

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ**  
**«БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ 2023/2024»**  
**РЕГИОНАЛЬНЫЙ ТРЕК (КОНКУРС)**  
**НАПРАВЛЕНИЕ «УМНЫЙ ГОРОД И БЕЗОПАСНОСТЬ»**

**«Автоматизированная система мониторинга и прогнозирования уровня воды на  
критически важных сооружениях РЖД»**  
**Прикладной**

**Автор работы:**

**Войцехович Александр Сергеевич,**

**Самарская область**

**МБОУ СМАЛ, 10 класс**

**Руководитель:**

**Ханов Михаил Алексеевич,**

**Лаборант,**

**НОЦ Робототехники Самарского Университета**

**Самара, 2024**

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

АННОТАЦИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	3
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ	4
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ	8
ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПЛАТЫ	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	17
ПРИЛОЖЕНИЯ	18

## **АННОТАЦИЯ**

В результате проделанной работы был разработан алгоритм и был разработан макет системы мониторинга и прогнозирования паводков на объектах РЖД.

## **ВВЕДЕНИЕ**

21 век можно поистине назвать эпохой автоматизации – новые технологии так и норовят забрать у человека рутинные и шаблонные задачи, упрощая и ускоряя рабочие процессы во многих сферах жизни. Однако, до некоторых предельно важных для человека аспектах новые технологии еще не добрались.

Ярким примером тому служит обеспечение безопасности на железнодорожных путях и отдельных критически важных объектах, таких как мосты. На данный момент проблема актуальна как никогда. Можно выделить проблему: в настоящее время в России нет автоматизированной системы отслеживания и предупреждения паводков, а на многих объектах, находящихся в отдаленных территориях о паводке или другой чрезвычайной ситуации можно узнать только постфактум, что может привести к значительному ущербу.

Решением к данной проблеме может служить автоматизированная система отслеживания и прогноза паводков на стратегически важных объектах российских железных дорог (далее – РЖД).

Цель проекта: Создание прототипа автономной системы мониторинга и прогнозирования уровня воды на критически важных железнодорожных сооружениях.

Задачи проекта:

- Разработать и описать алгоритм работы системы
- Разработать функционал системы;
- Разработать электрическую схему платы автоматизированной системы;
- Разработать 3D-модель стендового прототипа системы;
- Создать стендовый прототип системы.

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ**

В настоящий момент в открытом доступе существуют несколько готовых продуктов, причем только один из которых – российского производства. Каждое из представленных решений имеет свои преимущества и недостатки, которые стоит принять во внимание. Рассмотрим варианты от компаний «Русавтоматизация», «Resensys», «Valarm», представленные на рынке.

Отечественные инженеры из компании «Русавтоматизация» создали систему отслеживания уровня воды, основанную на технологиях «EasyTREK». В основе системы лежит ультразвуковой датчик, устанавливаемый над водой на уровне пролетного строения.



Рисунок 1 - Внешний вид системы

Данные с датчика передаются на сервер с помощью технологии GPRS по протоколам TCP/IP, также возможна передача данных по сети Интернет. В случае ЧС, сервер отправляет SMS-рассылку конечному пользователю продукта. Также у компании существует программное обеспечение (ПО), позволяющее в реальном времени отображать показания датчика в виде графика. Также программное обеспечение позволяет настраивать параметры рассылки SMS-оповещения в зависимости от уровня воды. Однако, это обусловлено главным минусом всей системы – из-за того, что датчик в системе один и он статичен, методика замера уровня воды весьма примитивна, и поэтому часто может давать показания, расходящиеся с реальной ситуацией на объектах. Другие минусы: зависимость от наличия сотовой связи, нежелательность использования ультразвуковых датчиков на стратегических объектах РЖД.

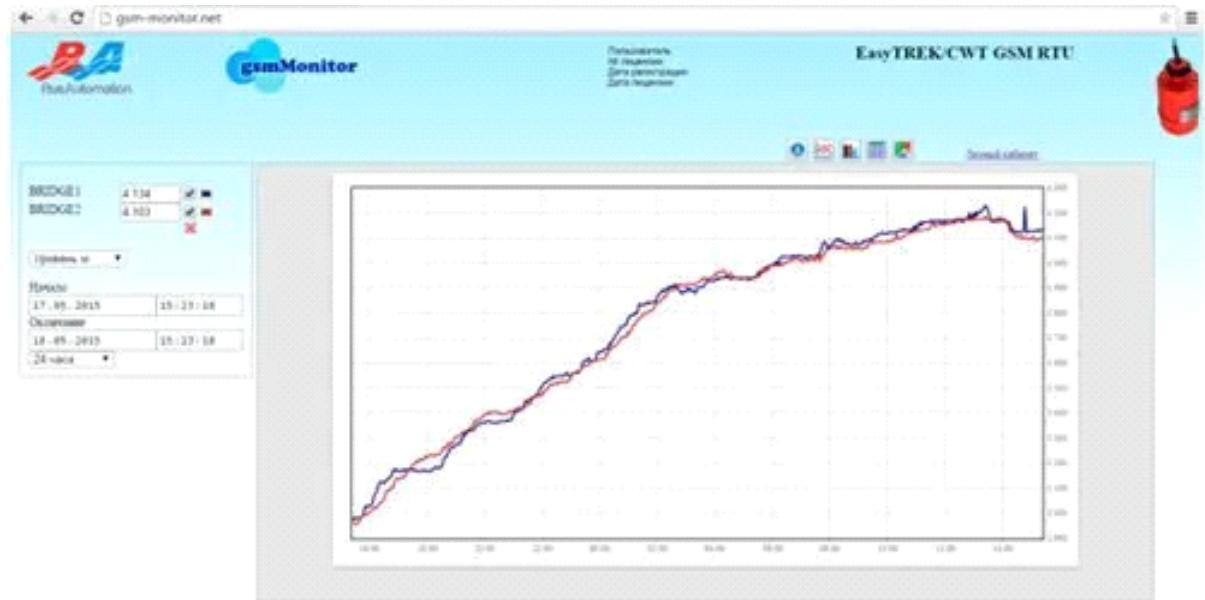


Рисунок 2 - Графическое представление показаний системы

Главный плюс системы от «Русавтоматизации» заключается в простоте использования и установки датчика: компания даже предлагает услугу установки всей системы на объект.

Компания «Resensys» создала свою систему, несколько похожую на отечественное решение. Схожесть двух вариантов заключается в одном типе датчиков, используемых для проведения замеров: «Resensys» тоже использует ультразвуковые датчики. Однако, в отличие решения от «Русавтоматизации», система коммуницирует не только используя сотовую связь, но также может использовать спутники.

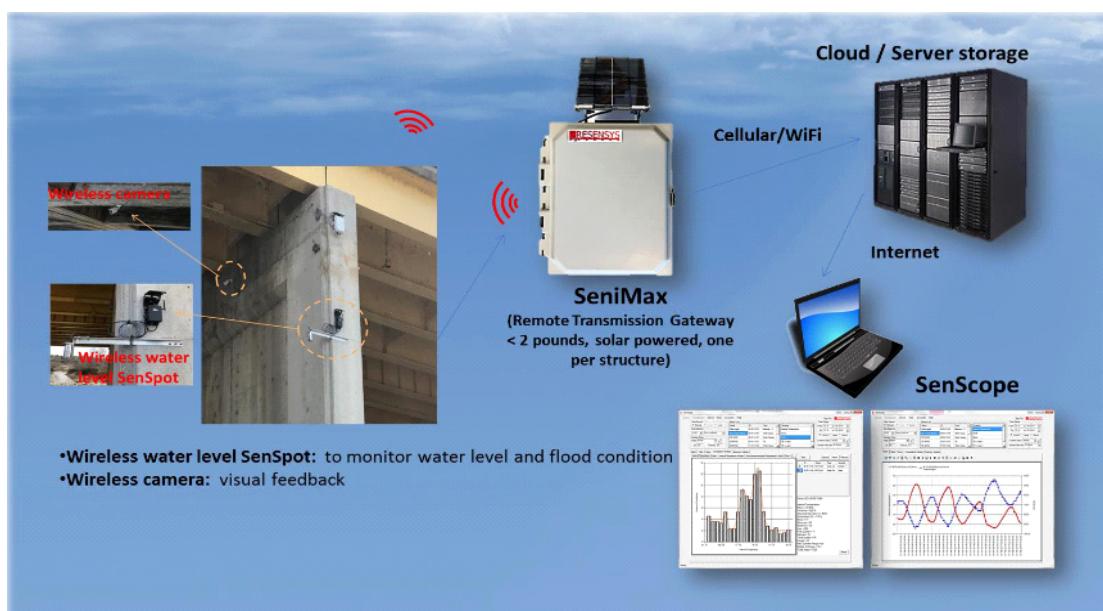


Рисунок 3 – Коммуникация в системе

Возможно расширение системы путем добавления камеры видеонаблюдения. Для коммуникации с сервером компания предоставляет свой же маршрутизатор и ПО. Чаще всего используется на мостах близь городской черты ввиду своей зависимости от наличия связи.



Рисунок 4 – Внешнее устройство системы

Главным плюсом является целостность системы: «Resensys» полностью обеспечивает клиента всем, начиная самими датчиками, заканчивая услугами по установке системы и настройкой ПО.

Решение от системы «Valarm» основывается на системе «IoT» - системы для передачи данных между физическими объектами. Компанией предоставляется домен для коммуникации между датчиками и сервером. Ультразвуковые датчики, используемые в системе, передают собранные данные на сервер, где происходят все вычисления, прогноз уровня воды и, если необходимо, оповещение конечного пользователя системы. Одним из плюсов является «гибкость» решения – пользователь может настроить частоту снятия замеров с датчиков, критический уровень воды и способ оповещения о паводке. «Valarm» предлагает программное обеспечение, позволяющее увидеть графическое представление собранных данных.

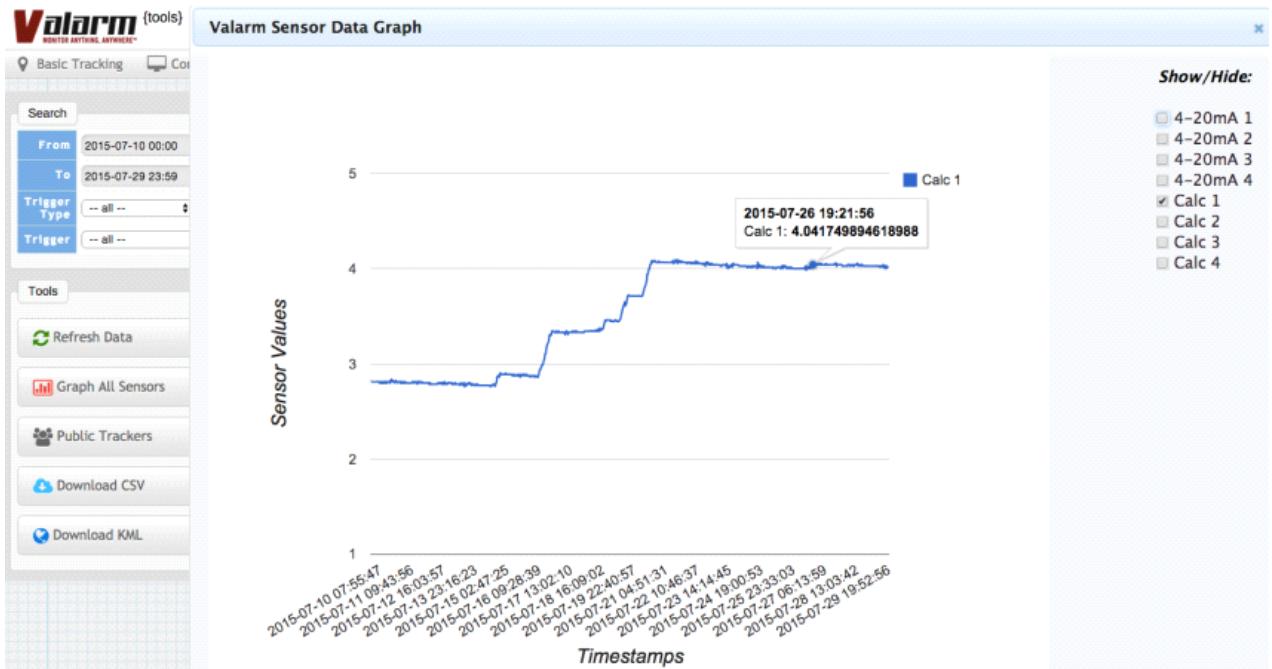


Рисунок 5 – Показания датчика «Valarm» в виде графика

Таким образом, на основании преимуществ и недостатков готовых решений можно сделать вывод о главных частях будущей системы:

- Несколько типов датчиков;
- Система коммуникации между датчиками и конечным получателем;
- Программное обеспечение, позволяющее обрабатывать данные и прогнозировать паводки;
- Система питания, позволяющая использование датчика в удаленных местностях.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что в России нет готового решения, полностью подходящего под задачи для работы на объектах РЖД, и составить список задач проекта, описанных выше.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ

Исходя из принятых в России способов измерения и прогнозирования уровней воды на мостах можно составить общие принципы работы измеряющей системы. Система имеет два режима замеров: штормовой и штатный. Изначально система работает в штатном режиме, однако в случае тревоги переходит в штормовой режим. Ниже представлено общее описание каждого из режимов и их особенности:

**Штатный режим:** Замеры уровня воды производятся раз в час, отсылаются на сервер, после чего система принимает решение о смене режима. Является режимом по умолчанию.

**Штормовой режим:** Переход на штормовой режим происходит при превышении показаниями датчиков критической отметки, устанавливаемой на каждом посте с системой отдельно, при прогнозе неблагоприятных условий от местного УГМС (вручную) или при прогнозе таковых от системы. В штормовом режиме замеры происходят каждые 15 минут. Переход обратно в штатный режим происходит при отмене тревоги вручную или при возвращении знаний показаний датчиков к нормальным в течение часа (4 замера в штормовом режиме с нормальными показаниями датчиков подряд). Пороговые значения уровней воды устанавливаются местным УГМС для каждого объекта или группы объектов в одной географической местности отдельно.

Система замеряет два показателя для понимания ситуации на объекте: уровень воды и скорость течения воды. Основным параметром для замеров в конкретный момент времени является уровень воды, в то время как скорость течения служит больше для прогноза динамики изменения уровня воды и, соответственно, для решения о введении штормового режима замеров на объекте.

С диспетчерской станцией взаимодействие производится через сервер, который принимает данные с объекта и отсылает их обработанную версию в диспетчерскую станцию.

Для различия различных станций замера каждой из них передается уникальный ID, который впоследствии передается серверу. Таким образом сервер сможет различать системы друг от друга и передавать диспетчеру данные с привязкой к конкретному географическому объекту.

Для выявления ошибок и сбоев в работе системы, вводятся коды ошибок для каждого весомого процесса в ходе взаимодействия сервера и станции (установление соединения, получение уникального ID, получение значений с датчиков).

Таким образом, можем составить блок-схему алгоритма (*приложение 1*) и составить ее описание, представленное ниже:

- Инициализация системы, ожидание подключение к серверу.
- Проверка подключения к серверу. Если подключения нет – посыпаем код специальный код ошибки (например, 404).
- Получение идентификатора объекта. Каждому объекту, где установлена система – свой уникальный идентификатор.

- Подтверждение верности идентификатора. Если он не подтвержден, посыпаем код ошибки.
- Проверка показаний датчиков. Если датчики не дают показания – отправляется код ошибки
  - Проверка режима работы объекта (штормовой/обычный)
  - Установка интервала замеров в зависимости от режима замеров
  - Получение показаний с датчиков
  - Сравнение полученных данных с данными по умолчанию. При расхождении - посыпается сигнал тревоги
    - Если тревоги нет: создание сигнала об ее отсутствии
    - Отправка сигнала на сервер
    - Получение сигнала сервером
    - В случае тревоги:
      - Оповещение на станцию
      - Перевод в штормовой режим
      - Тревога снимается мануально/при показании датчиков ниже показаний по умолчанию
    - Окончание коммуникации с сервером.

## **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАТЫ**

В первую очередь для создания физического прототипа разработаем функциональную схему взаимодействия частей системы, которую можно увидеть в приложениях к работе.

Также нужно разработать электрическую схему и макет платы в цифровом варианте. Для создания таковых воспользуюсь программой KiCAD. В первую очередь будет создана электрическая схема, а уже по ней - макет платы. На электрической схеме отображены все основные части будущего прототипа системы: микроконтроллер Arduino Nano v3.0; датчик температуры DS18B20; модуль понижения высокой мощности HW-286; светодиодная лента; транзисторы IRLML2502; насос QR30E; клапан электромагнитный (обозначение на схеме - Motor); Датчик уровня жидкости емкостный ХКС-Y25-V 24V. Со схемой можно ознакомится в приложении.

По схеме был разработан макет печатной платы. С помощью встроенных инструментов программы разведем плату и получим конечный результат:

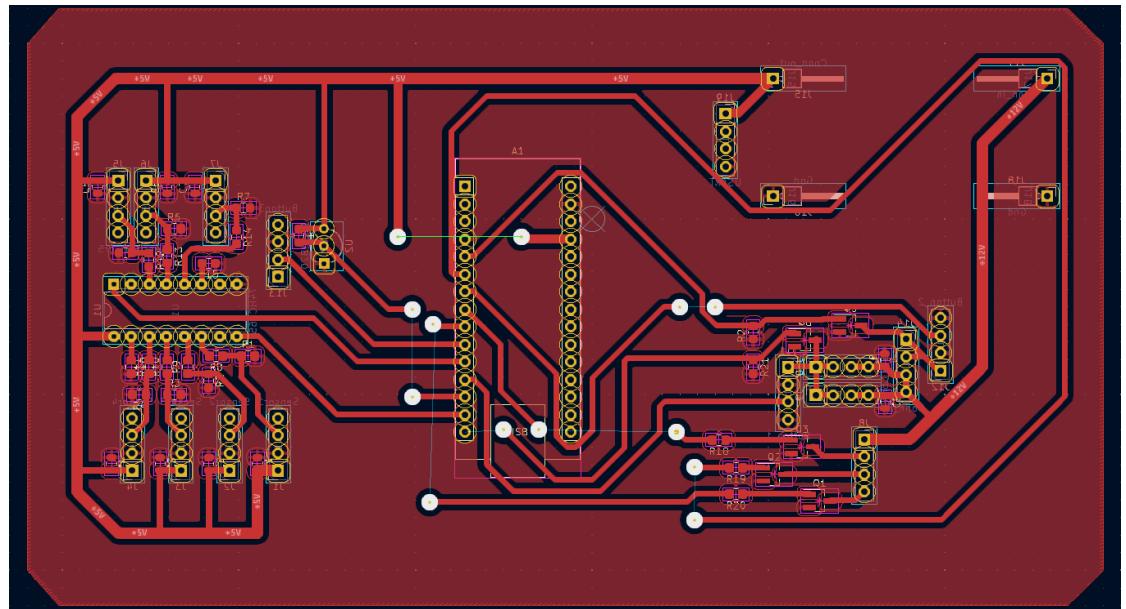


Рисунок 6 – Проект платы в программном пакете EasyEDA

Впоследствии плата была вырезана на фрезерном станке:

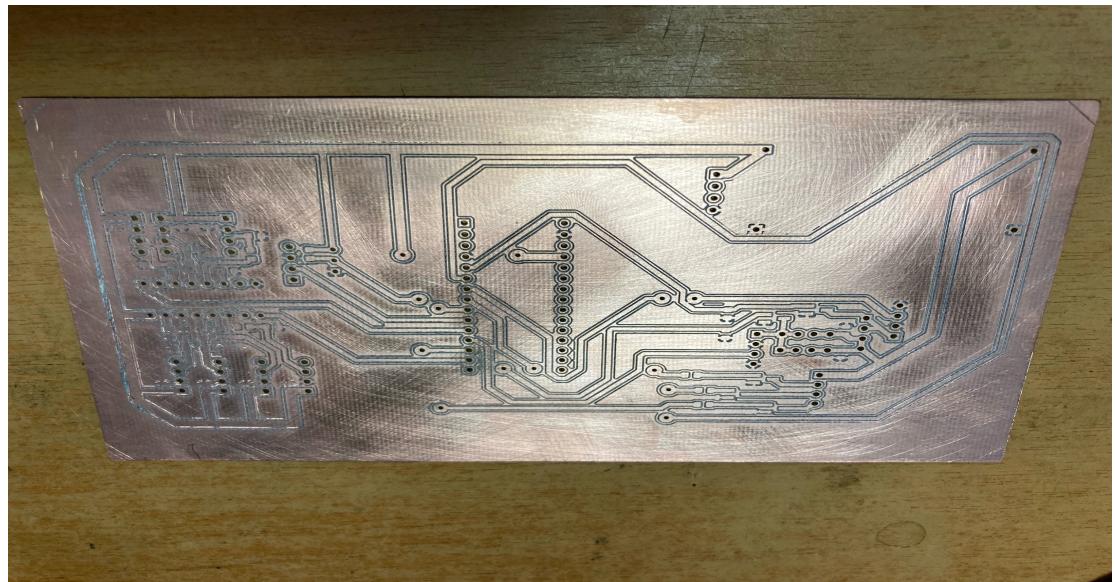


Рисунок 7 – Результат фрезерования

Рассмотрим части данной платы по отдельности.

## ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПЛАТЫ

Роль главного управляющего элемента в системе играет микроконтроллер Arduino Nano.

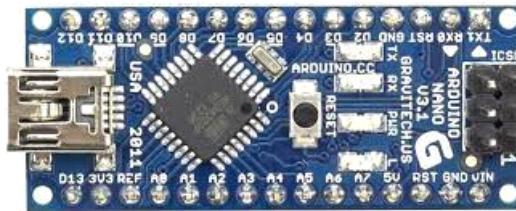


Рисунок 8 – Микроконтроллер Arduino Nano

Технические характеристики микроконтроллера:

- 14 цифровых входов/выходов (6 из них - ШИМ)
- 8 аналоговых входов
- 32 Кбайт Flash-памяти
- 2 Кбайт ОЗУ
- Тактовая частота - 16МГц
- Рабочее напряжение - 5В
- Входное напряжение - 7-12В
- Постоянный ток - 40 мА

За подачу воды отвечает насос QR30E.



Рисунок 9 – Внешний вид насоса

Его характеристики:

- Напряжение питания - 12В
- Производительность - 240 л/час
- Мощность - 4.2Вт
- Напор - 3м

Также для обеспечения потока воды используется электромагнитный клапан DC12B.

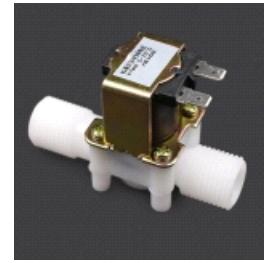


Рисунок 10 – Внешний вид клапана

Его характеристики:

- давление - 0,02 - 0,8 МПа
- температура  $\leq 80^{\circ}\text{C}$
- Принцип действия - диафрагма, управляемая сервоприводом

За снижение мощности отвечает модуль HW-286:



Рисунок 11 – Внешний вид модуля

Его характеристики:

- Входное напряжение: 5В-32В
- Напряжение выхода: 0.8В-24В
- Текущий вывод: пиковое значение 5А
- КПД преобразования: до 90%
- Частота переключения: 300 кГц

Транзисторы в системе используются модели IRLML2502:

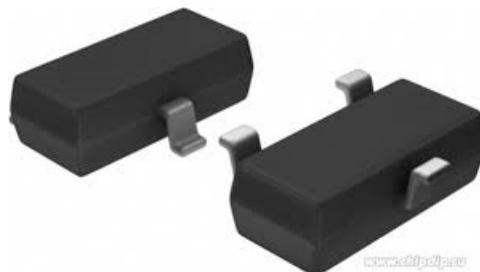


Рисунок 11 – Внешний вид транзисторов

Характеристики:

- Максимальная рассеиваемая мощность: 1.25 Вт
- Предельно допустимое напряжение сток-исток: 20 В
- Предельно допустимое напряжение затвор-исток: 12 В
- Пороговое напряжение включения: 1.2В
- Максимально допустимый постоянный ток стока: 4.2А
- Максимальная температура канала: 150 °C

За измерения отвечает датчик температуры DS18B20:



Рисунок 12 – Внешний вид датчика температуры

Характеристики:

- Диапазон измеряемых температур:  $-55\dots+125$  °C
- Точность:  $\pm 0,5$  °C (в пределах  $-10\dots+85$  °C)
- Время получения данных: 750 мс при 12-битном разрешении; 94 мс при 9-битном разрешении
  - Напряжение питания: 3–5,5 В
  - Потребляемый ток при бездействии: 750 нА
  - Потребляемый ток при опросе: 1 мА

За измерение уровня воды отвечает датчик уровня жидкости емкостный ХКС-Y25-V 24V:



Рисунок 13 – Внешний вид емкостного датчика

Его характеристики:

- Дистанция чувствительности сквозь материал: 0–12 мм
- Напряжение питания: 3,3–5 В
- Потребляемый ток: до 10 мА
- Время отклика: 500 мс
- Рабочая температура: 0–100 °C
- Рабочий диапазон влажности: 5–100%

## РАЗРАБОТКА ПО ДЛЯ СИСТЕМЫ

Так как основой для всей системы служит микроконтроллер Arduino Nano, для разработки программного обеспечения для него воспользуемся разработанными самой компанией средой разработки и языком, являющейся упрощенной версией языка C++.

В программе используются библиотеки OneWire, Dallas Temperature (используются для взаимодействия датчика температуры DS18B20 с контроллером). Затем, объявим порты для каждого из компонентов системы, взаимодействующих с микроконтроллером и режим работы системы. В функции *setup()* устанавливаем режимы работы пинов, устанавливается яркость светодиодной ленты. В функции *loop()* происходит основная часть программы. В зависимости от режима, устанавливается период замеров системой. раз в указанный период, снимаются показания с двух типов датчиков, после чего

показания передаются в функцию *state\_choice()*, которая оценивает возможность паводка и выбирает последующий режим работы. Также в функции *loop()* находится обработчик нажатий на кнопки, отвечающие за циркуляцию воды в макете. при его срабатывании вызывается функция *waterflow()*. Данная функция обеспечивает управления потоком воды в макете для демонстрации работы системы при разных уровнях воды. Функция, в зависимости от нажатой кнопки, нагоняет или спускает воду (работает благодаря транзисторам и соленоиду). В основном теле программы также присутствуют переменные, которые запоминают несколько предыдущих показаний датчика для определения режима работы системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

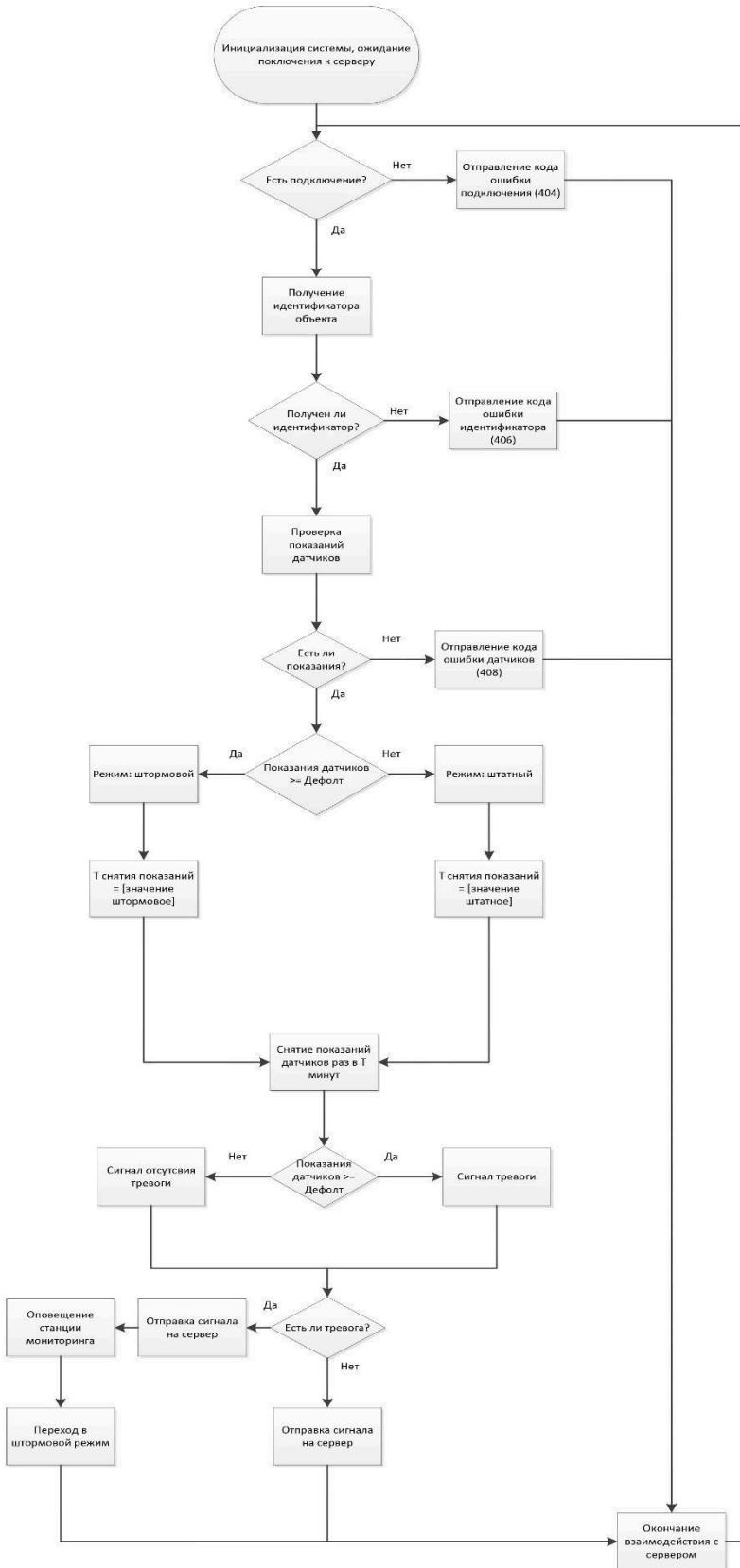
В результате проделанной работы было проведено исследование о способах замера уровня воды на мостах и других водных объектах, также было проведено исследование о способах прогноза динамики изменения уровня воды и, исходя из нее, прогноза возможности паводка на водном объекте. Был создан концепт системы, по нему производилась разработка алгоритма работы системы. Были проведены исследования о возможных компонентах системы и их роли в системе, после чего были выбраны некоторые из рассмотренных вариантов. Была составлена функциональная схема взаимодействия компонентов системы, в программе KiCAD была разработана электрическая схема и схема платы, после чего она была создана путем фрезерования. На данный момент плата собрана, на финальном этапе находится сборка всего стенда совместно с АО “РМГ”. Созданы все необходимые принципиальные и функциональные схемы, блок-схемы алгоритма, разработана программа работы прототипа. На последующих этапах работы будут проведены тесты системы, в соответствии с их результатами система будет откалибрована. Из минусов можно выделить зависимость системы от подключения системы к сети Интернет, . Главными же плюсами системы являются вариативность в способах измерения уровня воды, заложенная возможность прогноза изменения уровня воды и, соответственно, вероятности паводков на водном объекте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

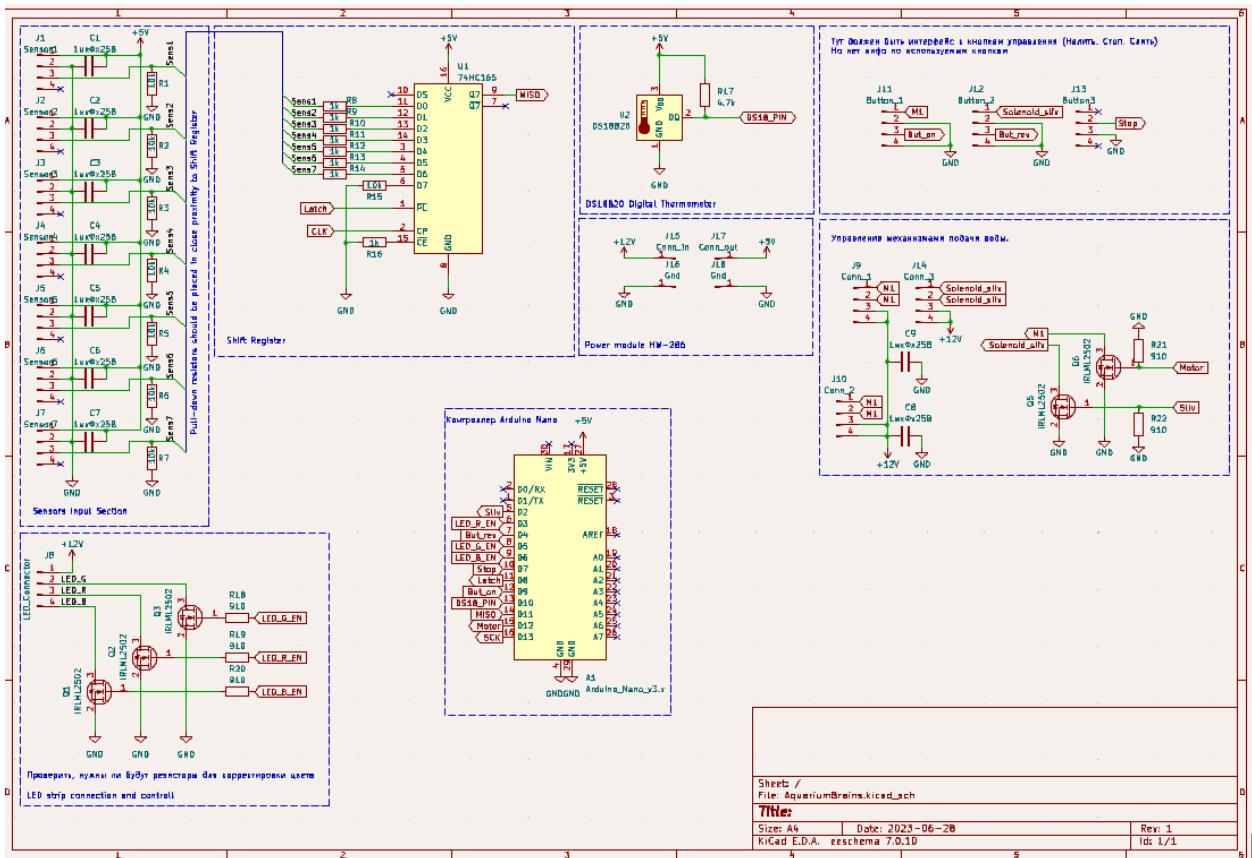
1. Методика измерений уровня воды в водоемах и водотоках автоматизированными гидрологическими комплексами [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/551032432> (Дата обращения: 12.12.2023).
2. Прогнозирование максимальных уровней воды с заданной вероятностью превышения в нижнем течении Р. Дон [Электронный ресурс]. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-maksimalnyh-urovney-vody-s-zadannoy-veroyatnostyu-prevysheniya-v-nizhnem-techenii-r-don> (Дата обращения: 13.12.2023).
3. Документация ПО KiCAD [Электронный ресурс]. - URL: [https://docs.kicad.org/5.1/ru/getting\\_started\\_in\\_kicad/getting\\_started\\_in\\_kicad.pdf](https://docs.kicad.org/5.1/ru/getting_started_in_kicad/getting_started_in_kicad.pdf) (Дата обращения: 17.01.2024).
4. Готовое решение по мониторингу уровня воды от компании "Русавтоматизация" [Электронный ресурс]. - URL: <https://rusautomation.ru/projects/monitoring-urovnya-vody-v-reke/> (Дата обращения: 15.11.2023).
5. Готовое решение по мониторингу уровня воды от компании "Resensys" [Электронный ресурс]. - URL: [https://www.resensys.com/documents/Application-Note\\_Water-Level-Monitoring-Flood.pdf](https://www.resensys.com/documents/Application-Note_Water-Level-Monitoring-Flood.pdf) (Дата обращения: 15.11.2023).
6. Готовое решение по мониторингу уровня воды от компании "Valarm" [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.valarm.net/blog/monitoring-water-levels-flood-detection-early-warning-systems-virginia-smart-cities/> (Дата обращения: 15.11.2023).
7. Информация о компонентах системы [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.avrobot.ru/> (Дата обращения: 21.12.2023).

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ А



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

