

## МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАКЕТОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА

П.А. Мартынюк

[martapauline@yandex.ru](mailto:martapauline@yandex.ru)

SPIN-код: 3429-9340

Б.И. Бычков

[bychkovboris@bmstu.ru](mailto:bychkovboris@bmstu.ru)

SPIN-код: 6970-0210

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрен принцип построения макетов железнодорожных переездов на основе микроконтроллерной системы. Проанализирован ряд способов обнаружения поезда: обнаружение с помощью ультразвукового датчика расстояния, коммутационного контакта и путевого реле. Предложен модифицированный способ, при котором используется упрощенная рельсовая цепь с подключением путевого реле к одному рельсу. Описана реализация макета на основе предложенного способа с указанием используемых компонентов: реле, сервоприводов, сигнальных элементов. Разработан и описан алгоритм работы микроконтроллера. Макет выполнен на плате Wemos D1 mini со встроенным микроконтроллером ESP8266EX. Макет может быть применен для демонстрации характерных процессов железнодорожного переезда.

### Ключевые слова

Макет, железная дорога, микроконтроллерная система, железнодорожный переезд, рельсовая цепь, светофор, шлагбаум, путевое реле, Wemos

Поступила в редакцию 02.06.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

**Введение.** В ряде отраслей науки и техники для решения демонстрационных задач традиционно используются макеты. Это обусловлено тем, что макеты обладают наглядностью и являются проверенным средством представления и передачи информации [1].

Железнодорожные макеты (ж/д макеты) не являются исключением. Они пользуются высокой популярностью не только среди любителей макетирования, их создают и приобретают специализированные предприятия и музеи. Железнодорожные макеты в настоящее время применяются в следующих областях:

- в демонстрационных целях в составе музейных экспозиций;
- при обучении дисциплинам, связанным с автоматизацией ж/д систем и управлением их отдельными узлами; например, в учебном процессе кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения задействован макет участка железной дороги [2];

– в процессе моделирования реальных узлов на предприятиях по производству ж/д оборудования; например, регулирование автоматики устройств с помощью макета станции перед введением в эксплуатацию [3];

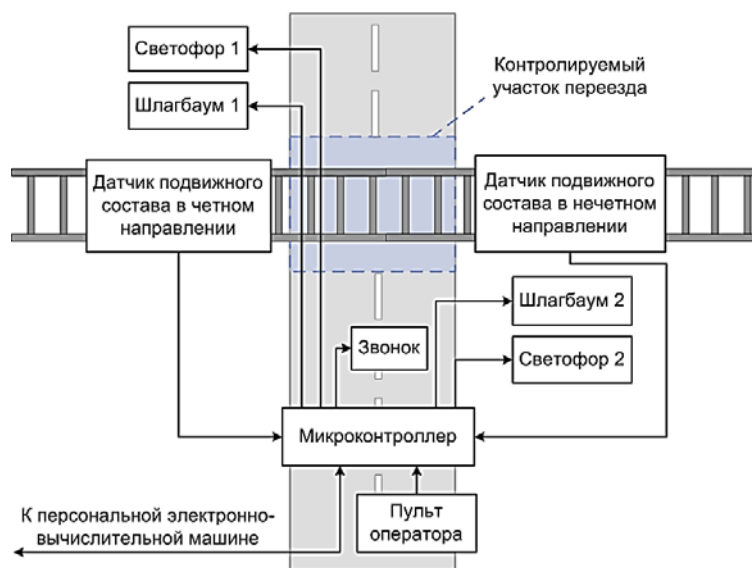
– в производстве коллекционных моделей и игрушек.

Одной из характерных систем, узлы которой часто размещают на ж/д макетах, является переезд. Макеты железнодорожного переезда состоят из устройств, имитирующих компоненты реальных переездов: светофоры с красными и белыми огнями, шлагбаумы и устройства звуковой сигнализации.

Железнодорожное макетирование является областью применения микроконтроллерных систем, в которых ядром системы служит микроконтроллер (МК), осуществляющий управление всеми компонентами системы. В случае макета ж/д переезда микроконтроллер используется для управления устройствами сигнализации и блокировки. На вход МК поступают управляющие сигналы с устройств обнаружения поезда на рельсах.

Целью работы является проведение анализа способов построения макетов железнодорожного переезда с последующей реализацией одного из них.

**Структура макета переезда.** Структурная схема одного из возможных вариантов микроконтроллерной системы управления макетом железнодорожного переезда представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема микроконтроллерной системы управления макетом железнодорожного переезда

Ядром системы является микроконтроллер. С помощью загруженной в него программы осуществляется управление шлагбаумами, светофорами и звонком сигнализации по расписанию или при поступлении соответствующих управляющих сигналов. Инициировать открытие или закрытие переезда могут управляющие сигналы с датчиков, сигналы с персональной электронно-

вычислительной машины (ПЭВМ) или сигналы с кнопок пульта оператора. Пульт оператора предполагает наличие двух кнопок: кнопки, переводящей переезд в открытое состояние, и кнопки, переводящей его в закрытое состояние. Управление с центрального пульта (ПЭВМ) можно реализовать с помощью канала UART с применением драйвера-преобразователя USB-UART. В качестве устройств, детектирующих прибытие поезда, могут быть использованы датчики движения или путевые реле рельсовой цепи, расположенные на четном и нечетном направлениях движения поезда [4].

В настоящей статье рассмотрена реализация макета участка железнодорожного переезда по данной структурной схеме.

**Способы реализации компонентов макета.** В настоящее время существуют различные способы реализации макетов ж/д переезда. Как правило, при конструировании используется структура рельсовых цепей (РЦ) — основного элемента железнодорожной автоматики и телемеханики как в реальных ж/д системах, так и макетах. Как и в любых электрических цепях, в рельсовой цепи, размещенной на выделенном участке железной дороги (блок-участке), имеется источник тока, приемник тока, реализованный в виде путевого реле или датчика, и проводники электрического тока в виде рельсовых нитей ж/д пути [5]. При реализации рельсовых цепей для макетирования достаточно использования одного рельса в качестве проводника, поскольку это позволит упростить схему подключения элементов без изменения принципа функционирования. В реальных ж/д системах это недопустимо, поскольку сильно ограничивает контроль исправности участка цепи.

Управляемые компоненты, такие как светофоры, шлагбаумы, устройства звуковой сигнализации, на реальных переездах и в макетах имеют схожую конструкцию. В реальных ж/д системах в светофорах используются светодиоды, пришедшие на смену лампам накаливания, что позволило снизить энергопотребление и затраты на обслуживание [6]. При макетировании в конструкции светофоров также используются светодиоды. Готовые макеты светофоров, как правило, представлены набором светодиодов, иногда со встроенными резисторами и источником питания, иногда без них, но с указанием способа подключения к микроконтроллеру. Кроме того, светофоры могут быть собраны из светодиодов и резисторов макетчиком самостоятельно.

Шлагбаумы в макетах, как правило, реализуются с использованием сервоприводов, при этом микроконтроллер с помощью управляющего широтно-импульсного сигнала регулирует угол наклона стрелы переезда. В качестве устройства звуковой сигнализации используется звонок или динамик. Механизм управления данными устройствами с помощью микроконтроллера описан в комплектующей документации к микросхемам компонентов.

Интерес представляет разнообразие способов обнаружения поезда на рельсах вблизи переезда. Рассмотрены следующие варианты решения этой задачи: с помощью датчика расстояния, с помощью коммутационного контакта и с помощью путевого реле. Особенности перечисленных способов приведены в табл. 1.

**Способы обнаружения поезда на контролируемом участке вблизи переезда**

Способ детектирования поезда	Принцип работы	Достоинства и недостатки
С помощью ультразвукового датчика расстояния	Датчик передает ультразвуковой сигнал опроса области видимости и улавливает его отраженный сигнал — эхо. По интервалу времени между моментами передачи и приема вычисляется расстояние от датчика до объекта. Изменение расстояния можно интерпретировать как движение объекта [7]	+ РЦ при реализации макета не требуются + Имеются готовые датчики – Область обнаружения объекта ограничена возможностями конкретного датчика – Датчик фиксирует любой объект на контролируемой области (не обязательно поезд), что может приводить к ложным срабатываниям
С помощью коммутационного контакта	Датчик, представляющий собой пластину, расположенную параллельно близко одному из рельсов, располагается на выбранном участке пути. Состав металлическим колесом замыкает пластину на ближний рельс. При замыкании формируется информационный сигнал [8]	+ Распространенный способ, имеются готовые датчики + Достаточно использовать только один рельс из двух в качестве проводника тока – Требуются РЦ при реализации макета
С помощью путевого реле	В случае свободного участка сигнальный ток от источника питания протекает через ограничительный резистор по рельсовой линии к путевому реле, реле находится в состоянии «включено», фиксируется свобода участка. В случае появления на участке колесной пары происходит шунтовый эффект, ток через обмотку реле уменьшается. Реле переходит в состояние «выключено», фиксируется занятость участка [5].	+ Классический способ детектирования поезда в реальных ж/д системах (достоверность конструкции макета) + Возможность дополнительно контролировать исправность рельсовой линии – Требуются РЦ при реализации макета – При обрыве рельсовой нити ток через обмотку реле также протекать не будет, что может приводить к ложному срабатыванию

Каждый из способов, представленных в табл. 1, имеет свои преимущества и недостатки. В результате анализа предложен альтернативный вариант, являющийся своеобразной адаптацией классического способа обнаружения поезда на участке с использованием путевого реле.

**Модифицированный способ обнаружения поезда.** Для обнаружения поезда предлагается упрощенный вариант способа с использованием путевого реле, представленный на рис. 2. Принцип работы остается тем же, но ток при отсут-

ствии поезда на блок-участке будет проходить только по одному рельсу. Такая модификация позволит уменьшить число проводов, сохранив близкий к достоверному вид рельсовой линии. Ко второму рельсу подключен только один провод, в то время как в классическом способе применения путевого реле таких проводов должно быть четыре, по два для каждого блок-участка.

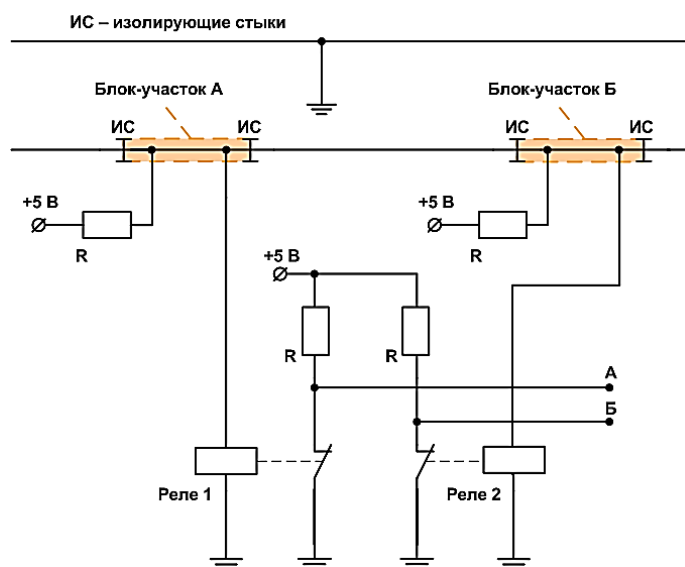


Рис. 2. Электрическая схема обнаружения поезда на блок-участке

Блок-участки требуется ограничить изолирующими стыками (ИС) для обеспечения надежной электрической изоляции отслеживаемых участков. Контакты линий А и В необходимо подсоединить ко входам МК для приема информационного сигнала о наличии поезда на путях от путевого реле. При отсутствии поезда на путях на входы МК поступает сигнал логического нуля, реле включено. При замыкании цепи колесом поезда реле выключено, а на соответствующий вход МК поступает информационный сигнал логической единицы, означающий, что на участке рельсовой линии обнаружен состав. Сопротивления на реле и сопротивления подтягивающих резисторов требуется подобрать с учетом характеристик путевых реле и МК.

Описанный способ не предусматривает возможность определения неисправности второго рельса. Однако эта задача, критически важная в реальных системах, для макета не является первостепенной.

**Реализация макета.** Предложенный способ обнаружения поезда реализован в составе макета ж/д переезда. Светофоры для макета собраны из светодиодов: по два светодиода красного цвета и по одному бело-лунного цвета, аналогично реальным светофорам на железнодорожных переездах. В качестве устройства звукового сигнала использован электромагнитный звонок, длительность и частота звучания которого настроена аналогично реальным системам сигнализации [4]. Значения параметров макета приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Параметры компонентов макета**

Описание параметра	Стандартное значение в реальных ж/д системах	Выбранное для реализации значение
Время работы сигнализации, по истечении которого начинают опускаться шлагбаумы, с	4–10	5
Время подъема или опускания бруса, с	4–9	5
Частота прерывания звонка сигнализации, раз в минуту (мГц)	$40 \pm 2$ ( $667 \pm 33$ )	40 (667)
Частота мигания переездных светофоров, раз в минуту (мГц)	$40 \pm 2$ ( $667 \pm 33$ )	40 (667)

Шлагбаумы реализованы с помощью сервоприводов ввиду их компактности, энергоэффективности и плавности хода.

Для управления компонентами макета выбрана плата Wemos D1 mini, имеющая в своем составе Arduino-совместимый микроконтроллер ESP8266EX. Выбор платы обусловлен оптимальным соотношением цены и качества среди аналогов на рынке. Назначение используемых в проекте выводов платы показано в табл. 3.

Таблица 3

**Назначение выводов платы Wemos D1 mini**

Название вывода	Назначение
RST	Прием сигнала сброса RST
D0	Подача управляющего сигнала RED2 на вторую пару красных светодиодов
D1	Подача управляющего ШИМ-сигнала PWM на сервоприводы шлагбаумов
D2	Подача управляющего сигнала RED1 на первую пару красных светодиодов
D3	Прием сигнала DETECTOR1 с реле рельсовой линии 1
D4	Подача управляющего сигнала WHITE на пару бело-лунных светодиодов
D5	Прием сигнала DETECTOR2 с реле рельсовой линии 2
D6	Прием сигнала кнопки «Открыть»
D7	Прием сигнала кнопки «Закреть»
D8	Подача управляющего сигнала BUZZ на звонок
5V	Подача напряжения питания 5 В
GND	Заземление

Электрическая принципиальная схема макета представлена на рис. 3.

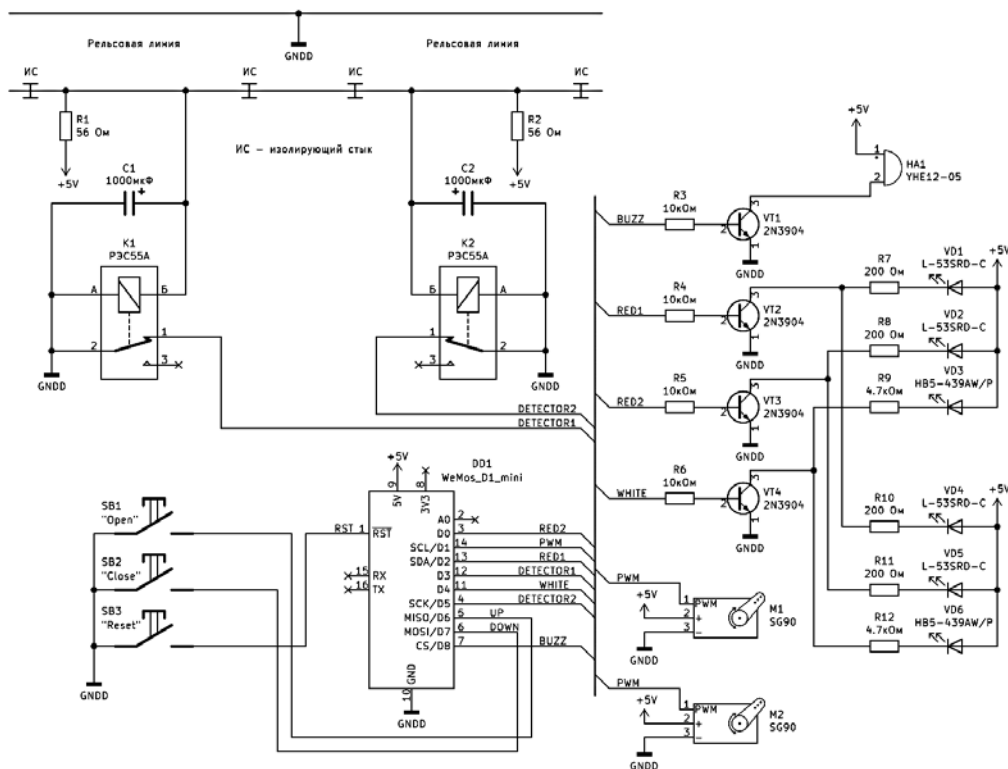


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема макета ж/д переезда

Используемые компоненты: сервопривод SG90, звонок YHE12-05, красные светодиоды L-53SRD-C, бело-лунные светодиоды HB5-439AW/P, реле P3C55A, транзисторы 2N3904, разъем питания S2B-XH-A.

Резисторы R1 и R2 в цепи питания реле должны обеспечивать срабатывание реле (для этого на реле должно быть напряжение не менее 2,5 В) и размыкание реле (при появлении колесной пары на блок-участке на реле должно быть напряжение менее 0,3 В). Внутреннее сопротивление обмотки реле составляет 67 Ом [9]. При последовательном подключении резистора 56 Ом напряжение на реле составит

$$U_{\text{реле}} = \frac{5 \text{ В}}{67 \text{ Ом} + 56 \text{ Ом}} \times 67 \text{ Ом} = 2,72 \text{ В},$$

$$2,72 \text{ В} \geq 2,5 \text{ В}.$$

Следовательно, подключение резистора номиналом 56 Ом обеспечит корректное функционирование путевого реле.

Для резисторов R3-R6 выбрано сопротивление 10 кОм как типовое для базовой цепи транзисторов.

Резисторы R7, R8, R10, R11, подключенные последовательно с красными светодиодами, подобраны исходя из среднего значения тока на светодиодах 15 мА [10]. Данный ток достигается в цепи с резистором 200 Ом при подключении к источнику питания напряжением 5 В:

$$I = \frac{5 \text{ В}}{200 \text{ Ом} + \frac{2,5}{0,02} \text{ Ом}} = \frac{5 \text{ В}}{325 \text{ Ом}} \approx 0,0154 \text{ А.}$$

Белые светодиоды являются сверхъяркими [11], номинал резисторов R9, R12 для них подобран аналогично и составил 4,7 кОм. Такое сопротивление обеспечивает яркость свечения, сопоставимую с яркостью красных светодиодов.

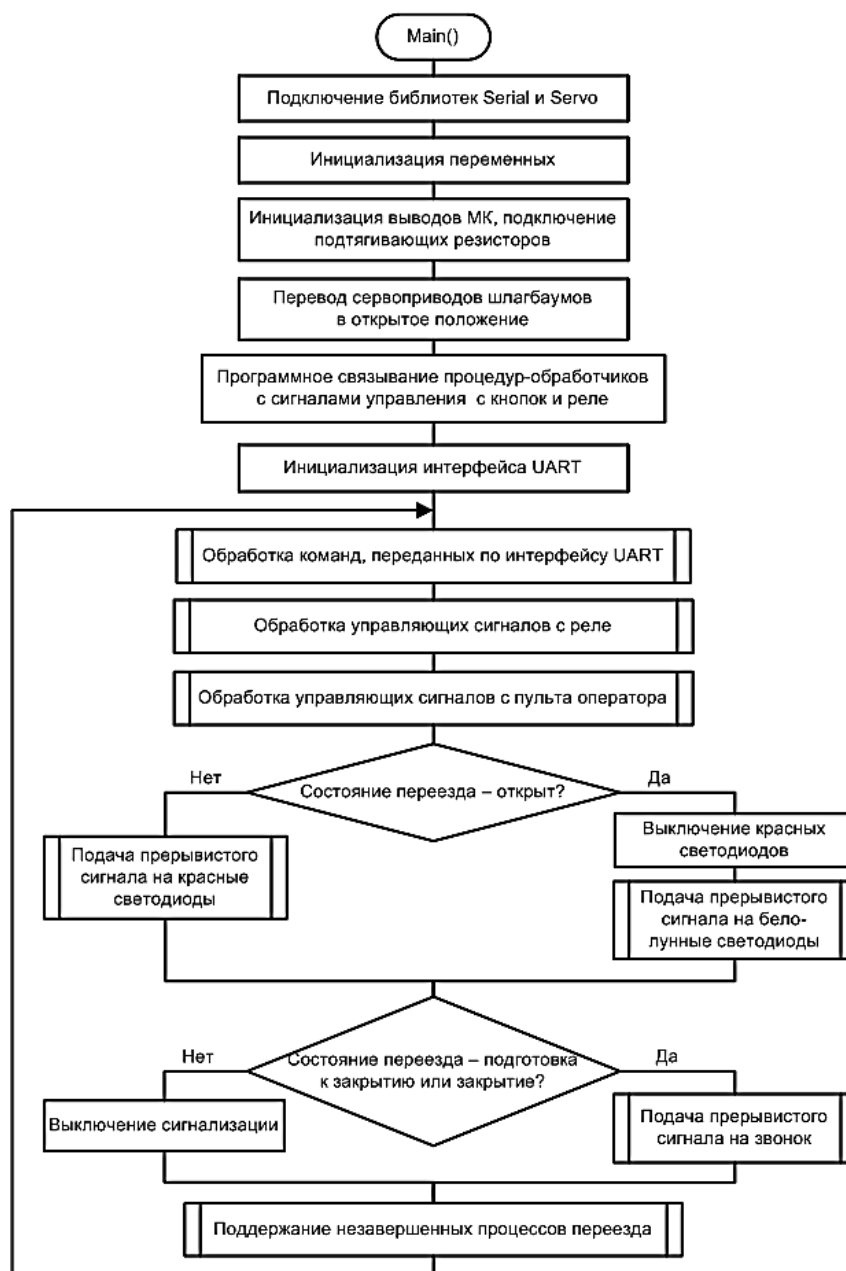


Рис. 4. Схема алгоритма работы контроллера



Транзисторные ключи VT1–VT4 используются для увеличения мощности сигналов, поступающих на два ярких светодиода светофоров. Конденсаторы, подключенные параллельно обмотке реле, нужны для устранения дребезга контактов, вызываемого движением модели поезда по блок-участку.

Управляющая программа для МК на плате Wemos D1 mini разработана в среде Arduino IDE в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 4.

Программа циклически опрашивает потенциальные источники управляющих сигналов (UART, путевые реле и контакты пульта оператора) и в зависимости от полученных в ходе опроса данных и текущего состояния переезда подает управляющие сигналы на устройства блокировки пути и сигнальные элементы.

Блок «Поддержание незавершенных процессов переезда» отвечает за смену состояний переезда и корректное завершение переходных процессов переезда, инициируемых ранее. В данном блоке осуществляется контроль времени, отведенного на отдельные процессы (например, время звучания сигнализации) и активируется переход системы в следующее состояние.

Собранный макет представлен на рис. 5.

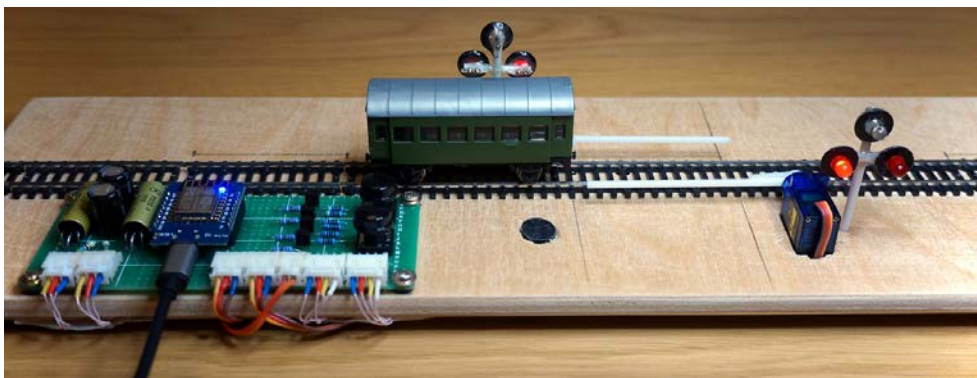


Рис. 5. Макет ж/д переезда

При сборке использована стандартная макетная плата, набор разъемов SnB-XH-A, плата Wemos D1 mini и другие компоненты схемы. Светофоры собраны вручную из пластиковых компонентов, проводов и светодиодов, сервоприводы дополнены стрелой шлагбаума. В качестве ж/д пути использованы стандартные рельсовые участки масштаба ТТ. Для соответствия реальным ж/д вагонам пластиковые колесные пары вагона формата ТТ заменены на металлические.

**Заключение.** На основании анализа требований к компонентам макетов и особенностей предметной области (железнодорожный переезд) определена структура макета ж/д переезда, для реализации которой выбраны такие компоненты, как плата Wemos D1 mini с микроконтроллером ESP8266EX, звонок, светодиоды, сервоприводы, реле.

Предложен способ обнаружения поезда на блок-участках с помощью рельсовых цепей и путевого реле, а также схема реализации компонентов. Реализован макет ж/д переезда по предложенной схеме.

Описанная модель ж/д переезда применима в учебных и демонстрационных целях. Основными достоинствами разработанной системы служат потенциальная возможность расширения ее функционала благодаря возможностям микроконтроллера, гибкость настройки управления путем перезаписи исполняемой программы и схожесть принципа работы с реальными ж/д переездами. Недостатками системы являются отсутствие аналогов устройств заграждения, а также невозможность контроля исправности рельсовой линии.

### Литература

- [1] Панов А.Б. Практика методики преподавания макетирования. *Современные научные исследования и инновации*, 2015, № 3–5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/49411>
- [2] Ефанов Д.В., Лыков А.А., Алексеева Е.А. и др. Моделирование систем автоматики для учебного процесса. В: Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики. СПб., ПГУПС, 2012, с. 105–110.
- [3] Халиков И.А., Селиверов Д.И. Применение транспортных контейнеров в хозяйстве автоматики и телемеханики. *Технические науки: традиции и инновации. Мат. I Межд. науч. конф.* Челябинск, Два комсомольца, 2012, с. 79–82.
- [4] Устройства автоматической переездной сигнализации. *lokomo.ru: веб-сайт*. URL: <https://lokomo.ru/scb/ustroystva-avtomaticheskoy-pereezdnoy-signalizacii.html> (дата обращения: 16.01.2021).
- [5] Брылеев А.М., Шишляков А.В., Кравцов Ю.А. Устройство и работа рельсовых цепей. М., Транспорт, 1966.
- [6] Селиверов Д.И., Киякина Т.Е. Светодиодные светофоры для Российских железных дорог. *Технические науки: традиции и инновации. Мат. I межд. науч. конф.* Челябинск, Два комсомольца, 2012, с. 66–69.
- [7] Ультразвуковой датчик расстояния Ардуино HC-SR04. *arduinomaster.ru: веб-сайт*. URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/> (дата обращения: 12.02.2021).
- [8] Конарев Н.С., ред. Контактный рельс. Железнодорожный транспорт. М., Большая российская энциклопедия, 1994.
- [9] Реле РЭС-55А, РЭС-55А-Т, РЭС-55Б, РЭС-55Б-Т слаботочное, электромагнитное, миниатюрное, одностабильное. Номенклатурный каталог АО НПП «Старт».
- [10] Оптоэлектроника. Каталог электронных компонентов поставщика электронных компонентов ПЛАТАН, с. 140–166.
- [11] HB5-439AW-C/P datasheet. Huey Jann Electronics Industry Co., 2000.

**Мартынюк Полина Антоновна** — студентка кафедры «Компьютерные системы и сети», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Бычков Борис Игоревич** — ассистент кафедры «Компьютерные системы и сети», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

### Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Мартынюк П.А., Бычков Б.И. Микроконтроллерная система управления макетом железнодорожного переезда. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 08(61). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-08-725>

## MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM FOR THE LAYOUT OF THE RAILWAY CROSSING

P.A. Martynyuk

martapauline@yandex.ru

SPIN-code: 3429-9340

B.I. Bychkov

bychkovboris@bmstu.ru

SPIN-code: 6970-0210

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The principle of constructing layouts of railway crossings based on a microcontroller system is considered. A number of train detection methods are analyzed: detection using an ultrasonic distance sensor, a switching contact and a travel relay. A modified method is proposed, in which a simplified rail circuit is used with the connection of a track relay to one rail. The implementation of the layout based on the proposed method is described, indicating the components used: relays, servos, signal elements. The microcontroller operation algorithm is developed and described. The layout is made on a Wemos D1 mini board with an embedded ESP8266EX microcontroller. The layout can be used to demonstrate typical railway crossing processes.

### Keywords

Layout, railway, microcontroller system, level crossing, rail crossing, traffic light, barrier, track relay, Wemos

Received 02.06.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

### References

- [1] Panov A.B. The practice of teaching methods of prototyping. *Sovremennyye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Researches and Innovations], 2015, no. 3–5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/49411> (in Russ.).
- [2] Efanov D.V., Lykov A.A., Alekseeva E.A. et al. Modelirovanie sistem avtomatiki dlya uchebnogo protsessa [Modeling of automation systems for educational process]. V: *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [In: Theoretical and practical development aspects of railway automatics and telemechanics]. Sankt-Petersburg, PGUPS Publ., 2012, pp. 105–110 (in Russ.).
- [3] Khalikov I.A., Seliverov D.I. [Using transport containers in automatics and telemechanics facilities]. *Tekhnicheskie nauki: traditsii i innovatsii. Mat. I mezhd. nauch. konf.* [Technical Sciences: Traditions and Innovations. Proc. I Int. Sci. Conf.]. Chelyabinsk, Dva komsomol'tsa Publ., 2012, pp. 79–82 (in Russ.).
- [4] Ustroystva avtomaticheskoy perezdnoy signalizatsii [Devices of automatic level crossing signaling]. *lokomo.ru: website* (in Russ.). URL: <https://lokomo.ru/scb/ustroystva-avtomaticheskoy-perezdnoy-signalizacii.html> (accessed: 16.01.2021).
- [5] Bryleev A.M., Shishlyakov A.V., Kravtsov Yu.A. *Ustroystvo i rabota rel'sovykh tsepey* [Design and operation of track circuits]. Moscow, Transport Publ., 1966 (in Russ.).
- [6] Seliverov D.I., Kiyakina T.E. [LED traffic lights for Russian railways]. *Tekhnicheskie nauki: traditsii i innovatsii. Mat. I Mezhd. nauch. konf.* [Technical Sciences: Traditions and Innovations. Proc. I Int. Sci. Conf.]. Chelyabinsk, Dva komsomol'tsa, 2012, pp. 66–69 (in Russ.).

- [7] Ul'trazvukovoy datchik rasstoyaniya Arduino HC-SR04 [Arduino HC-SR04 ultrasound range sensor]. *arduinomaster.ru: website* (in Russ.). URL: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/> (accessed: 12.02.2021).
- [8] Konarev N.S., ed. Kontaktnyy rel's. Zheleznodorozhnyy transport [Contact rail. Railway transport]. Moscow, Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya Publ., 1994 (in Russ.).
- [9] Rele RES-55A, RES-55A-T, RES-55B, RES-55B-T slabotochnoe, elektromagnitnoe, miniatyurnoe, odnostabil'noe. Nomenklaturnyy katalog AO NPP "Start" [RES-55A, RES-55A-T, RES-55B, RES-55B-T low-current electromagnetic monostable mini relay. Nomenclative catalogue of AO NPP "Start"] (in Russ.).
- [10] Optoelektronika. Katalog elektronnykh komponentov postavshchika elektronnykh komponentov PLATAN [Optoelectronics. Electronic components catalogue of PLATAN electron components supplier], pp. 140–166 (in Russ.).
- [11] HB5-439AW-C/P datasheet. Huey Jann Electronics Industry Co., 2000.

**Martynyuk P.A.** — Student, Department of Computer Systems and Networks, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Bychkov B.I.** — Assistant, Department of Computer Systems and Networks, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Martynyuk P.A., Bychkov B.I. Microcontroller control system for the layout of the railway crossing. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 08(61). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-08-725.html> (in Russ.).