 0x09) назначается программно и хранится в его энергонезависимой памяти (рис.4) [10].

Таблица2

Код Arduino для измерения электропроводности воды

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
const int ECPin = A0;
const int chipSelect = 10;
const int oneWireBus = 2;
const int numSamples = 10;
const float ECThreshold = 2.0;
const float voltageRef = 5.0;
const int analogMax = 1023;
const float EC_Coefficient = 1.0;
OneWire oneWire(oneWireBus);
DallasTemperature
sensors(&oneWire);
float ecSamples[numSamples];
int sampleIndex = 0;
void setup() {
 Serial.begin(9600);
 sensors.begin();
 for (int i = 0; i < numSamples; i++)
ecSamples[i] = 0;
 if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Ошибка
инициализации SD-карты!");
 } else {
  Serial.println("SD-карта готова.");
 }
}
void loop() {
 sensors.requestTemperatures();
 float temperatureC =
sensors.getTempCByIndex(0);
 int sensorValue =
analogRead(ECPin);
 float voltage = sensorValue *
voltageRef / analogMax;
 float ecRaw = voltage *
EC_Coefficient;
 ecSamples[sampleIndex] = ecRaw;
 sampleIndex = (sampleIndex + 1) %
numSamples;
 float ecSum = 0;
 for (int i = 0; i < numSamples; i++)
ecSum += ecSamples[i];
 float ecFiltered = ecSum /
numSamples;
 Serial.print("Температура (°C): ");
 Serial.print(temperatureC);
 Serial.print(" | EC (мС/см): ");
 Serial.println(ecFiltered);
 if (ecFiltered > ECThreshold) {
  Serial.println("ВНИМАНИЕ: EC
превышен!");
 }
 File dataFile =
SD.open("EC_data.csv",
FILE_WRITE);
 if (dataFile) {
  dataFile.print(millis());
  dataFile.print(",");
  dataFile.print(temperatureC);
  dataFile.print(",");
  dataFile.println(ecFiltered);
  dataFile.close();
 } else {
  Serial.println("Ошибка записи на
SD-карту.");
 }
 delay(5000); // Интервал
измерений 5 секунд
}
```

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

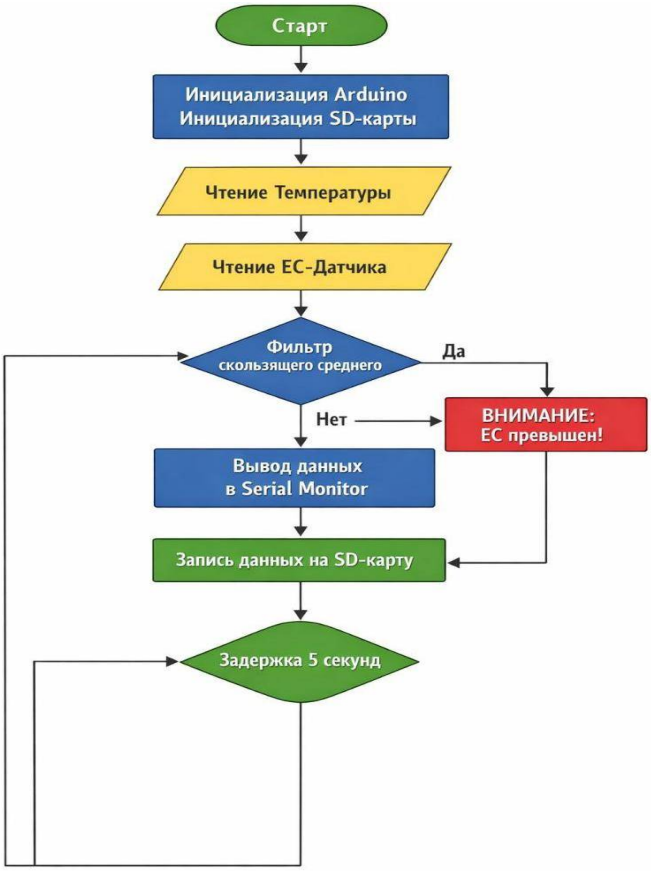


Рис.4. Блок-схема алгоритма управления объекта

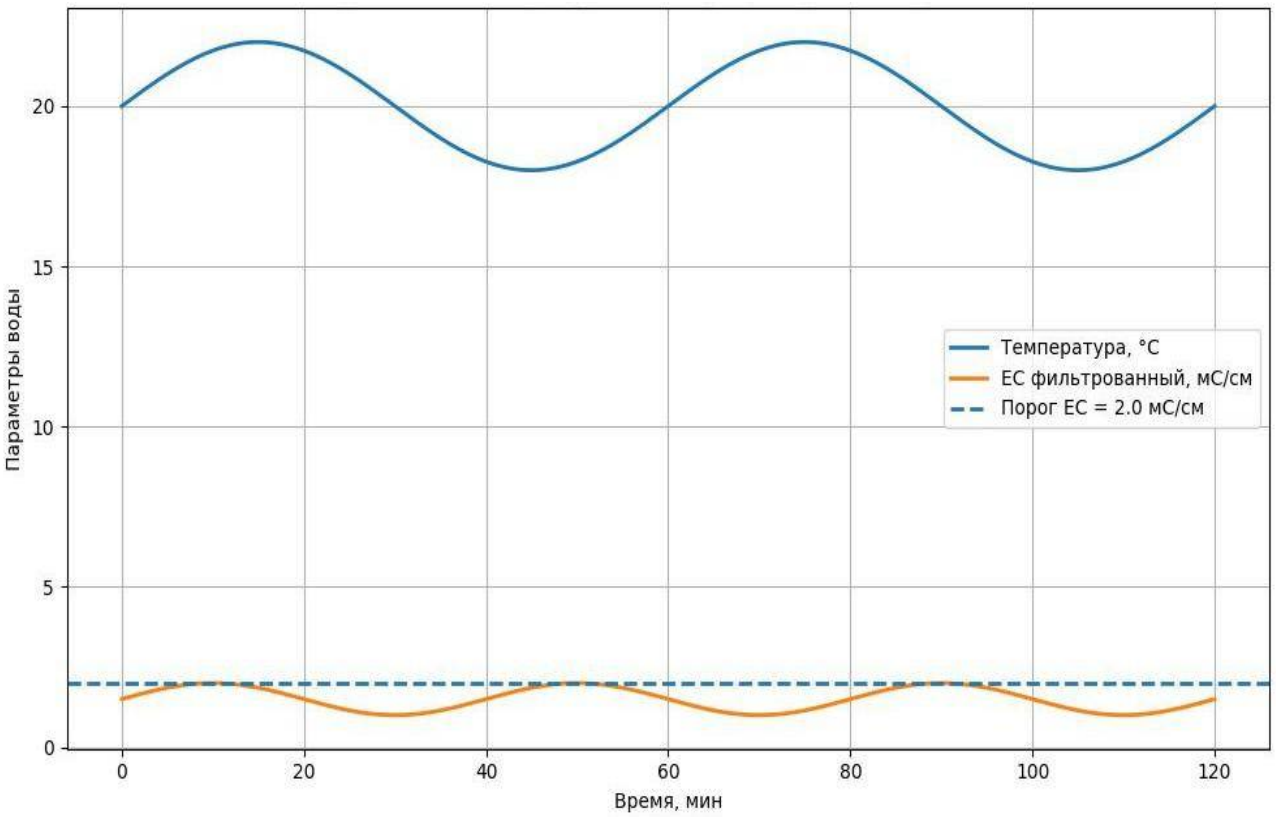


Рис.5. Динамика температуры и электропроводности водотока

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

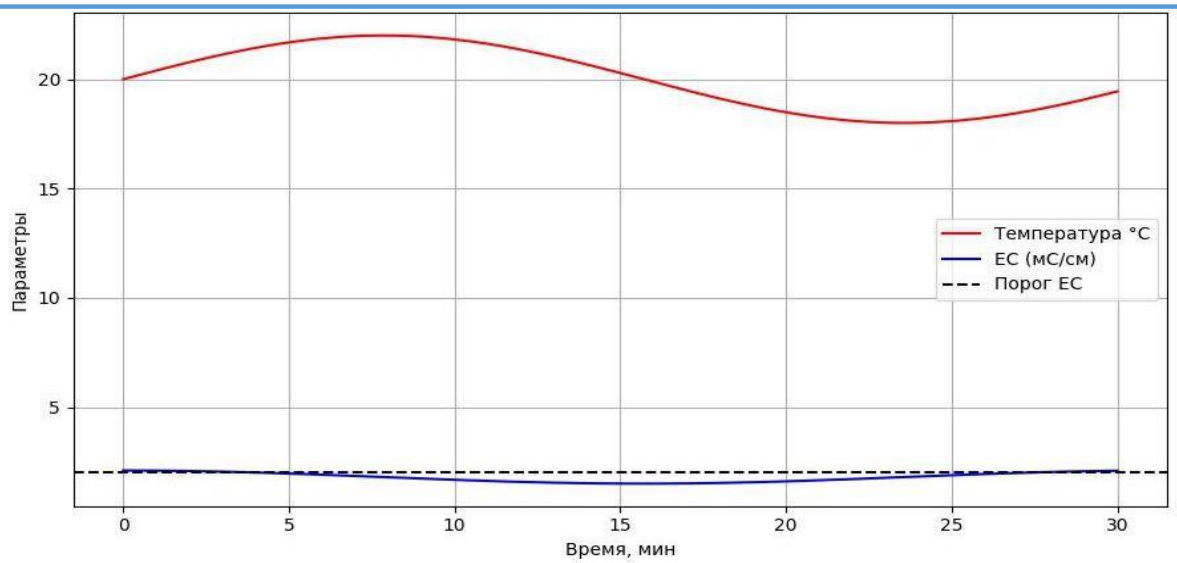


Рис.6. Динамика температуры и электропроводности

АНАЛИЗЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическая модель мониторинга водотоков по электропроводимости.

Электропроводимость (EC) воды зависит от концентрации растворенных ионов. Основная формула для перевода напряжения с датчика в EC:

$$EC = k * U_{EC} \quad (1)$$

где:

EC - электропроводимость в мС/см;

U_{EC} - напряжение с аналогового выхода EC-датчика;

k - калибровочный коэффициент, зависящий от датчика и температуры воды.

Напряжение с Arduino вычисляется через АЦП:

$$U_{EC} = \frac{ADC}{2^n - 1} * U_{опор} \quad (2)$$

где:

ADC - значение с аналогового входа (0 - 1023 для Arduino 10-бит);

n = 10 - разрядность АЦП;

$U_{опор}$ - опорное напряжение (5 В для Arduino Uno).

Температурная коррекция EC

Электропроводимость сильно зависит от температуры. Коррекция вычисляется как:

$$EC_{20} = \frac{EC}{1 + \alpha * (T - 20)} \quad (3)$$

где:

EC_{20} - приведенная к 20°C электропроводимость;

$\alpha \approx 0{,}02$ 1/°C - температурный коэффициент;

T - температура воды в °C.

Фильтр скользящего среднего.

Для сглаживания шумов используется скользящее среднее:

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

$$\overline{EC_n} = \frac{1}{N}\sum_{i-0}^{N-1} EC_{n-i} \quad (4)$$

где:

$\overline{EC_n}$ - усреднённое значение на текущем шаге;

N - количество последних измерений;

EC_{n-i} - отдельные измерения.

Экологическая оценка.

Для мониторинга качества воды вводим индекс загрязнения (Q), основанный на EC:

$$Q = \frac{\overline{EC_n}}{EC_{max}} \quad (5)$$

где:

EC_{max} - максимально допустимая электропроводимость для данного водотока (например, 2 мС/см для пресной воды);

Q > 1 указывает на превышение нормы.

Автоматическое оповещение.

Система сигнализирует при превышении порога:

$$S = \begin{pmatrix} 1, \text{если } \overline{EC_n} > EC_{порог} \\ 0, \text{иначе} \end{pmatrix} \quad (6)$$

где S - бинарная переменная для уведомления.

Динамика изменения EC.

Для прогнозирования состояния водотока можно использовать дискретную модель изменения EC во времени:

$$EC_{n+1} = EC_n + \Delta t * (R_{вх} - R_{вых} + R_{загр}) \quad (7)$$

где:

$R_{вх}$ - естественное поступление ионов;

$R_{выхт}$ - вымывание ионов;

$R_{загр}$ - антропогенное загрязнение;

Δt - интервал измерений.

Эта модель позволяет прогнозировать, когда EC может превысить допустимые нормы и требует вмешательства.

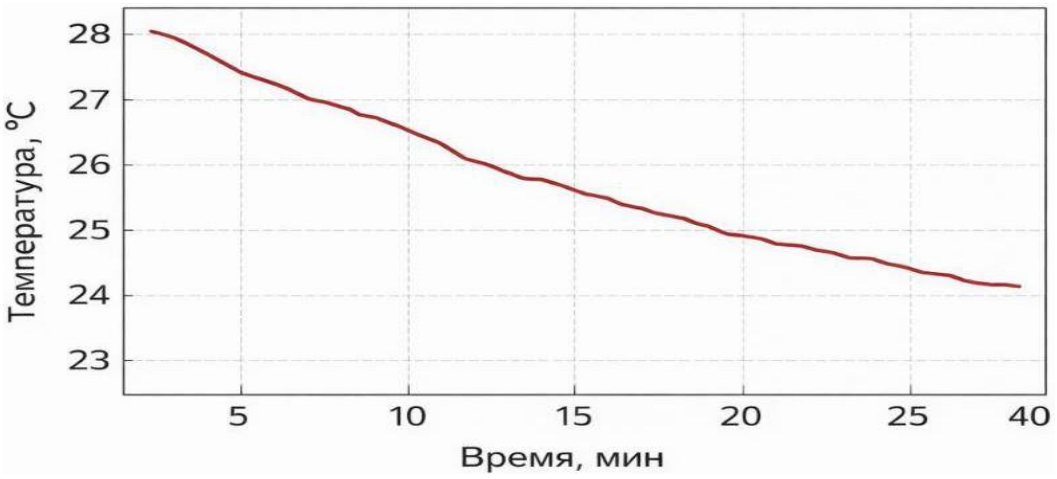


Рис.7. Динамика температуры

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

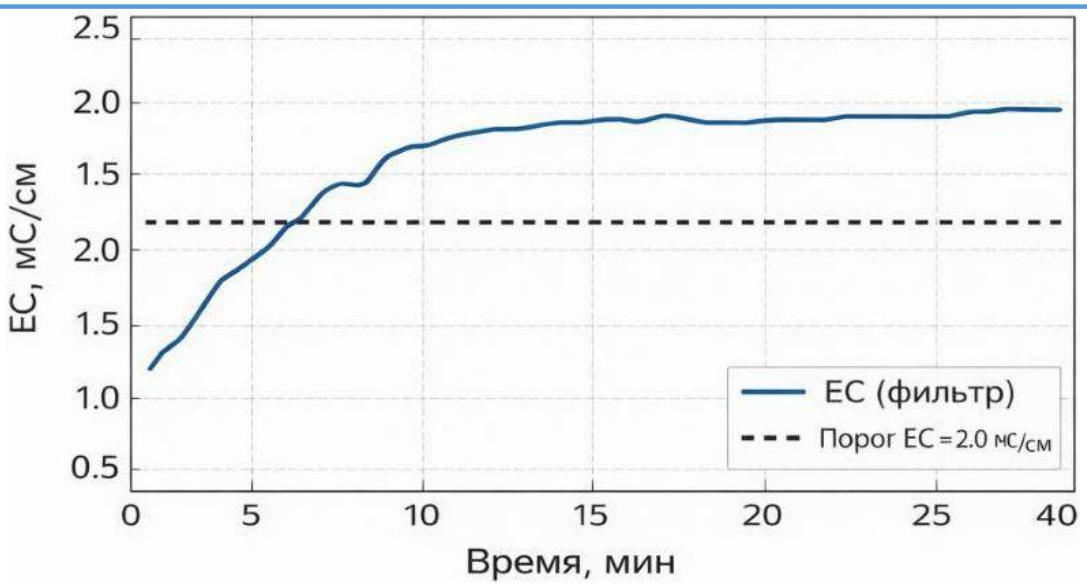


Рис.8. Динамика электропроводности воды

Числовая модель измерения электропроводимости воды. Данные измерений: Arduino снял следующие значения с EC-датчика (АЦП 10-бит, диапазон 0 – 1023, $U_{опор}$ = 5 В):

Таблица3

Числовая модель измерения электропроводимости воды

Время (с)	ADC (EC-датчик)	Температура (°C)
0	512	18
5	520	18,5
10	530	19
15	525	19,2
20	540	19,5

Преобразование ADC в напряжение

$$U_{\text{EC}} = \frac{\text{ADC}}{1023} * 5 \qquad (8)$$

Вычисляем для каждого измерения:

1. цифровое значение 512 из АЦП соответствует $U_{\text{EC}} = \frac{512}{1023} * 5 \approx 2{,}50$ В

2. цифровое значение 520 из АЦП соответствует $\text{U}_{\text{EC}} = \frac{520}{1023} * 5 \approx 2{,}54$ В

3. цифровое значение 530 из АЦП соответствует $\text{U}_{\text{EC}} = \frac{530}{1023} * 5 \approx 2{,}59$ В

4. цифровое значение 525 из АЦП соответствует $\text{U}_{\text{EC}} = \frac{525}{1023} * 5 \approx 2{,}56$ В

5. цифровое значение 540 из АЦП соответствует $U_{\text{EC}} = \frac{540}{1023} * 5 \approx 2{,}64$ В

Преобразование напряжения в EC.

Используем калибровочный коэффициент k = 1,2 мС/см на вольт:

$$EC = k * U_{EC} \qquad (9)$$

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

Таблица 4

Преобразование напряжения в EC

Время (с)	V (В)	EC (мС/см)
0	2,50	3,00
5	2,54	3,05
10	2,59	3,11
15	2,56	3,07
20	2,64	3,17

Температурная коррекция EC.
Используем коэффициент α = 0,02 1/°C:

$$EC_{20} = \frac{EC}{1+\alpha*(T-20)} \quad (10)$$

1. Время 0; $EC_{20} = \frac{3,00}{1+0,02*(18-20)} = \frac{3,00}{0,96} \approx 3,13$ мС/см
2. Время 5; $EC_{20} = \frac{3,05}{1+0,02*(18,5-20)} = \frac{3,05}{0,97} \approx 3,14$ мС/см
3. Время 10; $EC_{20} = \frac{3,11}{1+0,02*(19-20)} = \frac{3,11}{0,98} \approx 3,17$ мС/см
4. Время 15; $EC_{20} = \frac{3,07}{1+0,02*(19,2-20)} = \frac{3,07}{0,984} \approx 3,12$ мС/см
5. Время 20; $EC_{20} = \frac{3,17}{1+0,02*(19,5-20)} = \frac{3,17}{0,96} \approx 3,20$ мС/см

Фильтр скользящего среднего (N = 3).

$$\overline{EC_n} = \frac{EC_{20,n}+EC_{20,n-1}+EC_{20,n-2}}{3} \quad (11)$$

Таблица 5

Фильтр скользящего среднего

Время (с)	EC20 (мС/см)	Скользящее среднее
0	3,13	3,13
5	3,14	3,14
10	3,17	(3,13 + 3,14 + 3,17) / 3 = 3,15
15	3,12	(3,14 + 3,17 + 3,12) / 3 = 3,143
20	3,20	(3,17 + 3,12 + 3,20) / 3 = 3,163

Проверка порога и экологическая оценка.
Порог EC для пресной воды: EC_{max} = 2,0 мС/см.

$$Q = \frac{\overline{EC}}{EC_{max}} \quad (12)$$

Таблица 6

Проверка порога и экологическая оценка

Время (с)	Скользящее среднее	Q	Порог
0	3,13	1,565	превышен
5	3,14	1,57	превышен
10	3,15	1,575	превышен
15	3,143	1,572	превышен
20	3,163	1,582	превышен

2026-yil, oktabr.
№10-son.
ISSN: 3060-5245

Водоток имеет повышенную электропроводимость, превышающую допустимые нормы, требуется экологический контроль и возможное вмешательство.

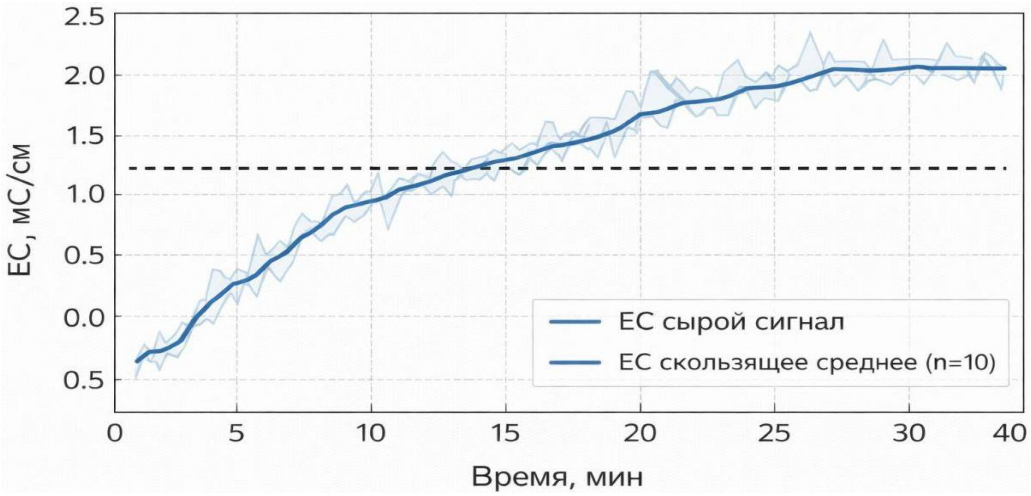


Рис 9. EC сырой сигнал и скользящее среднее (n=10)

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Автоматизированный мониторинг водотоков с использованием TDS/EC-датчиков и Arduino обеспечивает оперативную экологическую оценку. Реализуемая система позволяет непрерывно собирать и анализировать данные о качестве воды. Применение облачных платформ и визуализации улучшает прогнозирование и принятие решений для устойчивого использования водных ресурсов. Перспективы включают интеграцию дополнительных датчиков (pH, мутность, кислород), а также использование машинного обучения для раннего выявления загрязнений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Monk, S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. McGraw-Hill Education, 2016.
2. Thing Speak Documentation.
3. He, L., Zhang, X., et al. IoT-based real-time water quality monitoring system. Sensors, 2021, 21(14): 4742.
4. Mishra, A., Singh, R. Automated water quality monitoring using Arduino and IoT. Int. J. of Engineering Research, 2020, 9(6): 112-118.
5. Карпова, Е. Л. Электропроводность воды как показатель загрязнения водотоков. Журнал гидробиологии, 2019, №3, с. 45-52.
6. Гусев В.В. Экологический мониторинг водных объектов. Москва, 2020.
7. Arduino. Arduino Official Documentation.
8. Козлов С.А. Автоматизация измерительных систем. Санкт-Петербург, 2019.
9. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.
10. Михайлов А.П. Электропроводность воды и методы её измерения. Журнал “Водные ресурсы”, №4, 2021.

2026-yil, oktabr. №10-son.

Mas’ul muharrir: Beglayev Uchqun
Musahhih: Boltayev Nurali
Sahifalovchi va dizaynerlar: Normurodov Sarvar,
Sharipov Shoxruh

© Materiallar ko‘chirib bosilganda “Agrobiznes, fan va texnologiyalar” ilmiy-amaliy elektron jurnali manba sifatida ko‘rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar mas’ul hisoblanadi. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelavermasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

Mazkur jurnalda maqolalar chop etish uchun quyidagi havolalarga murojaat qilish mumkin. Ilmiy maqolalar, reklama, hikoya va boshqa ilmiy-ijodiy materiallar yuborishingiz mumkin. Materiallar va reklamalar pullik asosda chop etiladi.

Elektron pochta: licht-1989@mail.ru
Jurnalning telegram manzili: t.me/agrobiznes_elektronjurnal
Telefon raqami: +998939018320, +998934393000
Jurnal rasmiy sayti: https://www.agrobiznesjournal.uz

“Agrobiznes, fan va texnologiyalar” ilmiy-amaliy elektron jurnali O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi rayosatining 30.11.2024-yildagi №364/5-sonli qarori bilan 08.00.00-Iqtisodiyot fanlari bo‘yicha, 08.05.2025-yildagi №370/5-sonli qarori bilan 06.00.00-Qishloq xo‘jaligi fanlari bo‘yicha “Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxati”ga kiritilgan.

“Agrobiznes, fan va texnologiyalar” ilmiy-amaliy elektron jurnali 2023-yil 23-maydan O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan **C-5669225** reyestr raqami tartibi bo‘yicha ro‘yxatdan o‘tkazilgan.
Litsenziya raqami: №083688

Manzilimiz: Toshkent viloyati, Qibray tumani, Universitet ko‘chasi, 2-uy